Laboratoire
Image et Ville
UMR 7011

Thèse présentée pour le titre de
Docteur de l'Université Louis Pasteur
Strasbourg I

Discipline : Géographie

par Anne PUISSANT

INFORMATION GEOGRAPHIQUE ET IMAGES A TRES HAUTE RESOLUTION

UTILITE ET APPLICATIONS EN MILIEU URBAIN

Soutenue publiquement le 15 décembre 2003

Membres du jury

Directeur : Madame **Christiane WEBER**, Directeur de Recherche CNRS
Université Louis Pasteur, Strasbourg

Rapporteur interne : Madame **Colette CAUVIN**, Professeur
Université Louis Pasteur, Strasbourg

Rapporteur externe : Monsieur **Lucien WALD**, Professeur
Ecoles des Mines de Paris, Sophia-Antipolis

Rapporteur externe : Monsieur **Jean-Paul DONNAY,** Professeur
Université de Liège, Belgique

Examinateur : Monsieur **Alain PODAIRE**
Ingénieur CNES, Toulouse

Faculté de Géographie
et d'Aménagement
3 rue de l'Argonne
F-67000 Strasbourg
Tél. : (33) 03 90 24 09 51
Fax : (33) 03 90 24 09 50
http://imaville.u-strasbg.fr
image.et.ville@lorraine.u-strasbg.fr

REMERCIEMENTS

Qu'il me soit permis ici de remercier en premier lieu celui par qui je ne serais peut être jamais venue à Strasbourg, *Jacques Charlier*, Professeur à l'Université Catholique de Louvain. J'ai donc débarqué à Strasbourg pour une année, qui s'est ensuite prolongée en une thèse de doctorat et qui m'a permis de rencontrer celui qui est maintenant mon époux, Jean-Philippe.

Ce travail est l'aboutissement de cinq années de recherches, réalisées au sein du Laboratoire Image et Ville. J'exprime ma gratitude et ma reconnaissance envers toutes les personnes qui ont apporté soutien et conseils pendant ces années.

Mes pensées vont tout d'abord à *Christiane Weber*, Directeur de Recherche au CNRS, qui m'a proposé ce sujet d'étude et m'a surtout permis de le réaliser avec beaucoup d'autonomie. Son aide, sa disponibilité et son soutien ont été très précieux. Son souci constant d'optimiser les conditions de recherches, de favoriser les contacts scientifiques les plus pertinents et de m'impliquer dans des programmes de recherche nationaux et internationaux ont sans aucun doute permis d'éveiller progressivement une vocation scientifique. Je la remercie très chaleureusement de la confiance accordée.

Je remercie sincèrement les Professeurs *Colette Cauvin* de l'Université Louis Pasteur de Strasbourg, *Lucien Wald*, de l'Ecole des Mines de Paris, *Jean-Paul Donnay*, de l'Université de Liège et *Alain Podaire*, Ingénieur au Centre National d'Etudes Spatiales, d'avoir consenti à être membres du jury de ce doctorat, malgré les nombreuses charges et un calendrier serré.

Je tiens à exprimer ma gratitude envers le Centre National d'Etudes Spatiales et envers la Région Alsace d'avoir financé cette recherche. Je remercie en particulier Marie-José Lefèvre pour m'avoir fourni la « matière première » de ce travail.

Ce travail est issu de collaborations avec des laboratoires de recherche nationaux ou internationaux, qui ont donné lieu à plusieurs publications scientifiques. J'exprime toute ma reconnaissance et mon amitié :

- à *Jacky Hirsch* du Laboratoire Image et Ville, Strasbourg, pour ses conseils précieux et très bénéfiques, mais aussi pour son aide et sa bonne humeur quotidienne,
- à *Thierry Ranchin* de l'Ecole des Mines de Paris, Sophia-Antipolis, et Aziz Serradj du Laboratoire Image et Ville, Strasbourg, pour leurs conseils et travaux sur les algorithmes de fusion,
- à *Jerzy Korcjak, Pierre Gançarski* et *Cédric Wemmert* du Laboratoire de Sciences de l'Image, de l'Informatique, et de la Télédétection, Strasbourg, pour leurs développements de prototypes de traitements d'images fondés sur l'Intelligence Artificielle,
- à *Marc-Philipp Stoll* du Laboratoire de Sciences de l'Image, de l'Informatique, et de la Télédétection, Strasbourg pour le prêt du radiomètre Barringer.

J'ai eu l'occasion de séjourner à Québec durant trois mois Ce séjour m'a permis de rencontrer et de discuter avec *Robert Jeansoulin*, du Laboratoire des Sciences de l'Information et des Systèmes (Marseille) en séjour sabbatique à l'Université Laval ainsi que Claude Caron et Alain Viau au Laboratoire de Géomatique de Laval, sur l'utilisation des images THR et des SIG. Un cours séjour à Sherbrooke auprès de *Denis Morin* et *Dong-Chen He* du Centre d'Applications et de Recherches en Télédétection

(CARTEL) a permis de discuter sur les applications de la THR en milieu urbain. Merci à eux de leur accueil et de m'avoir fait profiter de leurs connaissances en télédétection.

Un grand merci aussi à *Olivier Maquaire*, de l'Institut de Physique du Globe et à toute son équipe pour m'avoir permis de « m'échapper » de Strasbourg et de mon ordinateur pour profiter de leur terrain d'étude dans la vallée de l'Ubaye, depuis cinq étés. Ces grand bols d'air m'ont permis de garder le contact avec un terrain autre que la ville … Merci également pour la confiance accordée dans le cadre du projet européen Alarm.

Je tiens également à remercier les stagiaires, doctorants, ingénieurs et enseignants du Laboratoire Image et Ville, qui ont permis de créer une ambiance de travail sereine. Merci à *Michel Simon* pour la mise en ligne de l'enquête sur le site Internet du laboratoire. Enfin, un merci particulier à *Anne-Christine*, *Hélène, Anne-Marie, Claire, Valérie* pour avoir contribué de manière efficace à la mise en page finale de ce document.

Mes remerciements s'adressent également à mes parents et beaux-parents, souvent délaissés ces derniers temps, qui m'ont encouragé avec constance à réaliser ce travail et ont créé les conditions bénéfiques à un travail de rédaction serein au cours des six derniers mois.

Enfin, *Jean-Philippe*, merci de ton soutien quotidien, et de tes encouragements. Nous avons passé cinq années heureuses à réaliser nos deux thèses de doctorat, sans assiettes cassées... une autre vie nous attend …

~ ~ ~

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES 3
LISTE DES FIGURES 10
LISTE DES TABLEAUX 13
LISTE DES ANNEXES 15

INTRODUCTION GENERALE 17

1ERE PARTIE :
CADRE THEORIQUE ET DE RECHERCHE SUR LA PLACE DE L'IMAGE DANS LE SECTEUR DE L'INFORMATION GEOGRAPHIQUE

Chapitre 1 : AMENAGEMENT DU TERRITOIRE, URBANISME ET INFORMATION GEOGRAPHIQUE : NOTIONS ET CONCEPTS 25

INTRODUCTION 27
1.1 NOTIONS D'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE ET D'URBANISME 27
1.2 AMENAGER L'ESPACE URBAIN OU URBANISER LA VILLE ? 29
1.2.1 Les concepts liés au milieu urbain 30
1.2.1.1 La ville 30
1.2.1.2 La ville comme système urbain 32
1.2.1.3 Le modèle, représentation du système urbain 33
1.2.2 Les descripteurs du milieu urbain 35
1.2.2.1 La forme urbaine 35
1.2.2.2 La morphologie urbaine 35
1.2.2.3 La typologie urbaine et nomenclature 36
1.2.2.4 Le tissu urbain 36
1.2.3 Les objets élémentaires révélateurs de l'organisation de la ville 38
1.3 DE LA DONNEE A L'INFORMATION URBAINE 41
1.3.1 Donnée ou information géographique ? 41
1.3.2 Données urbaines et qualité 42
1.3.2.1 Données géographiques urbaines et BDGU 42
1.3.2.2 Typologie des données urbaines 43
1.3.2.2.1 Les données dites « de base » 43
1.3.2.2.2 Les données thématiques 44
1.3.2.2.3 Les données applicatives 44
1.3.2.3 Structuration des données urbaines 44
1.3.2.4 Qualité des données urbaines 45
1.3.2.4.1 Qualité intrinsèque des données urbaines 46
1.3.2.4.2 Qualité des BDGU 47
1.3.3 L'acquisition des données images : la télédétection 48
1.3.3.1 Image aérienne ou photo-satellite ? 48
1.3.3.2 Télédétection aérienne et spatiale 48
1.3.3.3 La nature de l'information apportée par la télédétection 49
1.3.4 Le SIGU, un outil d'intégration et de traitements de données urbaines multisources 50
1.3.4.1 Définitions du SIGU 50
1.3.4.2 Fonctions du SIGU 52
1.4 NOTIONS D'ACTEURS ET D'UTILISATEURS 53
1.4.1 Les acteurs de l'Aménagement du Territoire et de l'Urbanisme en France , et leurs compétences 53
1.4.1.1 L'Etat décentralisé 55
1.4.1.1.1 Les collectivités territoriales 55

1.4.1.1.2 Les EPCI 55
1.4.1.2 L'Etat déconcentré *56*
1.4.1.2.1 L'administration centrale 57
1.4.1.2.2 Les services techniques centraux 57
1.4.1.2.3 Les services déconcentrés de l'Etat 57
1.4.1.3 Les structures associatives et privées *58*
1.4.2 Les utilisateurs de l'IG et leur « degré d'expertise » **60**
1.5 L'UTILISATION DE L'IG PAR LES ACTEURS DE L'AMENAGEMENT : UNE MULTIPLICITE DE PRATIQUES **61**
1.5.1 La notion de pratique urbaine **61**
1.5.2 Un exemple de pratique urbaine **63**
1.6 CONCLUSION **64**

Chapitre 2 : L'EVOLUTION DU SECTEUR DE L'IG ET SES ENJEUX POUR LA SOCIETE **65**

INTRODUCTION **67**
2.1. LE SECTEUR DE L'INFORMATION GEOGRAPHIQUE EN FRANCE ET A L'ETRANGER : DEVELOPPEMENT ET DIFFUSION **67**
2.1.1 L'évolution de l'IG en France : des Banques de Données Urbaines aux SIGU **67**
2.1.1.1 De la DAO aux BDU *67*
2.1.1.2 Vers de nouvelles préoccupations (et la naissance de la notion d'IG) *68*
2.1.1.3 Le développement des SIG *69*
2.1.1.4 Vers une utilisation plus « thématique » des SIG *69*
2.1.1.5 Une nouvelle approche du secteur de l'IG : la géomatique *70*
2.1.2 L'IG numérique et l'entrée de la France dans la Société de l'Information **71**
2.1.2.1. La France « à la pointe » des données numériques ? *72*
2.1.2.2 La situation dans les autres pays d'Europe, une avance sur la France ? *76*
2.1.2.2.1 Etat des lieux dans les cinq « marchés » européens les plus dynamiques 76
2.1.2.2.2 Etat des lieux dans les autres pays européens 78
2.1.2.3 L'IG, un secteur prioritaire en Amérique du Nord ? *80*
2.1.2.3.1 Le Canada, initiateur d'un « marché de la géomatique » ? 80
2.1.2.3.2 Les Etats-Unis , précurseurs de politiques globales de diffusion de données ? 82
2.1.3 Conclusion **83**
2.2 LES ENJEUX DE L'IG DANS LA SOCIETE DE L'INFORMATION ET LES NOUVELLES TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION ET DE LA COMMUNICATION POUR L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE ET L'URBANISME **86**
2.2.1 L'IG émanant du secteur public : une ressource clé pour l'entrée de l'Europe dans la SI ? **87**
2.2.2 L'espace, une composante stratégique dans la Société de l'Information **92**
2.2.2.1. Le positionnement et la navigation, des enjeux civils aussi bien que militaires ? *93*
2.2.2.2 L'observation de la Terre, en enjeu stratégique pour l'entrée de l'Europe dans la SI ? *94*
2.22.2.1 L'Observation de la Terre, un accès à l'indépendance ? 95
2.2.2.2.2 L'Observation de la Terre, une composante traditionnelle du renseignement ? 97
2.2.2.2.3 L'Observation de la Terre, un enjeu « sociétal » ? 100
2.2.3 Conclusion **102**
2.3 CONCLUSION **102**

2EME PARTIE :
ADEQUATION ENTRE L'OFFRE ET LA DEMANDE DES UTILISATEURS EN IG

CHAPITRE 3 : LES BESOINS DES UTILISATEURS EN MILIEU URBAIN : EVALUATION DE LA DE LA DEMANDE 107

Introduction 109

3.1 ETAT DE L'ART DE LA DEMANDE DES UTILISATEURS : DES BESOINS NON FORMALISES ? 111

3.1.1 Des besoins spécifiques selon le type d'applications urbaines ? (H1) 111

3.1.2 Les SIG et leur utilité (H2) 113

3.1.2.1 La diffusion des SIG en France 113

3.1.2.1.1 Situation dans les collectivités territoriales et les EPCI 114

3.1.2.1.2 Situation dans les services déconcentrés de l'Etat 115

3.1.2.1.3 Situation dans les établissements associatifs et privés (Agence d'urbanisme, gestionnaire de réseaux, bureaux d'études, …) 115

3.1.2.2 Les niveaux d'utilisation du SIG en France 116

3.1.3 Les données images et leur utilisation : état de l'art de la demande (H3 à 5) 118

3.2 UNE ENQUETE SUR L'UTILISATION DES DONNEES GEOGRAPHIQUES DANS DES APPLICATIONS URBAINES 119

3.2.1 Les données à collecter : la définition de mots-clés 120

3.2.2 Une enquête en trois étapes 120

3.2.2.1 Les modes de collecte 121

3.2.2.1.1 Un questionnaire comme premier outil de collecte de données 121

3.2.2.1.2 L'organisation d'un atelier de réflexion 122

3.2.2.1.3 Des entretiens comme deuxième outils de collecte de données 123

3.2.2.2 Le traitement des données 123

3.3. L'ANALYSE ET L'INTERPRETATION DES RESULTATS 125

3.3.1 Approche analytique des résultats 125

3.3.1.1 La répartition des organismes enquêtés 125

3.3.1.2 L'équipement en SIG des organismes interrogés ? 126

3.3.1.2.1 Un classement des organismes selon l'ancienneté de leur activité SIG ? 126

3.3.1.2.2 L'utilisation de plusieurs logiciels ? 127

3.3.1.2.3 Un lien de dépendance entre les types d'organismes, l'ancienneté du SIG et le logiciel ? 128

3.3.1.2.4 Une structure SIG minimale selon le type d'organismes ? 128

3.3.1.3 Des applications différentes à partir d'objets identiques ? 131

3.3.2.1.1 Des applications selon le niveau de responsabilité ? 131

3.3.2.1.2 Des listes d'objets urbains normalisés ? 133

3.3.1.4 Les données du secteur public, une source de données prépondérante ? 134

3.3.1.5 Vers des SIG multi-tâches ? 135

3.3.1.6 L'image comme source de données complémentaires ? 136

3.3.1.6.1 Les utilisateurs et l'orthophotographie 136

3.3.1.6.2 Les utilisateurs et les images satellites 140

3.3.2 Interprétation synthétique des résultats 143

3.3.2.1 Interprétation synthétique des résultats et vérification des hypothèses de travail 143

3.3.2.1.1 Vérification de l'hypothèse de travail n°1 : des objets urbains de caractéristiques spécifiques en fonction du type d'applications ? 143

3.3.2.1.2 Vérification de l'hypothèse de travail n°2 : le SIG comme unique outil de gestion des données ? 147

3.3.2.1.3 Vérification de l'hypothèse de travail n°3 et 4 : l'image, une donnée peu utilisée dans les SIG (n°3) et uniquement comme support de communication (n°4) ? 148

3.3.2.1.4 Vérification de l'hypothèse de travail n°5 : la non utilisation de l'image dans les SIG en raison de l'inadaptation de la résolution spatiale ? 149
3.3.2.2 Comparaison avec les Etats-Unis 152
3.3.2.2.1 Objectifs et méthodologie des enquêtes réalisées aux Etats-Unis 152
3.3.2.2.2 Comparaison et interprétation des résultats entre la France et les Etats-Unis 153
3.4 CONCLUSION – FORMALISATION DES BESOINS ET IDENTIFICATION DES NICHES POTENTIELLES D'APPLICATION 157

CHAPITRE 4 : DE LA HAUTE A LA TRES HAUTE RESOLUTION : LA DEFINITION DE L'OFFRE. 161

INTRODUCTION *163*
4.1 ETAT DE L'ART DE L'OFFRE EN DONNEES IMAGES : UNE MULTIPLICATION DE PRODUITS ? 163
4.1.1 Données images : une source d'information complémentaire en milieu urbain 165
4.1.1.1 Le milieu urbain, un milieu aux caractéristiques spécifiques 166
4.1.1.2 Historique de la télédétection 167
4.1.1.2.1 Origine de la télédétection : la télédétection aérienne 167
4.1.1.2.2 De la télédétection aérienne à la télédétection spatiale 168
4.1.1.3 Développement de la télédétection urbaine 169
4.1.1.3.1 Avènement de la télédétection urbaine : la Haute Résolution 169
4.1.1.3.2 Avènement de la Très Haute Résolution 170
4.1.1.3.3 Principaux acteurs de la THR 171
4.1.2 Caractéristiques des images HR et THR disponibles et futures 172
4.1.2.1 Caractéristiques de s satellites destinés à la télédétection urbaine 172
4.1.2.2 L'accès aux images satellites et les produits de base offerts aux utilisateurs 175
4.1.3 Nomenclatures utilisées pour définir les objets urbains 177
4.1.3.1 Echelle du 1/100 000 et plus : CORINE land cover et BDCARTO® 178
4.3.1.1 La nomenclature CORINE land cover 178
4.3.1.2 La nomenclature de la BDCARTO® 178
4.1.3.2 Echelle du 1/50 000e au 1/25 000e : la nomenclature SPOT Thema 178
4.1.3.3 Echelle du 1/25 000e : CLUSTERS, MURBANDY/MOLAND, BDTOPO 179
4.1.3.3.1 Les nomenclatures CLUSTERS 179
4.1.3.3.2 La nomenclature MURBANDY/MOLAND 179
4.1.3.3.3 La nomenclature de la BDTOPO 180
4.1.4 Les produits à valeur ajoutée dérivés de l'image 180
4.1.4.1 Les produits thématiques et/ou les bases de données et leurs méthodes de production .. 180
4.1.4.1.1 La BD CORINE land cover et sa méthode de production 180
4.1.4.1.2 La BDCARTO®et sa méthode de production 181
4.1.4.1.3 SPOT Thema et sa méthode de production 181
4.1.4.1.4 La BD issue du programme Télédétection et Statistiques Urbaines et sa méthode de production 184
4.1.4.1.5 La BD MURBANDY et sa méthode de production 184
4.1.4.2 Les produits thématiques dérivés uniquement des photographies aériennes 185
4.1.4.3 Les produits thématiques issus d'organismes privés 186
4.1.5 Conclusion : une multiplication de l'offre sans uniformisation de langage 187
4.2 ETAT DE L'ART DES APPLICATIONS REALISEES A PARTIR D'IMAGES SATELLITES 190
4.2.1 Domaines d'applications « liés » au milieu urbain 190
4.2.2 Applications en milieu urbain 191
4.2.2.1 Applications opérationnelles de forte maturité 192
4.2.2.2 Applications non-opérationnelles de faible maturité 193
4.3 CONCLUSION : IDENTIFICATION DE PRODUITS A VALEURS AJOUTEES OPERATIONNELS OFFERTS AUX UTILISATEURS 193

CHAPITRE 5 : L'ADEQUATION DE L'OFFRE ET DE LA DEMANDE 195

INTRODUCTION 197

5.1 ADEQUATION ENTRE L'OFFRE ET LA DEMANDE EN OBJETS URBAINS 197

5.1.1 Seuil de résolution spatiale « minimal » pour l'identification des objets urbains 197

5.1.2 Adéquation entre l'offre et la demande en nomenclatures d'objets urbains et en produits à valeurs ajoutées de type occupation du sol 199

5.1.2.1 Méthodologie des tests 200

5.1.2.2 Qualité des bases de données d'occupation du sol issues d'images satellites 201

5.1.2.2.1 Analyse de la cohérence logique : la granulométrie 201

5.1.2.2.2 Analyse de l'exhaustivité et de la précision sémantique : les matrices de confusion 202

5.1.2.2.3 Identification des isolats 203

5.1.2.2.4 Analyse de la précision géométrique : le décalage 204

5.1.2.3 Qualité des bases de données issues de photographies aériennes 205

5.2 ADEQUATION ENTRE L'OFFRE ET LA DEMANDE EN APPLICATIONS 209

5.3 DISCUSSION ET CONCLUSIONS 210

3EME PARTIE :
MODIFICATIONS INDUITES PAR LES IMAGES THR : QUALIFICATION DU PRODUIT SYSTEME, DES OBJETS URBAINS ET DEMARCHE METHODOLOGIQUE

CHAPITRE 6 : VERS LA DEFINITION D'UN PRODUIT SYSTEME ADAPTE AU MILIEU URBAIN 217

INTRODUCTION 219

6.1 QUALITE GEOMETRIQUE ET RESOLUTION SPATIALE OPTIMALE 220

6.1.1 Qualité géométrique des images THR 220

6.1.1.1 Méthodologie des tests de qualité géométrique 222

6.1.1.2 Analyse et interprétation des résultats des tests géométriques 222

6.1.2 Echelle et Résolution spatiale optimale 224

6.1.2.1 Méthodologie d'identification de la résolution spatiale optimale selon le type d'objets urbains 226

6.1.2.2 Analyse des résultats et identification d'une résolution spatiale optimale selon le type d'objets élémentaires 228

6.2 QUALITE SPECTRALE DES IMAGES 230

6.2.1 Vérification la qualité spectrale des images fusionnées 231

6.2.1.1 Méthodologie des protocoles d'évaluation qualitative et quantitative 232

6.2.1.2 Analyses des résultats : comparaison des images fusionnées 233

6.2.1.2.1 Analyse qualitative 235

6.2.1.2.2Analyse quantitative 236

6.2.2 Qualité intrinsèque des bandes spectrales et utilité pour différencier des objets urbains 237

6.2.2.1 Méthodologie d'expérimentation du radiomètre Barringer MK-II 238

6.2.2.2 Comparaison des mesures spectrales issues du radiomètre et d'images THR optique et hyperspectrale 239

6.2.2.3 Définition de bandes spectrales adaptées aux milieux urbains ? 242

6.2.3 Optimisation du canal Panchromatique 244

6.2.3.1 Méthodologie du protocole pour optimiser le canal Panchromatique en milieu urbain .. 245

6.2.3.2 Identification du canal Panchromatique optimal pour une meilleure visibilité dans les ombres ... *246*
6.3 QUALITE STEREOSCOPIQUE ... **249**
6.3.1 Images disponibles et méthodologie du test de stéréoscopie ... **250**
6.3.2 Analyse des résultats du test de stéréoscopie ... **250**
6.4 CONCLUSION ET DISCUSSION ... **252**

CHAPITRE 7 : DES METHODES D'EXTRACTION ADPATEES AUX IMAGES THR ? ... **255**

INTRODUCTION ... **257**
7.1 ETAT DE L'ART DES METHODES D'EXTRACTION DE L'INFORMATION URBAINE : LIMITES ET SOLUTIONS ALTERNATIVES ... **259**
7.1.1 Méthodes de classification en milieu urbain ... **259**
7.1.1.1 Classification selon une approche « pixel » ... *262*
7.1.1.2 Amélioration des classifications spectrales : les classifications « zonales » et les classifications qui intègrent les informations spatiales ... *263*
7.1.1.2.1 Classification « zonale » ... 263
7.1.1.2.2 Classification intégrant des informations spatiales ... 264
7.1.1.3 Classifications « orientée-objets » ... *266*
7.1.2 Méthodes de segmentation en milieu urbain ... **266**
7.1.2.1 Segmentation selon une approche « régions » ... *266*
7.1.2.2 Segmentations selon une approche « frontière » ... *267*
7.1.2.3 Segmentation selon une approche « hybride » ... *267*
7.1.2.4 Approches alternatives de segmentation ... *267*
7.1.3 Méthodes d'évaluation des classifications ... **269**
7.2 EVALUATION DES METHODES TRADITIONNELLES D'EXTRACTION DES OBJETS URBAINS ELEMENTAIRES A DIFFERENTES RESOLUTIONS SPATIALES ... **270**
7.2.1 Zones d'études et données disponibles ... **270**
7.2.2 Mise en œuvre des classification spectrales-texturales ... **272**
7.2.2.1 Algorithme de classification spectrale : analyse discriminante pas à pas ... *272*
7.2.2.2 Analyse de texture ... *273*
7.2.3 Apport et utilité de la texture pour améliorer une classification spectrale et pour identifier les propriétés intrinsèques des images THR ... **277**
7.2.3.1 Evaluation des classifications : choix de la réalité terrain ... *277*
7.2.3.2 Identification d'un indice de texture « optimal » à 2.5 m ... *277*
7.2.3.3 Influence de la résolution spatiale sur l'apport de la texture ... *279*
7.2.4 Apport et utilité de la morphologie mathématique pour extraire les objets de type « bâtiments » et pour identifier les propriétés intrinsèques des images THR ... **282**
7.2.4.1 Méthodologie d'extraction des structures urbaines fondée sur des opérateurs morphologiques ... *282*
7.2.4.2 Apport de la morphologie mathématique pour extraire le bâti ... *283*
7.3 CONCLUSION ET DISCUSSION ... **286**

CHAPITRE 8 : VERS UNE DEMARCHE ORIENTEE-OBJETS ... 289

INTRODUCTION ... **291**
8.1 QU'APPELLE-T-ON UNE DEMARCHE « ORIENTEE-OBJETS » ? ... **293**
8.2 IDENTIFICATION ET CONSTRUCTION D'UNE BASE DE REGLES DE RECONNAISSANCE DES OBJETS « MICRO » ... **295**

8.2.1 Critères de qualification des propriétés intrinsèques des objets « micros » **296**
8.2.1.1 Critères spectraux *296*
8.2.1.2 Critères géométriques et identification des indicateurs les plus pertinents *297*
8.2.1.2.1 Construction d'une base de données caractérisant la géométrie des objets urbains 298
8.2.1.2.2 Analyse statistique exploratoire : un ou plusieurs indicateurs pertinents pour caractériser les objets « micro » ? 299
8.2.1.3 Critères contextuels : un unique critère d'adjacence ? *300*
8.2.2 Formalisation des critères de reconnaissance des objets « micro » : des règles « absolues » ? **301**

8.3 IDENTIFICATION ET CONSTRUCTION DES REGLES DE REGROUPEMENT DES OBJETS « MICRO » EN OBJETS « MESO » **303**

8.3.1 Caractéristiques des objets « méso » au 1/10 000e **304**
8.3.2 Identification des règles de regroupement des objets « méso » au 1/10 000e **305**
8.3.2.1 Critères de regroupement fondés sur le voisinage *305*
8.3.2.2 Critères de regroupement fondés sur la recherche de structures spatiales *305*
8.3.2.3 Critères de regroupement spécifiques à l'image satellite *306*

8.4 EXEMPLE D'INTEGRATION DES REGLES DE RECONNAISSANCE : PREMIERS RESULTATS EXPLORATOIRES **308**

8.4.1 Etape de segmentation **309**
8.4.2 Etape de caractérisation des régions et de classification en objets « micro » **310**
8.4.3 Utilisation de eCognition pour tester la validité de l'utilisation d'une base de règles de reconnaissance des objets « micro » **311**
8.4.3.1 Méthodologie d'introduction des règles de reconnaissance des objets « micro » *311*
8.4.3.2 Premiers résultats exploratoires de l'intégration des règles « micro » dans la procédure de classification orientée-objets *313*
8.4.4 Etape d'agrégation des objets « micro » en objets « méso » par application des règles de regroupement : premiers résultats **316**

8.5 CONCLUSION **317**

CONCLUSION GENERALE **319**

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES **325**

ANNEXES ..... **A_1 à A_{101}**

LISTE DES FIGURES

*Les Figures suivies d'un **(C)** sont reprises en couleurs dans un fascicule détaché à la fin du manuscrit.*

Figure 1.1 - Définition des notions d'Aménagement du territoire et d'Urbanisme 29
Figure 1.2 - Schéma du système spatial 32
Figure 1.3 - Modèle de Christaller 33
Figure 1.4 - Trois modèles de structure urbaine 34
Figure 1.5 - Schéma des différents types de tissus urbains 38
Figure 1.6 - Définition d'un objet urbain 39
Figure 1.7 - Structure de la ville par le réseau viaire et l'espace bâti (Extrait de la ville d'Istanbul). 39
Figure 1.8 - Exemples de rapports entre bâti, parcelle, îlot et rue. 40
Figure 1.9 - Processus de production de l'information 41
Figure 1.10 - Donnée, information et connaissance 42
Figure 1.11 - Schématisation d'une Base de Données Géographiques Urbaines. 43
Figure 1.12 - Représentation d'un objet en mode vecteur et en mode raster. 44
Figure 1.13 - Représentation d'un objet géographique en mode vecteur. 45
Figure 1.14 - Représentation du monde réel en mode raster selon un codage en 256 niveaux de gris. 45
Figure 1.15 - Précision, exactitude et biais (d'après David et Fasquel, 1997) 46
Figure 1.16 - Le système télédétection (modifié de CCTS, 2001). 49
Figure 1.17 - Identification d'un objet urbain à partir des données de télédétection 50
Figure 1.18 - SIRS, SIT et SIG et leurs caractéristiques 51
Figure 1.19 - Les fonctionnalités d'un SIG selon la règle des 5A 52
Figure 1.20 - Les composantes d'un SIG 52
Figure 1.21 - Récapitulatif des organismes et de leurs compétences 54
Figure 1.22 - Les utilisateurs de l'IG selon leurs degré d'expertise. 60
Figure 1.23 - Schématisation d'une pratique urbaine et de ses différentes phases. 63

Figure 2.1 - Les étapes de développement du secteur de l'IG. 71
Figure 2.2 - Etapes de développement de l'IG en France, au Canada et aux Etats-Unis. 85
Figure 2.3 - Hiérarchie verticale de SDI et niveaux d'intervention 90

Figure 3.1 - La pyramide de décision des acteurs et des besoins associés 112
Figure 3.2 - Evolution du nombre de SIG dans les collectivités territoriales entre 1998 et 2000 114
Figure 3.3 - Evolution du nombre de SIG dans les CG et CR entre 1998 et 2000 114
Figure 3.4 - Relations entre les applications urbaines et les fonctions du SIG. 117
Figure 3.5 - Types d'organismes enquêtés (France et pays d'Europe compris) 125
Figure 3.6 - Proportion des organismes interrogés selon leur origine géographique ***(C)*** 126
Figure 3.7 - Ancienneté des SIG par type d'organismes 127
Figure 3.8 - Logiciels SIG utilisés par types d'organismes interrogés ***(C)*** 128
Figure 3.9 - Scalogramme 130
Figure 3.10 - Source des données 134
Figure 3.11 - Données publiques par organismes 134
Figure 3.12 - Techniques utilisées pour le traitement des données localisées 135
Figure 3.13 - Documents produits en sortie pour répondre à une application 135
Figure 3.14 - Proposition d'un dictionnaire d'objets urbains, classés en catégories thématiques 146
Figure 3.15 - Utilisations et destinataires des données images 148
Figure 3.16 - Répartition des coûts dans un SIG 150
Figure 3.17 - Relations entre les objectifs, les besoins et les coûts lors de l'acquisition de données. 151
Figure 3.18 - Freins et raisons de la non-utilisation des images satellites 151
Figure 3.19 - Logiciels utilisés en France et aux Etats-Unis 153
Figure 3.20 - Résolution de l'orthophoto en fonction du type d'organismes 154
Figure 3.21 - Variation du coût moyen de production d'une orthophoto (couleur) au km² 156

Figure 4.1 - Représentation synthétique des flux entre les divers intervenants 164
Figure 4.2 - Comparaison des tailles de parcelles urbaines de plusieurs pays avec le champ instantané de vue ; Taille des pixels nécessaire pour discriminer un îlot urbain selon le pays 167
Figure 4.3 - Satellites gouvernementaux et commerciaux HR et THR 173

Figure 4.4 - Altitude de l'orbite en fonction de la fauchée 174
Figure 4.5 - Figure 4.5 – Résolution spatiale en fonction de la fauchée. 174
Figure 4.6 - Prix des produits de base (corrections standards comprises) par kilomètres carré 175
Figure 4.7 - Extrait de la base Corine land cover (1998) et de la BDCarto® (IGN, 1999) sur la Communauté Urbaine de Strasbourg ***(C)*** 182
Figure 4.8 - Extrait de Spot Thema sur l'agglomération toulousaine (1996) ***(C)***. 183
Figure 4.9 - Extrait de Clusters sur l'agglomération de Bordeaux (1995) ***(C)*** 184
Figure 4.10 - Extrait de Murbandy sur l'agglomération bruxelloise (1997) ***(C)*** 185
Figure 4.11 - Extrait de la BD Topo® sur l'agglomération de Strasbourg (IGN, 1989) ***(C)*** 186
Figure 4.12 - Niveaux d'échelles atteints par l'offre en produits de base HR 194

Figure 5.1 - Stade d'interprétation d'un objet urbain à différente résolution. 198
Figure 5.2 - Exemple de calcul du décalage de bases de données : repérés sans ambiguïtés et avec ambiguïtés. 201
Figure 5.3 - Courbes granulométriques cumulatives (échelles logarithmiques) 202
Figure 5.4 - Identification des isolats sur un extrait de la CUS (centre ville). 204
Figure 5.5 - Exemples de mesures de décalage 205
Figure 5.6 - Complémentarité et exemples de confusions entre la BD topo® et la BD Carto® 207
Figure 5.7 - Exemple de sous-estimation des surfaces des bâtiments 208
Figure 5.8 - Instigation d'une spirale offre/demande en télédétection urbaine 210

Figure 6.1 - Calcul de l'EMQ. 222
Figure 6.2 - Ratio des erreurs en fonction de leur orientation. 223
Figure 6.3 - Les significations de la notion d'échelle 224
Figure 6.4 - Évolution de la variabilité globale par bandes spectrales avec l'augmentation de la résolution. 226
Figure 6.5 - Catégories d'objets retenues et leurs attributs. 227
Figure 6.6 - Variance et résolution spatiale optimale 229
Figure 6.7 - Bandes spectrales des capteurs actuels 230
Figure 6.8 - Localisation des imagettes pour l'évaluation qualitative ***(C)*** 234
Figure 6.9 - Extrait des images brutes multispectrales et panchromatiques Quickbird et des images fusionnées selon la méthode de corrélation et selon la méthode ARSIS (couleurs naturelles) ***(C)*** 234
Figure 6.10 - Comparaison des profils radiométriques transversaux entre les images fusionnées et les images multispectrales originales 235
Figure 6.11 - Comparaison des valeurs spectrales des images fusionnées et des images multispectrales originales. 236
Figure 6.12 - Mesures spectrales à partir du radiomètre Barringer. 238
Figure 6.13a - Comparaison des mesures spectrales de matériaux « surfaces au sol » ***(C)*** 240
Figure 6.13b - Comparaison des mesures spectrales de matériaux « toits de bâtiment » ***(C)*** 241
Figure 6.14 - Pourcentage de réflectance des matériaux urbains selon les données AVIRIS et identification de bandes spectrales optimales ***(C)*** 243
Figure 6.15 - Bandes spectrales des sept filtres panchromatiques (ATS1 – Pléiades-HR). 244
Figure 6.16 - Zones d'observation des images ATS1 : zone 1 (ombre moyenne), zone 2 (ombre claire) et zone3 (ombre foncée) 245
Figure 6.17 - Comportement spectral des trois zones d'ombre. 246
Figure 6.18 - Histogrammes des images simulées panchromatiques 247
Figure 6.19 - Extrait de l'image panchromatique utilisée dans le test de détections des contours (Pan), contour des bâtiments à identifier et exemple de résultat de détection des contours selon le filtre de Prewitt (identification de quatre bâtiments). 248
Figure 6.20 - Résultats du test de détection des contours des bâtiments. 248
Figure 6.21 - Définition du rapport Base sur Hauteur. 249
Figure 6.22 - Indicateur de qualité des images en fonction du B/H 251

Figure 7.1 - Interaction entre application, images, objets et traitement d'images. 257
Figure 7.2 - Méthodes d'extraction utilisées en milieu urbain 261
Figure 7.3 - Algorithmes de classification selon la distance minimum, en hyperboîtes, selon le maximum de vraisemblance 262
Figure 7.4 - Schéma fonctionnel d'un neurone artificiel 263
Figure 7.5 - Perceptron à trois couches 263
Figure 7.6 - Apparition de l'effet de texture 264
Figure 7.7 - Zone d'étude des images disponibles 271
Figure 7.8 - Images aux différentes résolutions spatiales 271
Figure 7.9 - Méthodologie de comparaisons des classifications spectrales et spectrales-texturales 272
Figure 7.10 - Principe de l'analyse discriminante 273
Figure 7.11 - Image panchromatique originale à 2.5 m et images de texture produites selon les indices (fenêtre

7x7) Homogénéité (b), Second moment angulaire (c), Dissimilarité (d) et Entropie (e). 274
Figure 7.12 - Evolution du coefficient de variation de l'indice d'Homogénéité en fonction de la taille de la fenêtre 275
Figure 7.13 - Protocole de test de l'analyse de texture appliquée aux images simulées à 2.5 m 276
Figure 7.14 - Exemples de résultats des classifications spectrales-texturales obtenues avec l'indicateur d'homogénéité 7x7, les 3CPet la CP1 de l'indicateur d'homogénéité ***(C)*** 278
Figure 7.15 - Classifications spectrales aux différentes résolutions spatiales ***(C)*** 280
Figure 7.16 - Classifications spectrales-texturales obtenues avec l'indicateur d'homogénéité 7x7, aux différentes résolutions spatiales***(C)*** 281
Figure 7.17 - Principe d'ouverture et de fermeture 282
Figure 7.18 - Méthodologie d'évaluation de l'extraction des objets « bâti » extraits par morphologie mathématique 283
Figure 7.19 - Extraction des objets de type « bâtiment » par morphologie mathématique à 5 et 2.5 m 284
Figure 7.20 - Erreurs relatives sur l'identification des surfaces bâties par trois méthodes d'extraction 285
Figure 7.21 - Extraction des surfaces bâties de type « grand ensemble » par morphologie mathématique 285
Figure 7.22 - Classification spectrale par analyse discriminante comparée à une classification spectrale fondée sur un réseau de neurones HyperConvexes à 2.5 m ***(C)*** 287

Figure 8.1 - Etapes d'une démarche orientée-objets 292
Figure 8.2 - Catégories d'objets selon leur signature spectrale 297
Figure 8.3 - Valeurs spécifiques des indices selon des formes classiques 298
Figure 8.4 - Importance du critère d'adjacence pour identifier un objet urbain élémentaire. L'exemple des toitures des bâtiments 300
Figure 8.5 - Exemples de régions adjacentes à fusionner en une seule région 301
Figure 8.6 - Descriptions morphologiques des trois grands types de tissus urbains 304
Figure 8.7 - Relations de proximité et de voisinage entre deux objets surfaciques 305
Figure 8.8 - Extrait de l'image simulée Push à 1 m utilisée comme test et résultats de trois segmentation issus de eCognition ***(C)*** 310
Figure 8.9 - Arbre hiérarchique de classement des objets urbains selon leur difficulté d'identification décroissante 311
Figure 8.10 - Procédure d'introduction des règles de reconnaissance des objets « micro » selon l'approche linéaire et l'approche déductive 312
Figure 8.11 - Comparaison de la classification spectrale avec la classification orientée-objets obtenues à partir de la base de règles de reconnaissance et améliorée par une segmentation multirésolution ***(C)*** 313
Figure 8.12 - Comparaison des résultats de classification spectrale (a), avec les résultats de classifications orientées-objets obtenues à partir de la base de règles de reconnaissance (b) selon une segmentation multirésolution ***(C)*** 315
Figure 8.13 - Identification d'objets « méso » selon les critères de regroupement sur trois îlots ***(C)*** 317

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 - Définitions des zones de bâti continu. ... 31
Tableau 1.2 - Définitions des unités urbaines ... 31

Tableau 2.1 - Classement des pays selon la disponibilité des données numériques de base. ... 84
Tableau 2.2 - Classement des pays selon leur politique de diffusion de l'IG. ... 84

Tableau 3.1 - Données images actuellement utilisées dans des applications urbaines. ... 118
Tableau 3.2 - Thèmes et données à collecter. ... 120
Tableau 3.3 - Couches d'information intégrées dans le SIG et pourcentage d'organismes qui en dispose. ... 129
Tableau 3.4 - Exemples d'applications selon les différents niveaux de responsabilité. ... 131
Tableau 3.5 - Diffusion de l'orthophoto selon la taille du pixel. ... 137
Tableau 3.6 - Type d'applications où l'orthophoto est utilisée. ... 138
Tableau 3.7 - Problèmes liés à l'utilisation de l'orthophoto. ... 138
Tableau 3.8 - Coût de réalisation d'une orthophoto (2000). ... 139
Tableau 3.9 - Type d'applications où l'image satellite est utilisée, selon le type d'organismes. ... 140
Tableau 3.10- Problèmes rencontrés lors de l'utilisation des images satellites (sur 16% de réponses). ... 141
Tableau 3.11- Les raisons de non-utilisation des images satellites. ... 141
Tableau 3.12- Les attentes des utilisateurs pour les produits issus d'images satellites ... 142
Tableau 3.13- Catégories et sous-catégories d'objets : définition. ... 144
Tableau 3.14- Liste des applications où les objets urbains utiles sont détaillés. ... 144
Tableau 3.15- Exemples de réponses d'organismes, pour deux applications différentes. ... 145
Tableau 3.16- Comparaison des prix d'une orthophoto et d'une image satellite (2003). ... 149
Tableau 3.17- Catégories d'organismes ayant répondus en France et aux Etats-Unis. ... 153
Tableau 3.18- Les catégories d'utilisateurs et leurs besoins. ... 154
Tableau 3.19- Les utilisateurs des orthophotos. ... 154

Tableau 4.1 - Principales dates du développement de la télédétection. ... 169
Tableau 4.2 - Comparatif des dénominations des résolutions spatiales dans les domaines civil et militaire. ... 170
Tableau 4.3 - Distributeurs officiels des images satellites en Europe. ... 176
Tableau 4.4 - Produits sur étagères de type base de données d'occupation du sol proposés par les sociétés privées. ... 187
Tableau 4.5 - Sociétés privées de prestations de services liées aux images satellites ... 187
Tableau 4.6 - Récapitulatif des caractéristiques des bases de données de l'occupation/utilisation du sol dérivées d'images satellites. 188
Tableau 4.7 - Nombre de classes par niveau de nomenclature destiné au milieu urbain. ... 188
Tableau 4.8 - Applications opérationnelles réalisées à partir d'images satellites. ... 192
Tableau 4.9 - Applications du domaine de la recherche réalisées à partir d'images satellites. ... 193

Tableau 5.1 - Résolution minimale et objets urbains. ... 199
Tableau 5.2 - Correspondance des thèmes comparés. ... 200
Tableau 5.3 - Généalogie des bases de données CORINE LAND COVER et BD CARTO®. ... 201
Tableau 5.4 - Matrices de confusion. ... 203
Tableau 5.5 - Statistiques des isolats sur un extrait de la CUS. ... 203
Tableau 5.6 - Catégories thématiques des objets urbains comparés. ... 206
Tableau 5.7 - Matrices de confusion. 207
Tableau 5.8 - Applications et produits images utilisés (aériennes ou satellites HR). ... 209
Tableau 5.9 - Nomenclature des objets urbains destinée à une utilisation au 1/10 000e. ... 214

Tableau 6.1 - Simulations et images mises à disposition par le CNES et acquises par Image et Ville. ... 219
Tableau 6.2 - Bases de données de référence utilisées pour chaque test. ... 220
Tableau 6.3 - Résultats de l'évaluation de la qualité géométrique (test 1). ... 223
Tableau 6.4 - Statistiques* sur les différences entre images originales et images synthétisées Quickbird (Puissant et al., 2003 ; Weber et al., 2003). ... 237
Tableau 6.5 - Bandes spectrales utiles pour discriminer les matériaux urbains. ... 243
Tableau 6.6 - Résultats des tests (question 1) sur les images brutes et filtrées. ... 246

Tableau 7.1 - Images disponibles pour les tests d'extraction d'information. 270
Tableau 7.2 - Paramètres de qualité des classifications spectrale et spectrales-texturales. 278
Tableau 7.3 - Pourcentages de bon classement des classifications spectrales et spectrales–texturales aux différentes résolutions spatiales.. 279

Tableau 8.1 - Objets utilisés pour l'analyse statistique exploratoire des propriétés géométriques des objets urbains 295
Tableau 8.2 - Matrices de corrélation entre les indices de formes arithmétiques des objets élémentaires de type « bâtiments » 300
Tableau 8.3 - Formalisation des critères de reconnaissance des objets « micro » 302
Tableau 8.4 - Liste des objets « méso »* demandés par les utilisateurs au 1/10 000e 303
Tableau 8.5 - Formalisation des critères de regroupement pour les trois grands types de tissus urbains 307
Tableau 8.6 - Comparaison des pourcentages de bons classement des classifications spectrales et orientée-objets 314
Tableau 8.7 - Taille de région les plus adaptées selon le type d'objets en fonction de la résolution spatiale optimale (cf. § 6.1.2.2). 314

LISTE DES ANNEXES

Annexe 2.1 - Relevé de décision gouvernemental - 19 février 2001 : Les orientations du Référentiel à Grande Echelle (RGE) ..... A_3
Annexe 2.2 - Données gérées au Canada ..... A_5
Annexe 2.3 - Données gérées aux États-Unis ..... A_7
Annexe 2.4 - Le marche de l'IG en Europe ..... A_9
Annexe 3.1 - Les SIG dans les collectivités territoriales en 2000 et 2002 – Partie 1 ..... A_{11}
Annexe 3.1 - Les SIG dans les collectivités territoriales en 2000 et 2002 – Partie 2 ..... A_{12}
Annexe 3.2 - Le questionnaire et son protocole ..... A_{13}
Annexe 3.3 - Plaquette de présentation de l'atelier de réflexion ..... A_{19}
Annexe 3.4 - Article paru dans SIG-La-Lettre ..... A_{20}
Annexe 3.5 - Grille d'entretien ..... A_{23}
Annexe 3.6 - Classification Hiérarchique ascendante sur les facteurs 1 et 2 (variables liées relatives au SIG) ..... A_{27}
Annexe 3.7 - Classification Hiérarchique ascendante sur les facteurs 1 et 2 (variables relatives à l'orthophoto) ..... A_{29}
Annexe 3.8 - Classification Hiérarchique ascendante sur les facteurs 1 et 2 (variables relatives à l'image satellite) ..... A_{31}
Annexe 4.1a - Nomenclature CORINE Land cover (3 niveaux) ..... A_{33}
Annexe 4.1b - Nomenclature CORINE Land cover des agglomérations françaises (5 niveaux) ..... A_{35}
Annexe 4.2 - Classes d'occupation du sol du thème habillage de la BDCarto®. ..... A_{39}
Annexe 4.3 - Nomenclature SPOT Thema ..... A_{41}
Annexe 4.4 - Nomenclature CLUSTERS ..... A_{43}
Annexe 4.5 - Classes ajoutées pour la nomenclature MURBANDY ..... A_{49}
Annexe 4.6 - Liste des objets de la BD TOPO® par thèmes. ..... A_{51}
Annexe 4.7 - Caractéristiques des bases de données d'occupation du sol proposées par des sociétés privées ..... A_{53}
Annexe 4.8 - Nomenclature LUCAS ..... A_{55}
Annexe 5.1 - Identification du seuil de résolution spatial minimale pour les objets issus du dictionnaire d'objets urbains ..... A_{57}
Annexe 5.2 - Définition des classes thématiques de la nomenclature définie au 1/ 10 000e ..... A_{61}
Annexe 6.1 - Extrait de l'image QUICKBIRD panchromatique utilisée pour évaluer la qualité géométrique ..... A_{65}
Annexe 6.2 - La fusion par corrélation ..... A_{67}
Annexe 6.3 - Le concept ARSIS ..... A_{69}
Annexe 6.4 - Exemple d'une fiche de test pour évaluer l'apport d'un canal panchromatique élargi. ..... A_{73}
Annexe 6.5 - Exemple d'anaglyphe sur un quartier de Toulouse ..... A_{75}
Annexe 6.6 - Exemple d'une fiche de test pour évaluer l'apport de la stéréoscopie ..... A_{77}
Annexe 6.7 - Schéma de localisation (test de stéréoscopie) ..... A_{79}
Annexe 6.8 - Apport de la stéréoscopie selon le degré de perception (réalisé à partir de 10 utilisateurs) ..... A_{81}
Annexe 7.1 - Article paru dans Géocarto International (2002) ..... A_{83}
Annexe 7.2 - Matrice de corrélation entre les indices de texture ..... A_{95}
Annexe 7.3 - Interfaces du prototype « Télédétection » bases sur les réseaux neuronaux HyperConvexes ..... A_{97}
Annexe 8.1 Diagrammes de fréquence des indices de forme des objets de type « bâtiments » ..... A_{99}

Introduction générale

Récolter des données, extraire des informations pertinentes en regard de l'application concernée, traiter ces informations, les interpréter, puis les rendre opérationnelles, voilà, quels que soient le domaine ou l'objet d'étude, le champ d'action du chercheur, de l'expert, du décideur. Cette infostratégie, formalisée par des enjeux scientifiques, technologiques, économiques, est l'un des piliers de la Société de l'Information (SI) : aujourd'hui, chacun demande à obtenir la « meilleure » information, c'est-à-dire l'information la plus adaptée à ses besoins, à moindre coût.

Si l'objet d'étude est un territoire, les sources d'Information Géographique (IG), mais aussi les demandes et les acteurs, sont multiples. Depuis la fin de la Guerre Froide, l'information sur le territoire n'est plus uniquement un outil de la décision militaire, mais aussi un outil de la décision publique, économique et environnementale ainsi qu'une richesse stratégique pour la compétitivité d'un pays. L'IG, qui était jusqu'au début des années 1990 une activité essentiellement administrative, est devenue un **secteur économique**, **en pleine expansion** avec l'entrée de l'Europe dans la Société de l'Information, et **en constante évolution** avec le développement des Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication (NTIC)**.** Ces évolutions modifient les métiers, la façon de produire mais aussi celles de diffuser l'information. Les systèmes d'Information Géographique sont devenus les pivots de l'information et de l'analyse du territoire.

Société de l'Information, Information Géographique et Images satellites

En tant que téléspectateur et lecteur de revues à grande diffusion, nous sommes tous les jours confrontés à une multitude de données et d'informations, dont certaines sont géographiques, c'est-à-dire localisées à la surface du globe.

Quotidiennement, lors de bulletins météorologiques par exemple, nous avons l'occasion de suivre le mouvement des nuages avec des animations issues d'**images satellitaires**. Toutes ces images ont un point commun, elles sont le résultat d'une science récente, la **télédétection spatiale.** Cette acquisition d'information à distance, sans contact direct avec l'objet permet de recueillir des informations non directement détectables par d'autres moyens techniques, et d'enregistrer de nouvelles caractéristiques de la terre et de ses composantes biophysiques et anthropiques. Plus qu'un simple

outil d'inventaire, elle est devenue, en complément d'autres sources de données, un instrument d'analyse, de prévision et de gestion des espaces naturels et urbanisés, aux cinétiques d'évolution parfois très rapides.

Le milieu urbain est un champ d'action récemment à ouvert de la télédétection spatiale. Depuis les années 1950, l'essor mondial de la population se caractérise par une progression spectaculaire des **espaces urbanisés**. Avec la pression démographique et l'extension urbaine qui en découlent, le développement, la planification et le suivi de la dynamique du territoire relèvent de la première importance. Il est nécessaire de disposer de données fiables, précises et continuellement mises à jour sur le territoire. La complexité et l'acuité des enjeux urbains conduit, de plus en plus, les collectivités locales à se doter d'outils d'aide à la décision performants en matière d'**aménagement urbain** et de **planification urbaine**. Ces outils doivent être développés à des échelles d'action compatibles avec les besoins des acteurs et des utilisateurs.

Dans ce contexte, les **images d'Observation de la Terre** (aériennes et satellites) représentent un **potentiel important** d'acquisition d'IG. L'utilisation des données **images Haute Résolution** (HR – résolution supérieure à 5 m), dans les deux dernières décennies, s'est multipliée dans de nombreux domaines d'application (environnement, aménagement et planification du territoire, agriculture, gestion des risques). Par rapport aux méthodes traditionnelles d'acquisition, les images satellites permettent, d'un *point de vue thématique*, de collecter des informations homogènes sur des grandes superficies (plusieurs dizaine à centaine de km^2), sans considération de l'accessibilité physique ou politique des régions observées, et d'obtenir périodiquement des données identiques sur une même zone. D'un *point de vue stratégique*, l'image satellite garantit un accès indépendant aux informations sur un territoire. D'un *point de vue technique*, le format numérique offre la possibilité de traiter rapidement de grands volumes de données de manière automatique.

Dès le milieu des années 1980, déjà, une bibliographie attentive du domaine proposait de nombreuses références au lecteur sur l'utilisation thématique des images HR pour l'étude de la cinématique du front urbain (progression), de la densification du tissu urbain (mutation), de la consommation d'espace, ou du suivi de la végétation péri et intra-urbaine. Grâce à leur potentiel de suivi diachronique et d'identification des types d'occupation du sol, les images satellites représentent également un support de réflexion efficace pour la définition des lignes directrices de l'aménagement des agglomérations et des régions en général.

Les images à Très Haute Résolution : nouvelles attentes, nouveaux usages

Actuellement, la multiplication des capteurs optiques commerciaux à **Très Haute Résolution** (THR – résolution inférieure ou égale à 5 m) devrait constituer un atout majeur dans le cadre de la télédétection en milieu urbain. En parallèle, les producteurs d'IG ont développé une filière, entièrement numérique, de **photographies aériennes de résolution métrique à sub-métrique**. Ainsi, la forte hétérogénéité des villes, quels que soient les types et les phases d'urbanisation, ne peut que bénéficier de résolutions spatiales plus fines qui apportent une nouvelle vision et qui permettent de localiser, d'identifier et de quantifier les objets urbains.

La convergence de ces **deux évolutions technologiques** débouche sur une **abondance de données numériques** directement utilisables pour la constitution ou la mise à jour de bases de données géographiques à grandes échelles adaptées aux milieux urbains. Elle induit de nouvelles attentes, et définit de nouveaux usages.
Tout utilisateur potentiel est amené à rechercher l'IG la plus adaptée à ses objectifs, en fonction des

tâches ou des applications à réaliser parmi la multitude de produits et de données, bruts ou à valeur ajoutée, disponibles. L'engouement pour les techniques modernes de représentation spatiale reflète une nouvelle façon d'appréhender les problématiques de gestion territoriale fondée sur une **prépondérance de l'image**. Cette évolution transforme la chaîne de production, de diffusion et d'utilisation de l'information. Elle induit de **nouvelles exigences** qui modifient les **attentes des utilisateurs.** Elles bouleversent la nature des relations entre les acteurs et, finalement, elles changent fondamentalement les enjeux. Avec les images THR, le potentiel de satisfaction des besoins de description et d'analyse des espaces urbains est élevé, mais non encore évalué.

PROBLEMATIQUE SCIENTIFIQUE

La recherche s'insère dans le cadre de l'évaluation de l'apport **des images satellites THR** comme source d'**Information Géographique** (IG) pour les acteurs de l'Aménagement du Territoire et de l'Urbanisme.

A l'heure actuelle, l'info-stratégie, c'est-à-dire la stratégie de mise en place d'une « structure informationnelle » cohérente, est au cœur des préoccupations quotidiennes des acteurs, gestionnaires et utilisateurs du milieu urbain. Les applications urbaines nécessitent des données multisources, multi-échelles, mises à jour régulièrement et avec une périodicité en relation avec l'évolution du milieu. Une conséquence est la **multiplication de la demande en informations localisées** à diverses échelles, d'autant que l'entrée de l'Europe dans la SI et le développement des NTIC **ont modifié les attentes, les manières de travailler et les applicatifs.**

Sur le *plan technologique*, le positionnement par satellite permet aujourd'hui, à tous, de mesurer une position avec précision ; ceci modifie radicalement les méthodes de collecte d'information. En parallèle, les lancements effectifs et annoncés de satellites d'Observation de la Terre à résolution métrique ou sub-métrique (IKONOS, QUICKBIRD, SPOT 5, ORBVIEW, EROS, etc) ouvrent la voie à l'automatisation de la production d'informations urbaines de type numérique.

Sur le *plan thématique*, le champ d'application de ces images n'est plus uniquement la délimitation de la « tâche urbaine » mais l'analyse des composantes internes de l'espace urbain. Les échelles des applications changent : l'objet étudié est le tissu urbain, le quartier, voire l'élément urbain (bâtiment, route).

Sur le *plan technique*, l'essor de l'informatique, le développement de logiciels spécialisés dans la manipulation de l'IG (stockage, gestion, analyse) tels que les Systèmes d'Information Géographique (SIG) et le développement des technologies en ligne (Internet) ont modifié les pratiques et les enjeux de l'IG en permettant un accès direct et interactif à de nombreuses données.

Ces mutations essentielles, survenues dans un contexte de refonte institutionnelle (décentralisation territoriale, construction européenne) et de rigueur des budgets publics, ont **modifié les responsabilités** et **perturbé les métiers**. Les différentes collectivités locales (Communes, Structures Intercommunales, Départements, Régions) ont aujourd'hui un rôle majeur dans la gestion de leur territoire ; elles ont considérablement investi dans la création de **systèmes d'information** pour la gestion et l'aide à la décision, notamment dans les domaines de l'Aménagement, de l'Urbanisme et de l'Environnement. Par ailleurs, les NTIC favorisent la multiplication **des informations disponibles** sur le marché (offre) et créent à la fois un auditoire potentiel immense de « consommateurs » et une

profusion de données dans laquelle l'expert comme le non-expert peut facilement se noyer.

Face à ces trois révolutions (modification des sources d'information et de leurs techniques d'analyse, modification des responsabilités, modification des applications), une réflexion en terme de demande et non plus seulement d'offre doit être menée.

Une **prospective sur les besoins** (Questionnement 1) des utilisateurs en milieu urbain est indispensable pour vérifier leur adéquation avec l'offre disponible en données. Par ailleurs, répondre aux besoins des « utilisateurs finaux » (technicien, gestionnaire, politique) revient à préciser les **ajustements nécessaires à la définition des nouveaux capteurs** (Questionnement 2) et à proposer de **nouvelles méthodes d'extraction automatique de l'information** à partir des images satellites (Questionnement 3).

Pourquoi ces questionnements ? Par l'importance du sujet pour les utilisateurs d'IG (collectivités locales, territoriales, etc) mais aussi pour les producteurs et les distributeurs d'IG. L'image reste aujourd'hui encore un sujet difficile, dont l'interprétation est très malaisée. Mais l'intérêt du thème de recherche n'explique pas tout : l'interprétation visuelle de l'image est souvent trivialement résolue par l'observateur humain quelconque. La difficulté de l'image réside dans la validité sémantique pour être utilisée comme une source d'information complémentaire et dans la transcription d'un raisonnement humain complexe en une chaîne de traitement automatique qui permet d'associer à un groupe de pixels partageant des propriétés identiques une classe thématique ou un objet de la réalité.

Ainsi pour le producteur comme pour l'utilisateur d'IG, plusieurs questions spécifiques se posent :

- Les images satellites THR sont-elles utilisées et adaptées aux applications urbaines ?
- La THR entraîne-t-elle une nouvelle vision de la ville ? en d'autres termes, peut-on considérer l'augmentation de la résolution spatiale comme un élément d'information ?
- Les méthodes traditionnelles d'extraction d'information urbaine, développées pour des images HR, sont-elles « efficaces » sur les images THR ? Ou ces données images nécessitent-elles le développement de nouvelles méthodes d'extraction automatique d'information ?

OBJECTIFS ET DEMARCHE DE LA RECHERCHE

L'objectif général de cette recherche est **d'évaluer l'apport des images satellites THR comme source d'IG pour répondre aux besoins des utilisateurs en milieu urbain**.

Les objectifs spécifiques sont de :

(1) **formaliser les besoins** des utilisateurs en milieu urbain (IG à grande échelle du 1/200^{e} au 1/10 000^{e}) à un instant *t* et de les **confronter à l'offre** existante en termes de produits-systèmes (résolutions spatiale, spectrale et temporelle ; stéréoscopie) et de produits à valeurs ajoutées.

(2) évaluer la **qualité des images THR** en termes de précision géométrique, de résolutions spatiale et spectrale et de stéréoscopie afin de préciser les performances opérationnelles d'un capteur optique « idéal » adapté aux besoins des utilisateurs en milieu urbain.

(3) vérifier si les **algorithmes d'extraction traditionnels** (classification spectrale et texturale) permettent de dériver des produits à valeur ajoutée adaptés aux besoins, ou si le dévelop-

pement de nouvelles méthodes d'extraction est indispensable (approche par réseaux de neurones, approche orientée-objets).

Ces objectifs rejoignent les préoccupations du Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) dans le cadre du programme préparatoire des spécifications du produit-système PLEIADES-HR (composante optique THR du satellite ORFEO). Les applications urbaines et péri-urbaines constituent un des secteurs d'utilisation de ces futures images dont les potentialités restent à définir.

La recherche est basée sur une **démarche scientifique expérimentale** qui associe une **enquête** auprès des utilisateurs d'IG de type images et l'utilisation de **techniques de traitement d'images**. Des images satellites simulées à différentes résolutions spatiales (1 à 10 m), fournies par le CNES dans le cadre du programme SPOT 5 et PLEAIDES-HR, constituent les données de départ de la recherche.

Les besoins des utilisateurs sont formalisés à partir d'une enquête en trois étapes construite sur une hypothèse générale et des hypothèses de travail (décrites dans le mémoire). Pour formaliser les besoins, il s'agit d'identifier :

- les utilisateurs d'IG à grande échelle et de données de type images (**QUI ?**) ;
- les applications urbaines, c'est-à-dire les tâches de ces utilisateurs et les caractéristiques des informations utiles (**QUOI ?**) ;
- les « pratiques » des utilisateurs et de mettre en évidence les « processus de production » des informations (**COMMENT** ?) ;
- les freins la diffusion et l'utilisation des images satellites (**POURQUOI** ?) ;
- des **niches potentielles d'applications** issues de la **nouvelle « vision de la ville »** par les images THR (**OU** ?).

Un **état de l'art de l'offre** en produits-systèmes, en produits à valeur ajoutée et en applications « liées » au milieu urbain est réalisée. **L'adéquation entre l'offre et la demande** est ensuite vérifiée par catégories d'applications et niveaux de compétences des utilisateurs. Une réflexion est menée sur la qualité des données géographiques (tests qualitatifs et quantitatifs) et sur la complémentarité/concurrence entre orthophotographies et images satellites.

Pour évaluer la **qualité intrinsèque des images THR** en termes de géométrie, de résolution spatiale, spectrale et de stéréoscopie, des protocoles croisés d'évaluation qualitative et quantitative sont testés. Il s'agit de vérifier :

- la qualité géométrique des images panchromatiques
- la qualité spectrale d'images haute résolution panchromatiques fusionnées avec des images multispectrales à plus faible résolution,
- la qualité intrinsèque des bandes spectrales et leur utilité pour différencier différents types d'objets urbains,
- la qualité d'un canal panchromatique pour améliorer la visibilité dans les ombres et
- la qualité de stéréoscopie pour extraire une information sur la hauteur des bâtiments

Pour vérifier si le changement de « vision » de la ville apporté par le passage de la HR à la THR entraîne des modifications dans la chaîne de production de l'information urbaine, des algorithmes traditionnels d'extraction sont testés sur des images à différentes résolutions spatiales, de 10 à 1 m. Une base de données de règles de reconnaissance des objets urbains est ensuite construite. Ces règles sont intégrées dans un processus de classification orienté-objets.

STRUCTURE DE LA THESE

La thèse s'articule en trois parties avec un total de huit chapitres.

La **première partie** pose le cadre théorique de la recherche et positionne l'image dans le secteur de l'IG.
Le **chapitre 1** discute la terminologie des notions utilisées dans ce travail telles que Aménagement du territoire, Urbanisme ; des concepts utilisés pour décrire le milieu urbain en termes géographique et numérique ; et des concepts d'acteurs, d'utilisateurs de l'IG et de pratiques urbaines.
Le **chapitre 2** retrace l'évolution du secteur de l'IG, en France et à l'étranger, afin de replacer dans leur contexte les besoins « actuels et potentiels » de ces acteurs. Les enjeux de l'IG et des données image dans la SI et avec le développement des NTIC sont mis en évidence

La **deuxième partie** est consacrée à la vérification de l'adéquation entre l'offre et la demande.
Le **chapitre 3** expose un état de l'art de la demande et les résultats d'une enquête sur les besoins des utilisateurs. Il formalise les besoins et identifie les niches d'application potentielles des images THR. Le **chapitre 4** présente un état de l'art de l'offre en termes de produits-systèmes, de produits à valeur ajoutée dérivés de l'image (aérienne ou satellite) et d'applications. Dans le **chapitre 5**, l'adéquation entre l'offre et la demande est analysée sur le plan des **objets urbains** par la comparaison des objets identifiés comme utiles (par la demande) avec les objets disponibles dans des bases de données produites à partir de données images et sur le plan des **applications** par l'analyse de leur « degré de maturité » qui permet de différencier les applications opérationnelles (proposées comme services aux utilisateurs), des applications en développement (domaine de la recherche). Les résultat de cette analyse nous ont conduit à proposer une nomenclature des objets urbains adaptée au 1/10 000e.

La **troisième partie** analyse les modifications induites par le passage de la haute à la très haute résolution en termes de produit-systèmes, de produits à valeurs ajoutées et de démarche méthodologique d'extraction de l'information.
Le **chapitre 6** précise les ajustements nécessaires à la définition des performances opérationnelles d'un capteur optique en termes de précision géométrique, de résolution (spatiale, spectrale, temporelle), de stéréoscopie et de couverture spatiale, pour répondre aux besoins des utilisateurs à des échelles du 1/2000e au 1/10 000e.
Le **chapitre 7** évalue les capacités des méthodes traditionnelles d'extraction (classification spectrale et spectrale texturale) sur des images THR.
Dans le **chapitre 8,** une démarche méthodologique fondée sur l'identification d'une base de règles de reconnaissance et son intégration dans une procédure orientée-objets est présentée pour améliorer les méthodes d'extraction des objets urbains sur des images THR. Les tests effectués dans ce chapitre constituent les premiers résultats d'une approche qui doit permettre de faciliter la tâche des utilisateurs par une semi-automatisation ou une automatisation complète de certaines procédures d'extraction.

1ère PARTIE

CADRE THEORIQUE ET DE RECHERCHE SUR LA PLACE DE L'IMAGE DANS LE SECTEUR DE L'IG

Chapitre 1 :

AMENAGEMENT DU TERRITOIRE, URBANISME ET INFORMATION GEOGRAPHIQUE : NOTIONS ET CONCEPTS

SOMMAIRE

INTRODUCTION 27

1.1 NOTIONS D'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE ET D'URBANISME 27

1.2 AMENAGER L'ESPACE URBAIN OU URBANISER LA VILLE 29

1.2.1 Les concepts liés au milieu urbain 30
1.2.2 Les descripteurs du milieu urbain 35
1.2.3 Les objets élémentaires révélateurs de l'organisation de la ville 38

1.3 DE LA DONNEE A L'INFORMATION URBAINE 41

1.3.1 Donnée ou information géographique ? 41
1.3.2 Données urbaines et qualité 42
1.3.3 L'acquisition des données images : la télédétection 48
1.3.4 Le SIGU, un outil d'intégration et de traitements de données urbaines multisources 50

1.4 NOTIONS D'ACTEURS ET D'UTILISATEURS 53

1.4.1 Les acteurs de l'Aménagement du territoire et de l'Urbanisme en France , et leurs compétences 53
1.4.2 Les utilisateurs de l'IG et leur « degré d'expertise » 60

1.5 L'UTILISATION DE L'IG PAR LES ACTEURS DE L'AMENAGEMENT : UNE MULTIPLICITE DE PRATIQUES 61

1.5.1 La notion de pratique urbaine 61
1.5.2 Un exemple de pratique urbaine 63

1.6 CONCLUSION 64

INTRODUCTION

L'objectif de ce chapitre est de préciser la terminologie des notions couramment utilisées telles que l'**Aménagement du territoire**, l'**Urbanisme** (§ 1.1), et des concepts manipulés dans ces deux **domaines d'intervention** qui ont un objet d'étude commun, le milieu urbain et plus précisément la ville. En effet, ces termes sont des termes usuels mais souvent mal définis les uns par rapport aux autres. Souvent, les acteurs de ces domaines d'intervention utilisent des termes différents pour désigner des mêmes phénomènes. Dès lors comment communiquer et partager des connaissances si des phénomènes identiques sont définis et décrits de façon différente, sans que les autres soient capable de les comprendre. Il est donc indispensable d'utiliser un langage commun.

Afin de faciliter la compréhension des actions menées, dans ces deux domaines d'intervention, les notions et concepts de la **géographie urbaine**, **discipline scientifique** dont l'objet d'étude est la ville, sont également précisés (§ 1.2). Ainsi, les descripteurs du milieu urbain tels que la forme urbaine, la morphologie, le tissus urbain, les objets élémentaires de la ville sont définis.
Par ailleurs, les actions réalisées sur le territoire sont réalisées par des **acteurs** et des **utilisateurs** qui manipulent de l'**Information Géographique** (IG). De la même manière, afin de lever toute ambiguïté, les notions et les concepts que ces termes usuels soulèvent sont précisés (§ 1.3 et 1.4).

1.1 NOTIONS D'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE ET D'URBANISME

Il existe de nombreuses définitions des notions d'Aménagement du territoire et d'Urbanisme.

En premier lieu, d'après *Le Memento de l'Urbanisme* (Comby, 1977) :

- l'**Aménagement du territoire**, aussi appelé planification territoriale, est « l'organisation de la mise en valeur du territoire grâce à la recherche d'une répartition optimale des activités et des populations, des grands axes de communication et des équipements à vocation régionale… L'aménagement de l'espace résulte d'une catégorie d'acteurs et de décideurs : maître d'ouvrage, maître d'œuvre, promoteur... » ;
- l'**Urbanisme** est la « technique et l'art de l'aménagement des villes ». L'urbanisme ne semble pas pouvoir prétendre à constituer une discipline scientifique spécifique. C'est cette inexistence scientifique qui faire dire à Auzelle (1965) que « l'apprentissage de l'urbanisme n'est sérieux que lorsqu'il s'ajoute à une formation d'architecte, d'ingénieur, de géographe ou d'économiste ». Trois grands domaines sont à considérer : La **politique foncière**, l'**Urbanisme réglementaire**, qui crée le cadre à l'intérieur duquel sera donné libre champ aux initiatives privées (par les PLU par exemple), l'**Urbanisme opérationnel**, qui est au contraire la mise en œuvre de réalisations, soit par la collectivité, soit par un organisme public ou privé.

L'auteur précise également qu'il est nécessaire de faire la distinction entre l'Urbanisme, et l'Architecture. En effet, l'**Urbanisme** est longtemps resté, en France surtout, le domaine des architectes. Le domaine de l'urbanisme se distingue cependant radicalement de celui de l'**Architecture** car tandis qu'un plan d'architecture est la description du bâtiment à édifier, un plan d'urbanisme est un programme d'organisation de l'espace qui ne permet aucune description plastique de la ville. Par contre, l'**Urbanisme** et **la Planification urbaine** sont deux termes à peu près synonymes

car la notion d'urbanisme met l'accent sur la recherche de l'organisation spatiale à atteindre, et la planification urbaine met l'accent sur les moyens d'y parvenir.

En résumé, Comby (1977) oppose qualitativement **l'Aménagement du territoire** et l'**Urbanisme** car « *au changement d'échelle, correspond un changement de problématique et de méthodes* ». Les techniques de l'Urbanisme concernent un territoire suffisamment réduit pour constituer le cadre de vie de l'ensemble des habitants qui y résident, sans que les relations quotidiennes avec l'extérieur de ce territoire soient proportionnellement en nombre important. A l'opposé l'Aménagement du territoire concerne une région ou un pays qui comporte une pluralité d'agglomérations.

En second lieu, d'autres auteurs, d'après *Les Mots de la Géographie* (Brunet *et al*., 1993) définissent :

- l'**Aménagement**, de manière générale, comme « *toute action volontaire et réfléchie d'une collectivité sur son territoire, soit au niveau local (aménagement rural, urbain, local), soit au niveau régional (grands aménagements régionaux, irrigations), soit au niveau national (Aménagement du territoire)* » ;
- l'**Urbanisme**, quant à lui, est défini comme « *un ensemble de règlements et d'actions qui font la ville* ».

Ces auteurs opposent donc l'Aménagement du territoire « *boîtes à idées du développement* » à l'Urbanisme « *outil de gestion de développement* ».

Rousseau et Vouzelle (1995) précise que les urbanistes et les aménageurs doivent, offrir davantage de qualité et de sens à la ville future dans sa **conception** pour les premiers, et dans sa **réalisation** pour les seconds. Tous deux travaillent en compagnie d'experts issus d'autres disciplines. Le démographe et le sociologue, l'historien et le géographe, l'ingénieur et l'architecte, l'économiste et le financier, le notaire et le géomètre sont les plus fréquemment associés à cette transformation de la cité.

Ces quelques exemples montrent à quel point il est difficile de fournir une définition unique des notions d'Aménagement du territoire et d'Urbanisme. Ces différentes définitions suggèrent que l'extrême complexité des problèmes urbains nécessite des analyses multicritères faisant appel à des champs professionnels assez différents les uns des autres. Une pratique urbaine réellement **pluridisciplinaire** apparaît comme une condition première d'un traitement professionnel et pragmatique des problèmes urbains. En effet, les villes constituent un territoire où s'accumulent des enjeux économiques, sociaux, politiques, culturels et de prestige profondément imbriqués. Toute analyse monodisciplinaire d'une telle réalité ne peut donc être que réductrice (Lacaze, 1997). Le recours systématique à une approche pluridisciplinaire est la condition nécessaire d'une perception pertinente de l'objet étudié.

En définitive, nous retiendrons pour ce travail que la principale différence entre l'Aménagement du territoire et l'Urbanisme, se situe dans la **formulation de la problématique** et dans son **échelle d'étude**. Le terme Aménagement du territoire est en général utilisé pour définir les actions à mener à une échelle **nationale ou régionale**[1] (de l'ordre du 1/50 000e au 1/25 000e) alors que le terme Urbanisme est utilisé pour définir des actions menées à une **échelle locale** (de l'ordre du 1/10 000e au

[1] Ces actions concernent, par exemple, l'élaboration d'un Schéma de Cohérence territorial (SCOT), l'élaboration de carte d'occupation/utilisation du sol, la création d'un parc régional, d'une zone industrielle ou commerciale, … A ce stade, il est important de faire la différence entre ces deux notions couramment employées, mais rarement différenciées. L'**occupation du sol** recouvre l'aspect biophysique de la surface (surface bâtie, surface en eau…), et **l'utilisation du sol** s'applique aux fonctionnalités associées à ces zones (zone de loisirs, parking, stade, habitation…).

1/200e), qui utilisent des procédures de planification territoriale réglementées comme par exemple la réalisation d'un PLU, l'obligation d'une étude d'impact avant tout projet, les projets d'aménagement de quartiers, … De plus, les **échelles temporelles** durant lesquelles les actions se déroulent ne sont pas identiques : une opération d'aménagement se déroule souvent sur une période plus longue (processus de réflexion plus long, en amont de l'opérationnalité de l'action), alors qu'une procédure d'urbanisme (la révision d'un PLU) est réalisée dans un intervalle de temps clairement défini. Enfin, les aménageurs définissent un cadre de **développement à long terme** du territoire d'étude (études prospectives), alors que l'urbaniste fournit un **cadre administratif** de gestion et de réalisation d'un projet (études opérationnelles).
Néanmoins, si en théorie la distinction semble claire, en pratique, les bureaux d'étude (publics ou privés) qui se disent spécialisés en l'une ou l'autre de ces domaines (Aménagement du territoire et/ou Urbanisme) finissent, à un moment donné, par faire l'amalgame et par traiter des problèmes qui relèvent à la fois de l'Aménagement du territoire et de l'Urbanisme.

En résumé, toutes les actions et les opérations de développement sont menées par différents **acteurs** et impliquent l'utilisation continue d'informations sur un territoire considéré. La principale ressemblance, outre un **territoire caractérisé « d'urbain »**, est que l'Aménagement du territoire et l'Urbanisme nécessitent des réflexions et des **pratiques pluridisciplinaires**, à partir d'informations de nature diverse (économique, sociale, …), dont l'**Information Géographique** est une des sources principales (Figure 1.1).

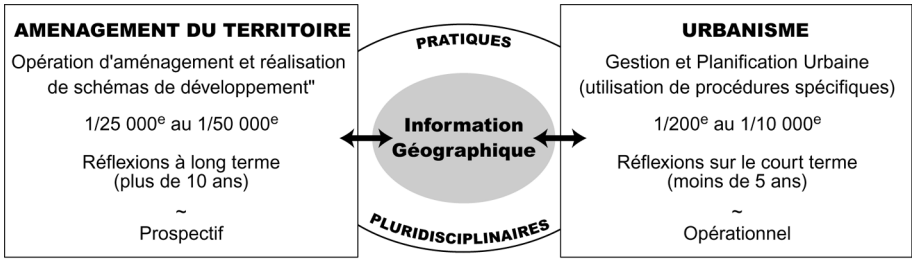


Figure 1.1 - Définition des notions d'Aménagement du territoire et d'Urbanisme (Puissant, 2000).

1.2 AMENAGER L'ESPACE URBAIN OU URBANISER LA VILLE ?

Dans les domaines de l'Aménagement du territoire et de l'Urbanisme, plusieurs termes sont utilisés pour désigner le « territoire d'étude ». Ainsi, les **aménageurs** utilisent le plus souvent le terme d'**espace** ou de **milieu** caractérisé d'**urbain** par opposition aux espaces naturels ou au milieu rural, tandis que les **urbanistes** lui préfèrent le terme de **ville**.

Ces termes (territoire, espace, milieu, ville) sont fréquemment utilisés de façon interchangeable et sans leur donner une signification toujours très précise. Cela s'explique en partie par le flou qui entoure ces différentes notions et par le fait qu'on trouve dans la littérature de nombreuses définitions qui ne sont pas toujours concordantes. L'objectif de cette section est donc d'apporter quelques éléments de définition basés sur des ouvrages de référence en **géographie**, afin de lever toute ambiguïté de compréhension. Il ne s'agit pas ici de donner des définitions définitives de ces concepts.

Ainsi, Brunet (1993) définit l'**espace** comme « *l'étendue terrestre utilisée et aménagée par les sociétés en vue de leur production au sens large, soit non seulement pour se nourrir et s'abriter, mais dans toute la complexité des actes sociaux. Il comprend l'ensemble des lieux et de leurs relations* ». Il est de ce fait à la fois

un système de relations et un produit organisé résultant d'interactions entre la nature et les sociétés. La **notion de milieu** recouvre celle d'espace géographique en lui ajoutant toutefois l'idée de délimitation. En effet, selon George (1970), le milieu désigne « *un espace géographique qui entoure un groupe humain, sur lequel il agit et dont les contraintes climatiques, économiques, politiques, …. retentissent sur son comportement et l'état de ce groupe* ». Le milieu permet donc de différencier l'espace géographique, mais sans apporter de limites précises. C'est pourquoi, les termes de **milieu urbain** ou de milieu rural sont utilisés. Le **territoire** se distingue du milieu par le fait que les critères de délimitation retenus lui permettent de reconnaître des limites plus précises et font référence à des notions d'appartenance. Selon Brunet *et al.* (1993), le territoire correspond ainsi à un « *espace géographique approprié, avec sentiment ou conscience de son appropriation* ». Il n'y a donc pas un territoire mais des territoires qui peuvent se superposer, parce qu'ils résultent d'un choix de critères de délimitations différents. Dans le contexte de l'Aménagement du territoire et de l'Urbanisme, le territoire correspond alors à une portion de l'espace géographique circonscrite par des limites politico-administratives (limites d'une commune, d'un département, d'un pays, etc).

Les actions et les opérations d'aménagement ne respectent pas toujours un découpage selon des limites administratives, c'est pourquoi, dans la suite de ce travail, nous utiliserons le terme de **milieu urbain** comme terme générique, pour caractériser l'espace et le territoire d'action des aménageurs et des urbanistes, sachant qu'il peut être constitué d'une multitude de territoires. La ville faisant partie intégrante de ce milieu urbain, les **concepts de la géographie urbaine**, discipline scientifique qui s'occupe des dimensions spatiales du phénomène urbain (distribution, structure et processus), et dont l'objet d'étude est la **ville**[2] (Bailly *et al.*, 2001), seront utilisés. Dans ce cadre, quelques définitions du concept de ville, de systèmes urbains, de réseaux urbains et de modèles urbains sont successivement présentés (§ 1.2.1). Ensuite, les descripteurs (§ 1.2.2) ainsi que les objets élémentaires (§ 1.2.3) permettant de caractériser l'organisation du milieu urbain sont détaillés.

1.2.1 Les concepts liés au milieu urbain

1.2.1.1 La ville

Les définitions de « ville » sont nombreuses et dépendent des critères pris en compte (critères physiques, fonctionnels, statistiques) ainsi que de leur interprétation (aspects cognitifs).

Selon Pelletier et Delfante (1997), trois critères sont classiquement utilisés pour définir la ville : la(es) population(s), les fonctions et la morphologie (sens architectural) de la ville. Selon ces auteurs, la ville est « *un lieu d'échanges de toute nature, un lieu de services rendus, soit à sa population, soit à celle de l'extérieur* ». Ces **fonctions** sont celles du commerce de toutes dimensions, des activités de service aux particuliers et aux entreprises : banques, bureaux, administrations, équipements de santé, spectacles et activités ludiques. Ces services peuvent exister à tous les niveaux selon le type de la ville mais il existe un minimum parfaitement clair dans tous les pays développés ...
Dans le même ordre d'idées, Merlin et Choay (1988) précisent « *la ville naît donc fondamentalement de fonctions centrales d'échanges, de confrontation ou de rencontre collective* ».

[2] La ville est ici considérée comme « *un ensemble morphologique, physionomique, social, et culturel différencié, fonctionnellement intégré dans un réseau hiérarchisé de complémentarité lui permettant d'organiser sa région et de l'intégrer dans l'économie globale* » (Bailly *et al.*, 2001)

D'un point de vue strictement **technique**, l'Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques français (INSEE) définit la **ville** comme « *une commune dont la population agglomérée dépasse 2000 habitants* ». Cette définition de la ville repose sur trois critères : la continuité du bâti, la population qui y réside et le découpage administratif (limite communale). L'ensemble des villes et agglomérations sont ainsi regroupées sous le terme d'**unités urbaines**. On retrouve ces critères dans d'autres pays, avec des seuils différents (Tableau 1.1). En Europe, les seuils pris en compte pour définir un bâti continu sont :

- une distance entre les bâtiments comprise entre de 50 ou 200 m ;
- des seuils de population (quand ils sont pris en compte) qui s'échelonnent entre 200, 500 ou 1000 habitants.

Tableau 1.1 - Définitions des zones de bâti continu (*in* LeGléeau *et al.*, 1996).

	Distance maximum entre les bâtiments (m)	**Seuil de population (nombre d'habitants)**
France	200	Aucun (50 jusqu'en 1982)
Autriche	200	500 depuis 1991
Belgique	Non précisé	200
Danemark Finlande Suède	200 modulation possible	200
Grèce	200	Aucun
Irlande	200	50 maisons occupées
Angleterre Pays de Galles	50	Environ 1000
Ecosse	50	500

Le tableau 1.2 détaille les seuils pris en compte dans la définition des unités urbaines, en fonction du bâti continu (défini précédemment), des limites administratives (communes, districts, quartiers) et de la population (excepté pour la France et la France qui n'intègrent plus la population dans leur définition du bâti continu).

Tableau 1.2 - Définitions des unités urbaines (*in* LeGléeau *et al.*, 1996).

Pays	**Définition d'une aire urbaine**
France	Zone de bâti continu de plus de 2000 habitants ajustée sur les communes
Autriche	Zone de bâti continu de plus de 2000 habitants et moins de 15 % de population agricole, ajustée sur les communes
Belgique	Zone de bâti continu ajustée sur : - les quartiers (agglomération morphologique) - les communes (agglomération opérationnelle)
Danemark Finlande Suède	Zone de bâti continu
Grèce	Zone de bâti continu de plus de 10 000 habitants ajustée sur les communes
Angleterre Irlande	Zone de bâti continu ajustée sur les *District Electoral Division*
Pays de Galles	Zone de bâti continu ajustée sur l'*enumeration district*
Ecosse	Zone de bâti continu ajustée sur le *local authority*

Au delà de ces critères, la ville peut également être étudiée en géographie urbaine comme « *un système à l'intérieur d'un système de villes* » (Berry, 1964). Claval (1968) confirme en spécifiant que la ville apparaît à l'analyste comme « *un gigantesque système destiné à permettre la maximisation de la*

fonction de communication et d'échanges sociaux ». Le point suivant s'attache donc à préciser la définition de la ville comme système urbain.

1.2.1.2 La ville comme système urbain

La notion de **système** a été largement décrite et utilisée dans de nombreuses disciplines. Nous retenons la définition de Bailly et Ferras (1997) : « *un système se décompose en sous-systèmes si chacun de ses éléments est considéré comme un système dans un autre niveau d'analyse. C'est un ensemble d'éléments interdépendants et traités comme un tout. Un système recouvre les deux notions, d'ensemble organisé entre différents éléments, et d'interactions entre ces éléments* ». Le terme de **système urbain ou spatial** est utilisé en géographie urbaine pour définir la ville (Bailly *et al.*, 2001).

Laurini (2001) présente un **système urbain** comme un sous-système de contrôle d'un système plus général. Ce sous-système est constitué d'éléments interdépendants pour lesquelles toute modification ou prise de décision a des répercussions sur l'ensemble du sous-système. Les interactions entre toutes ces éléments sont illustrées à la Figure 1.2.

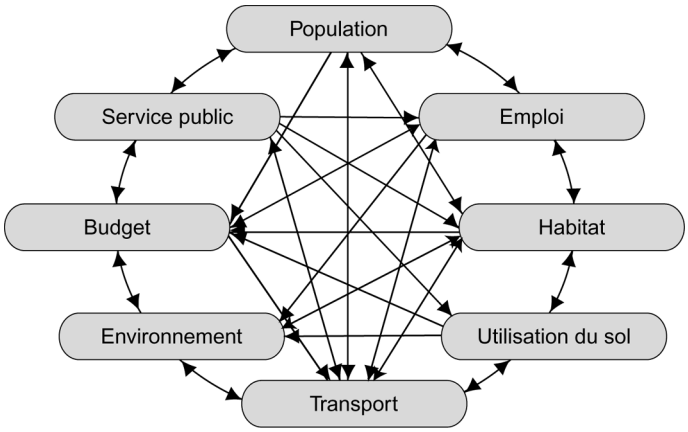


Figure 1.2 - Schéma du système spatial (modifié de Laurini, 2001).

Selon cette définition, le système urbain se base essentiellement sur des critères anthropiques. Il est également possible de considérer le système urbain selon ses composantes physiques (matérielles) décrites selon leurs fonctionnalités et leurs représentations cognitives. Ainsi, Lynch (1976) considère que les composantes physiques de la ville peuvent être classées en cinq types d'éléments :

- les **voies**, qui sont « les chenaux le long desquels l'observateur se déplace habituellement, occasionnellement, ou potentiellement. Elles peuvent être des rues, des allées piétonnières, des voies de métropolitain, des canaux, des voies de chemin de fer ;
- les **limites**, qui sont « les éléments linéaires que l'observateur n'emploie pas ou ne considère pas comme des voies. Ce sont les frontières entre deux phases, les solutions de continuité linéaire : rivages, tranchées de voie ferrées, limites d'extension, murs… De telles limites peuvent être des barrières, plus ou moins franchissables, qui isolent une région d'une autre ; ou bien elles peuvent être des coutures, lignes le long desquelles deux régions se relient et se joignent l'une à l'autre » ;
- les **quartiers**, qui sont « des parties de la ville, d'une taille assez grande, qu'on se représentent comme un espace à deux dimensions, où un observateur peut pénétrer par la pensée, et qui se reconnaissent parce qu'elles ont un caractère général qui permet de les identifier » ;
- les **nœuds**, qui sont « des points, les lieux stratégiques d'une ville, pénétrables par un observateur, et points focaux intenses vers et à partir desquels il voyage. Cela peut être essentiel-

lement des points de jonction, endroits où on change de système de transport, croisements ou points de convergence de voies, lieux de passage d'une structure à une autre » ;
- les **points de repère**, qui sont « un autre type de référence ponctuelle, mais dans ce cas l'observateur n'y pénétrant pas, ils sont externes ».

Il existe de nombreuses façons d'aborder la notion de système urbain, notamment par la nature de ses composantes (anthropiques, physiques, …). Globalement, le concept de système spatial (urbain) permet d'expliquer la structure d'un espace (urbain). Si on considère les systèmes urbains d'après leurs composantes physiques (cf. ci-dessus), les propriétés spatiales du système urbain sont observables sur le plan de la ville. Les principes qui régissent l'organisation d'un système urbain évoluent au cours du temps. Ils sont le fruit d'opérations urbanistiques qui influencent les formes urbaines. L'analyse des principes d'organisation spatiale des systèmes urbains et la recherche de « références », de termes généraux et de similarités a conduit à l'élaboration de **modèles urbains**, représentations simplifiées et formalisées de la réalité.

1.2.1.3 Le modèle, représentation du système urbain

Un modèle est « *une représentation simplifiée d'une réalité* », qui donne du sens à cette réalité et permet donc de la comprendre. Quatre grands types de modèles sont utilisés (Brunet *et al.*, 1997) :
- les **modèles mathématiques** sous forme d'équation, qui mettent en valeur les dépendances entre phénomènes. Un exemple classique est le modèle gravitaire, dont il existe de nombreux dérivés (la loi de Reilly) ;
- les **modèles de système** qui cherchent à représenter la structure d'un système, ses composants et ses flux (exemple du système urbain décrit § 1.2.1.2) ;
- les **modèles prédictifs** qui prévoient l'évolution de systèmes en fonction de modifications que l'on intègre au système (modifications des éléments ou de leurs relations) ;
- les **modèles graphiques ou chorématiques**, qui permettent de représenter la structure d'un espace, en simplifiant sa représentation grâce à une sémiologie graphique adaptée.

Parmi les modèles mathématiques, un des modèles urbains utilisé en géographie est le modèle de Christaller. Ce modèle, élaboré par le géographe allemand Walter Christaller en 1933, dérivé de la **théorie des lieux centraux**, a été conçu pour expliquer la taille et le nombre des villes et leur espacement dans un territoire. Cette théorie s'appuie sur une définition de la ville qui en fait essentiellement un centre de distribution de biens et de services pour une population dispersée, et sur des principes d'optimisation (qui tiennent compte des coûts de transport). Le modèle décrit l'organisation hiérarchisée d'un réseau de villes selon le niveau des services qu'elles offrent, et leur disposition spatiale régulière au centre d'hexagones (Figure 1.3).

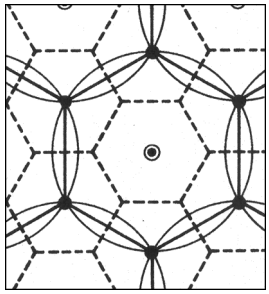


Figure 1.3 – Modèle de Christaller**.**

D'autres modèles décrivent la ville comme un système écologique complexe. Ces modèles, de types graphiques, se basent sur les travaux de l'Ecole de sociologie urbaine de l'Université de Chicago. Celle-ci initia vers les années 20, l'étude de la structure interne des villes en s'inspirant des concepts de l'écologie urbaine. Dans ces modèles, le phénomène de ségrégation fondé sur des critères économiques et sociaux marque l'organisation des villes (Figure 1.4).

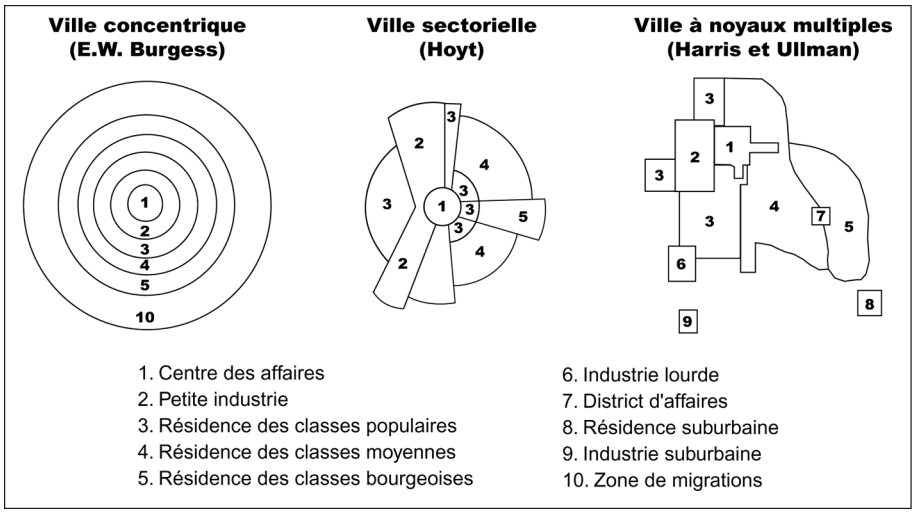


Figure 1.4 - Trois modèles de structure urbaine (*in* Beaujeu-Garnier, 1997).

Le **modèle de Burgess** (1929) présente le type idéal d'une ville se développant selon une série de cercles concentriques. Ce modèle, appliqué à la ville Chicago, distingue cinq zones concentriques (Bailly et Beguin, 2001) : le centre des affaires, la zone de transition, la zone de résidences ouvrières, la zone de résidences plus aisées, et l'auréole d'où vient les migrants quotidiens. Le système concentrique d'organisation de la ville, identifié par Burgess sur des critères sociaux, est identifié par Alonso (1964) sur des critères économiques. Il a montré que les choix de localisation résidentielle dépendent du coût du logement (plus élevé près des centres villes) et du coût des transports (plus élevé loin des centres villes). Clark (1951) reconnaît également cette organisation concentrique en établissant une corrélation entre l'éloignement du centre et la baisse des densités humaines dans la ville.

Dans le **modèle de Hoyt** (1939), qui prend en compte l'effet linéaire des voies de communication, la combinaison des principes d'attraction du centre et de quadrillage par le réseau de communication développe une disposition en secteurs. On note la disposition préférentielle de l'industrie le long de certains axes de transports (chemin de fer ou voies d'eau) ; à proximité, se trouvent les résidences ouvrières.

Harris et Ullman (1945) complexifient le modèle précédent en créant une structure en mosaïque et affirment l'existence d'une ville à noyaux multiples (centres historique, commercial et des affaires). Ce modèle est d'autant mieux représenté que les villes sont de taille importante.

Cette section a permis de faire une mise au point sur le domaine d'étude des aménageurs et des urbanistes, à travers les définitions des concepts de ville, système urbain et modèle urbain. Le **système urbain** permet de décrire la complexité de l'espace urbain en le décomposant en sous-systèmes définis en terme de composantes (anthropiques, physiques) et de relations intercomposantes. Une formalisation de cette organisation est fournie par les **modèles urbains** qui détaillent les processus de spatialisation. Ces processus (combinaison des processus politiques, économiques et sociaux) créent des formes urbaines (des régularités) dont la signification (morphologique, organisationnelle) reste à comprendre. La section suivante présente les descripteurs utilisés pour décrire l'organisation du milieu urbain.

1.2.2 Les descripteurs du milieu urbain

Les notions et les concepts utilisés pour décrire l'organisation du milieu urbain et plus précisément, l'organisation de la ville sont précisés ci-dessous sur la base des concepts utilisés en géographie urbaine car ils permettent de mieux comprendre le regard que les aménageurs et les urbanistes portent sur celle-ci. En effet, l'analyse des villes par les aménageurs et les urbanistes est toujours réalisée par l'intégration des dimensions historique et sociale.

L'Aménagement du territoire ou l'Urbanisme ne peuvent être abordés sans faire intervenir la dimension historique. Tout ouvrage qui traite de l'organisation des formes urbaines d'une ville retrace son évolution dans le temps et met en parallèle son histoire, les différents types d'aménagements urbains et les modes de constructions de bâtiments.
Les aménageurs et les urbanistes s'inspirent également fortement des pratiques sociales pour expliquer l'organisation des villes. L'explosion des banlieues en est une illustration : ce type d'urbanisme, qui fait souvent l'objet de critiques aujourd'hui, fut une des seules réponses trouvées, dans les années soixante, à la question de l'installation de milliers de personnes à petits revenus dans des logements salubres. Notons également que les quartiers sont une entité de la ville, un élément unitaire, souvent caractérisé par (i) une pratique sociale particulière ou (ii) une population donnée. Ce type d'analyse des villes, basée sur l'Histoire et les pratiques ne serait complète si elle ne faisait pas intervenir les notions de « **forme urbaine** », de « **morphologie urbaine** ». Elle s'effectue à partir d'une grille de lecture, une « **typologie »** du milieu urbain.

1.2.2.1 La forme urbaine

On peut comprendre aisément ce qu'est la forme géométrique d'un objet simple (allongée, ronde, volumineuse, ...). La forme d'une ville est moins facilement concevable : parle-t-on de la forme de la ville entière (auquel cas il faut accepter l'idée que la ville est un tout et non pas une juxtaposition d'objets) ou de la forme de ses principales composantes...?

La **forme urbaine** est définie par Merlin et Choay (1988) comme une « *architecture spécifique à la ville, c'est-à-dire une création architecturale dont les composantes possèdent une diversité de type* ». Elle peut être assimilée au résultat d'une organisation de la ville ; c'est alors un tout, l'assemblage des différents éléments de ville associés à une certaine époque. Cette définition reste un peu obscure. Selon la définition, plus accessible de Levy, cité par Merlin et Choay (1988), la forme de la ville résulte de « *la réunion des entités physiques et sociales ; c'est-à-dire les éléments géométriques, naturels ou construits, et les facteurs sociaux et économiques qui ont induit une pratique urbaine donnée* ». Les entités physiques peuvent être liées à la topographie (relief, présence d'un fleuve), à des constructions passées (existence d'un mur de fortification) et présentes, et les entités sociales, à la prédominance d'un type de population dans un quartier ou d'une activité particulière. Cette définition est retenue, dans ce travail, car elle souligne que la ville est une réunion, ou une composition d'entités morphologiques homogènes.

1.2.2.2 La morphologie urbaine

Le terme de **morphologie urbaine** est associé à deux principales acceptions (Merlin et Choay, 1988) : dans la première, le terme recouvre la notion de forme urbaine, et dans la deuxième,

il désigne les moyens qui rendent possible la connaissance de l'objet ville, c'est-à-dire l'art de reconnaître les éléments types dans la ville et de comprendre la façon dont ils s'organisent entre eux.

Nous retiendrons de cette notion que la morphologie urbaine est un moyen de lire la ville, afin d'en expliciter la forme, ou de distinguer « les » formes de ses différentes composantes. En ce sens, elle est très étroitement liée à la notion de typologie**.**

1.2.2.3 La typologie urbaine et nomenclature

La **typologie** est une méthode permettant de reconnaître dans la ville des objets ou des composantes élémentaires de même type. Les critères utilisés par les urbanistes ou les architectes pour mener à bien cette lecture de la ville intègrent les aspects historiques, sociaux et économiques et relient souvent les fonctions des bâtiments à leur forme, en complétant leur étude de la ville d'une analyse fonctionnelle. Ainsi, Rossi (1981) considère que la fonction d'une composante de la ville peut être différente dans une même forme, car la fonction peut évoluer et la forme persister. A l'opposé Hillier (Merlin et Choay, 1988) ne s'intéresse qu'à la forme physique et spatiale de la ville lorsqu'il évoque la morphologie. Selon lui, ce qui importe, c'est la description géométrique de l'espace et des formes bâties et les liens entre les deux.

Notons que cette notion de typologie est à différencier de celle de nomenclature. En effet, selon Choay et Merlin (1988), une **typologie** désigne de manière générale « *toute opération de classement des objets ou des espaces selon un type. Le classement typologique écartant les éléments variables, considérés comme non significatifs, le type représente donc une abstraction rendant compte d'une régularité, au double sens de ce qui se répète et de ce qui sert de règle.* ». A l'inverse, une **nomenclature** fait référence à un « *ensemble des mots relatifs à un sujet donné, présentés selon une classification méthodique, à la différence d'un simple inventaire ; méthode employée pour établir cette classification* ».
Ainsi, une typologie classe les objets selon un type, et une nomenclature range les objets décrits en classes ordonnées, hiérarchisées et codées par des noms ou des numéros qui permettent d'en reconstituer l'ordonnance. La typologie des bâtiments (par exemple selon leur dimension, ou leur style) est également très liée au concept de **tissu urbain**.

1.2.2.4 Le tissu urbain

Le **tissu urbain** est « *l'expression physique de la forme urbaine. Il est constitué par l'ensemble des éléments physiques qui contribuent à celle-ci - le site, le réseau viaire, la division parcellaire, le rapport entre les espaces bâtis et non bâtis, la dimension, la forme et le style des bâtiments - et par les rapports qui relient ces éléments* » (Merlin et Choay, 1988).
Bien que cette expression assez vague soit utilisée de diverses façons, un tissu urbain homogène peut être défini comme l'apparence physique d'une portion de ville où les éléments précédents ont des caractéristiques peu différentes. On parlera ainsi du tissu médiéval ou du tissu haussmannien de nombreux quartiers de Paris de la seconde moitié du XIXe siècle, ou de tissu géorgien à Londres.

Un tissu urbain est lié à l'époque de création et de constitution de l'espace urbain : le réseau viaire et le parcellaire sont souvent hérités des structures rurales antérieures et des modifications subies à l'époque de la première construction. Les rapports du bâti au non-bâti évoluent également dans le temps. Mais l'élément le plus variable, très lié aux techniques et matériaux de construction d'une part, à la réglementation d'autre part, est la hauteur des bâtiments. Il peut, dans certains cas, y

avoir juxtaposition de tissus urbains (pavillons, grands ensembles) ou superposition de tissus urbains (petits immeubles collectifs ayant remplacé peu à peu des pavillons dont la majorité subsiste ; tours au milieu de bâtiments plus bas). On parle de **tissu ouvert ou fermé** selon la position relative des bâtiments entre eux et par rapport à l'alignement ; de **tissu dense ou peu dense**, selon le rapport de la surface de plancher à la surface de terrain.

Une définition plus complète, à notre sens, du tissu urbain est donnée par Gérard (1980). Selon cet auteur, un **tissu urbain** est un « *mode d'assemblage, en trois dimensions, des espaces bâtis et des espaces libres de la ville, à l'échelle de la parcelle, de l'îlot, du quartier et leur mise en relation par un réseau hiérarchisé de rues, le tout formant un système* ». Les espaces libres correspondent à des espaces libres de construction et le terme de quartier est utilisé au sens morphologique du terme (ensemble d'îlots homogènes). La rue est considérée dans cette définition comme une voie publique qui donne accès aux habitations et qui permet la circulation des personnes. Il est possible de différencier des **tissus urbains fermés** (constructions accolées, dites en ordre fermé), et des **tissus urbains ouverts** (constructions isolées, dites en ordre ouverts). Chacun de ces tissus est également constitué de plusieurs sous-types de tissus urbains (Figure 1.5).

Les *tissus urbains fermés* peuvent être :

(1) *régulier, ordonné*, avec des rues à tracé droit ou courbe ;

(2) *irrégulier*, répartis en sous-types à partir des dominantes perceptibles : tracé et hiérarchie des voies ; formes et dimensions des îlots ; formes, dimension, mode d'assemblage des parcelles ; emprise, mode d'implantation du bâti, type dominant des volumes bâtis sur l'îlot.

Les *tissus urbains ouverts* peuvent être :

(1) à *maisons urbaines traditionnelles* :
- *régulier et ordonné* : à partir de trois critères (système des voies, formes et dimension des îlots, implantation du bâti sur la parcelle), ou selon deux critères (système de voies, mode de découpage des îlots) mais avec une certaine liberté dans le mode d'implantation du bâti sur la parcelle).
- i*rrégulier* selon les tracés des voies, formes et dimensions des îlots et parcelles, implantation du bâti.

(2) *en « open-planning »*, à base de volumétries architecturales contemporaines : blocs, tours et barres, identifiés et caractérisés sur la base de la lecture du plan-masse :
- *à trame orthogonale* (implantation de barres selon des directions orthogonales alternées, basées sur des orientations précises) ;
- *à trame libre* : les principes de composition du plan-masse réglant le mode d'implantation du bâti étant à identifier pour chaque cas.

La notion de tissu urbain apparaît donc à la fois statique (état des formes urbaines à un moment donné) et dynamique (porteuse de possibilités d'évolution de ces formes urbaines).

Dans la suite de ce travail, nous retiendrons les définitions suivantes : la morphologie est un moyen de lire et de comprendre la façon dont la ville est composée, c'est-à-dire de lire sa forme urbaine. La **morphologie urbaine** s'apparentera par conséquent dans notre vocabulaire à « **l'analyse du milieu urbain** », et la forme urbaine, ou **forme de la ville**, à la « **composition des éléments urbains** ». Voyons à présent **les objets élémentaires (ou éléments)** qui permettent de caractériser la morphologie urbaine.

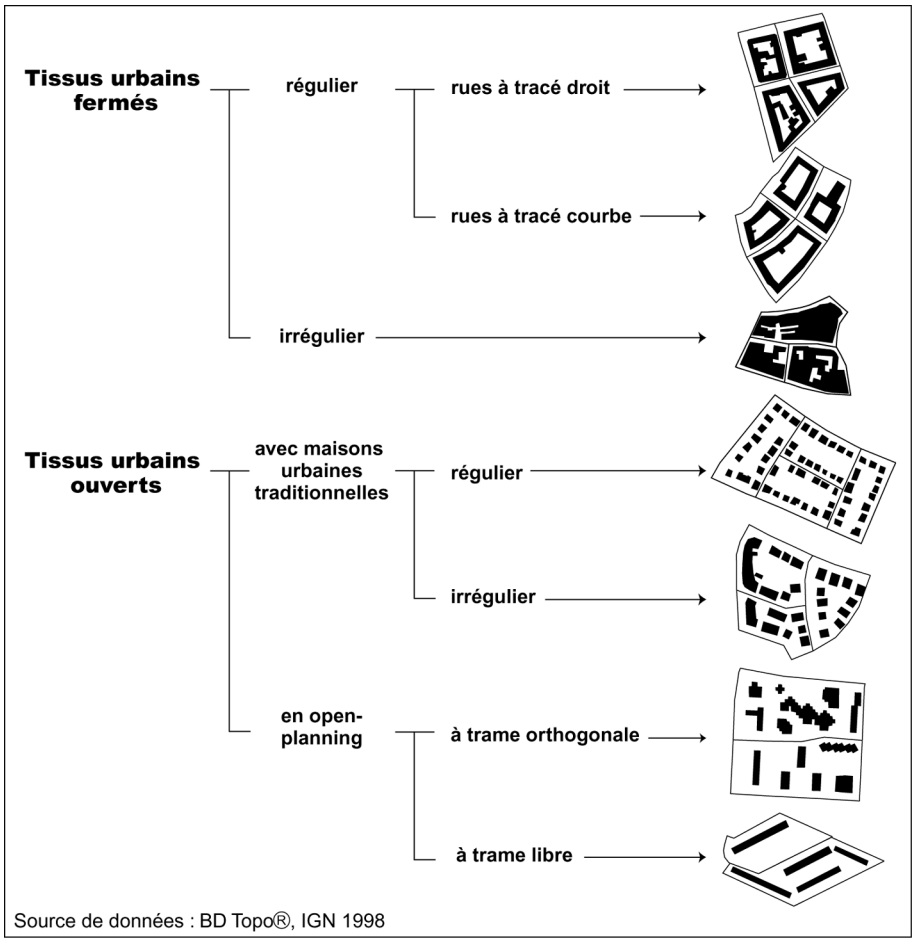


Figure 1.5 - Schéma des différents types de tissus urbains.

1.2.3 Les objets élémentaires révélateurs de l'organisation de la ville

L'organisation spatiale du milieu urbain en général et de la ville en particulier, est précisée par les notions d'éléments urbains et d'objets urbains.

D'après Brunet *et al.* (1993), un **objet géographique** est un objet qui a une dimension dans l'espace, qui met en jeu des lieux, et qui est étudié par les géographes. Ce peut être un réseau, une ville, une région, une montagne, un champ, une distribution spatiale, un itinéraire, etc.
Dans ce cadre, un **objet urbain** peut être défini comme un élément qui constitue et qui appartient à l'objet géographique qu'est la ville. Un quartier, un type d'habitat, un plan d'eau, un parc, une route, une gare... sont des objets urbains. Un objet urbain est décrit selon trois axes, un axe physique, un axe économique, un axe fonctionnel (Figure 1.6).

Dans la suite de ce travail, le terme **objet urbain** sera utilisé pour désigner tout élément constitutif de la ville défini par ces trois dimensions, comme par exemple, un bâtiment, un parc, une route,…
A l'inverse, le terme **élément urbain** désignera un objet qui ne peut pas être défini selon ces trois dimensions, comme par exemple, un parcellaire, une limite administrative, la topographie…

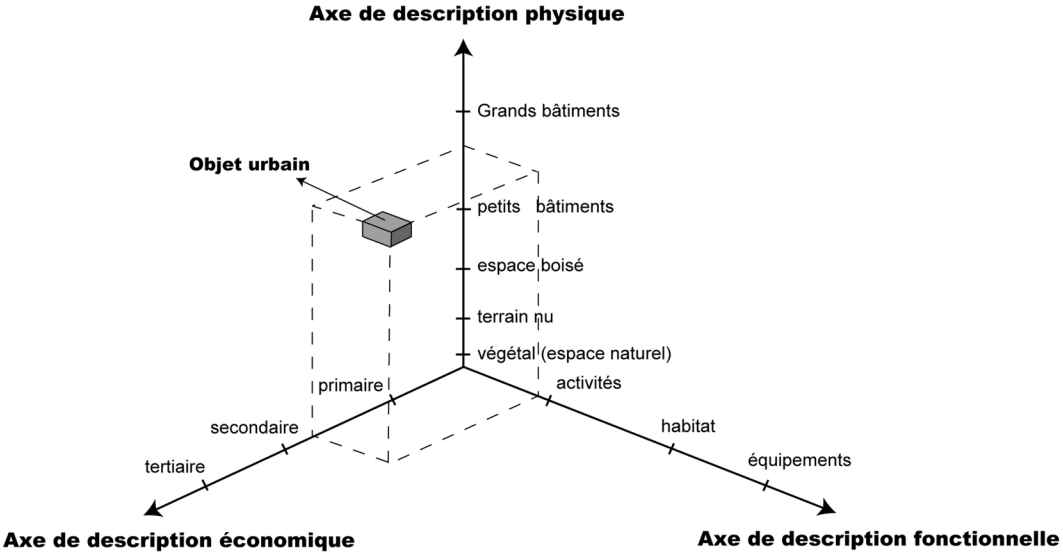


Figure 1.6 - Définition d'un objet urbain (*in* Ballut et Nguyen, 1984).

Selon les auteurs, les objets et les éléments urbains qui permettent d'analyser la ville ne sont pas systématiquement les mêmes. Ainsi, pour Lynch (1976), comme nous l'avons déjà évoqué au § 1.2.1.2, la forme de la ville peut être appréhendée à travers les voies, les limites, les quartiers, les nœuds, les points de repère. Selon un principe analogue proposé par Lacaze (1995), ces éléments s'appuient sur les réseaux de déplacement, la trame des espaces verts, et la localisation des équipements publics. Enfin, pour Pinon (1994), la lecture morphologique passe par l'analyse du site, des trames viaires (réseau formé par les voiries), des trames parcellaires, du bâti, et des espaces libres.

La Figure 1.7a montre que le principal élément qui structure la ville est la voirie. De tous temps, l'homme a tracé des chemins préférentiels de déplacements, qui relient habitations et pôles humains les uns aux autres. Leur tracé est souvent généré par les contraintes naturelles du site (topographie, hydrographie). C'est autour de ce réseau viaire, devenu routes puis autoroutes, chemins de fer, ou canaux que le territoire s'organise.

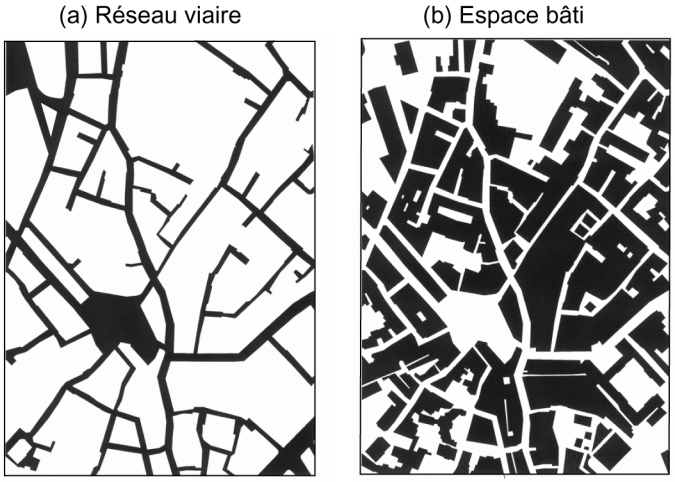


Figure 1.7 - Structure de la ville par le réseau viaire et l'espace bâti
(Extrait de la ville d'Istanbul, *in* Haniotou, 2002).

Un autre élément qui persiste dans le temps (même s'il est relativement plus récent) est le découpage parcellaire. Selon Baud cité par Merlin *et al.* (1988), les **parcelles** et la façon dont elles sont organisées, constituent la base de la forme urbaine. Alfonso et Choay (1988) notent d'ailleurs que les études de morphologie urbaine tirent un grand bénéfice des analyses parcellaires. « *L'ensemble des parcelles constituent la trame foncière, et donc le cadre obligé de toute opération de construction et d'aménagement* ». En outre, la présence du bâti sur une parcelle n'est pas laissée au hasard, puisqu'elle dépend des règles imposées par les normes du cadastre. Le bâti joue également un rôle dans l'organisation de la ville (Figure 1.7b), notamment du point de vue architectural, par la répartition des volumes pleins et vides, et la qualité esthétique de la juxtaposition de bâtiments, même si ce second point a moins d'importance ici. La Figure 1.8 illustre les rapports existants entre le bâti, la parcelle, l'îlot et la rue.

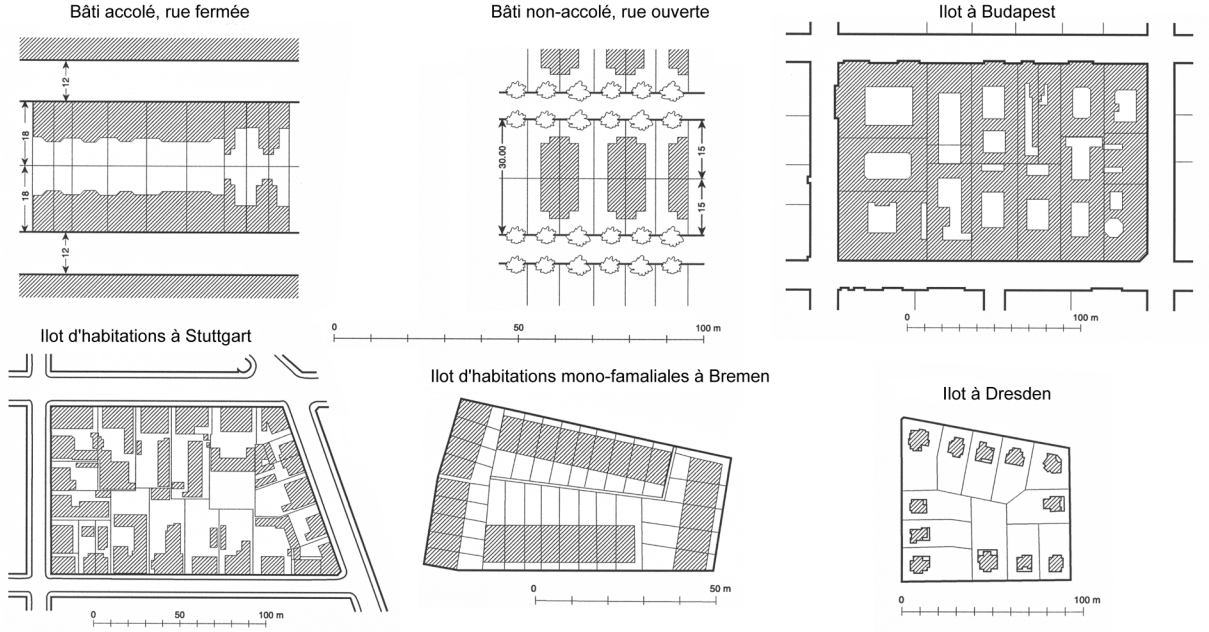


Figure 1.8 - Exemples de rapports entre bâti, parcelle, îlot et rue (*in* Haniotou 2002).

Les **espaces non construits,** et en particulier **les espaces verts,** sont également des révélateurs de la forme urbaine, car ils sont à l'origine de réflexions sur l'agencement du bâti et de la voirie dans la constitution de tissus urbains spécifiques. Les espaces verts « *peuvent prendre des formes différentes et occuper des superficies et des emplacements variables selon les besoins auxquels ils répondent, leur aire d'influence et la diversité du milieu urbain avoisinant* » (Merlin et Choay, 1988). Divers types de classement sont possibles selon leur localisation (urbaine, suburbaine, rurale), leur degré d'aménagement, leur statut de propriété (public, privé, privé ouvert au public), le type d'utilisateurs, la fréquentation (quotidienne, hebdomadaire, occasionnelle, etc.). Il est également possible de distinguer plusieurs échelles d'étude : l'unité d'habitation (jardins privés et jardins d'immeubles : aires de jeux, aire de repos), l'unité du voisinage (squares, places et jardins publics, terrains de sport scolaire), le quartier (promenades), la ville (parcs urbains, jardin botanique, jardin zoologique), la zone périurbaine (bases de plein air et de loisir, forêts-promenades, parcs d'attractions).

La définition classique d'espaces verts considère ainsi uniquement les espaces publics. Par extension de cette définition, dans la suite de ce travail, nous parlerons de **végétation intra-urbaine** pour désigner un objet urbain de type « espaces verts » (public ou privé), en précisant sa morphologie ou sa fonctionnalité (arbre isolé, alignement d'arbre, parc, terrain de sport,…).

En résumé, les objets urbains, retenus dans ce travail comme des révélateurs de la forme urbaine, sont **le réseau viaire** (voirie et chemin de fer), **le bâti, la végétation intra-urbaine, et le réseau hydrographique**. Ils sont complétés par les **espaces libres** qui correspondent à des espaces libres de construction ou des zones de friche**, le parcellaire et la topographie**. Ces objets urbains sont également ceux utilisés par les aménageurs et les urbanistes dans la description de la forme urbaine.

L'analyse et l'étude du milieu urbain et de son organisation nécessitent l'utilisation de données et d'informations multi-sources. Qu'est-ce qui différencie une donnée, d'une information géographique ? Quels sont les différents types de données urbaines existantes ? La section suivante est consacrée à répondre à ces questions.

1.3 DE LA DONNEE A L'INFORMATION URBAINE

Cette section a pour but de préciser les notions de données et d'information géographiques urbaines, souvent confondues dans le langage courant par les utilisateurs et les acteurs du milieu urbain. La définition du termes « données de type image » ou « données images » est également discutée.

1.3.1 Donnée ou information géographique ?

Les notions « d'information » et de « donnée » sont souvent utilisées sans distinction dans le langage courant. Il est donc important de rappeler ce qui différencie, de manière générale, une information d'une donnée. Une **information** est le résultat d'un processus, obtenu à partir de **données** dites « **brutes** », acquises sur un objet, une surface, un phénomène, puis mises en forme, structurées dans une base de donnée (définition : cf. supra), et enfin analysées, exploitées par un utilisateur (Figure 1.9). L'information extraite à partir des données véhicule la connaissance (Encyclopédie Universalis, 1997).

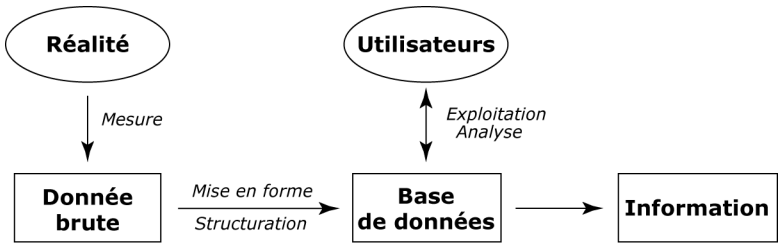


Figure 1.9 – Processus de production de l'information (modifié de Dao, 2001).

L'information est également une représentation de la réalité dans le temps et dans l'espace. Bédard (1989) nous permet de situer l'information par rapport aux notions de signal, donnée et connaissance (Figure 1.10). La création d'information implique plusieurs niveaux d'abstraction. Il n'y a communication et création d'information que lorsque la personne réceptrice interprète les données. Idéalement, cette interprétation correspond à l'intention du modèle cognitif de la personne émettrice. Les caractéristiques individuelles du modélisateur (i.e. son cadre de référence) influencent à la fois le processus de perception et celui de modélisation.

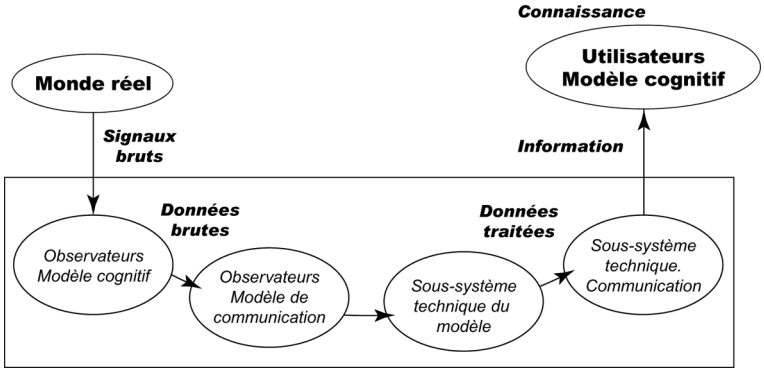


Figure 1.10 - Donnée, information et connaissance (modifié de Bédard, 1989).

Une **donnée** ou une **information** est appelée **« géographique »** si elle fait référence à la description d'objets, d'événements, de phénomènes spatialement référencés par rapport à la surface de la terre. La connaissance de leur position géographique leur donne leur sens et autorise à leur appliquer un raisonnement spatial (Livre Blanc, 1998). La possibilité d'associer une localisation à des informations de nature extrêmement diverse[3] (données économiques, sociales, techniques, via une adresse, un nom de lieu, un zonage administratif, des coordonnées mesurées par satellite) élargit le champ de l'information géographique.

Face à la multiplicité des données géographiques, l'utilisateur du milieu urbain devra effectuer des choix sur le type de données à acquérir. La question de l'acquisition des données est cruciale car elle représente le plus souvent plus de 60 à 80% de l'investissement de départ dans le montage d'une opération en aménagement ou en urbanisme. Dans ce contexte, il nous faut préciser le type de données susceptibles d'être utilisées en milieu urbain et définir les notions de bases de données urbaines et de qualité.

1.3.2 Données urbaines et qualité

L'acquisition des données doit tenir compte des objectifs thématiques, de qualité à atteindre pour les utilisateurs mais aussi des objectifs organisationnels (moyens humains et matériels disponibles), et stratégiques (moyens financiers). C'est un processus réfléchi, où les données ne sont pas acquises indépendamment les unes des autres, mais intégrées dans des **bases de données**.

1.3.2.1 Données géographiques urbaines et Base de Données Géographiques Urbaines (BDGU)

Une donnée géographique est dite urbaine, si elle est collectée, saisie et mise en forme pour des applications en milieu urbain. Lorsqu'elles sont organisées en un ensemble structuré pouvant servir dans différentes applications urbaines, elles définissent une **Base de Données Urbaines (BDU)**. Si les données sont numériques, la base de donnée est constituée d'un ensemble de fichiers interreliés qui contiennent des données décrivant des objets de la réalité. Elle est dite « géographique » (BDUG[4]) lorsque l'ensemble des fichiers descriptifs et géométriques, interreliés, contiennent des données décrivant, positionnant et représentant la forme des objets de la réalité (Figure 1.11).

[3] Par exemple, l'intégration d'un système de positionnement spatial dans les machines agricoles permet d'associer le rendement de la récolte, le volume d'intrant lors de l'épandage et la position géographique donnant naissance à une agriculture de précision.
[4] D'autres termes sont également utilisés tels que BD localisées, BD à référence spatiale, BD spatiales.

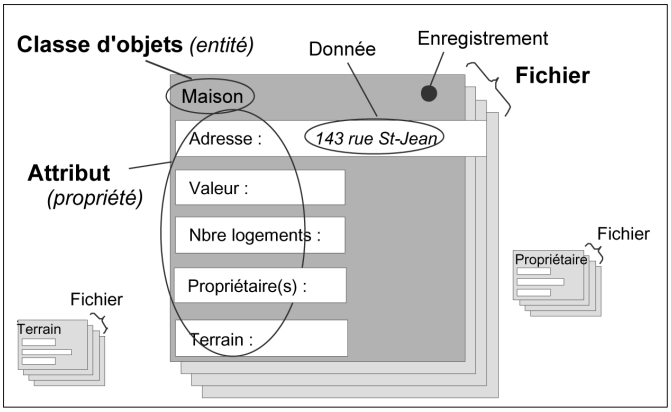


Figure 1.11 - Schématisation d'une Base de Données Géographiques Urbaines (*in* Bédard, 2000).

1.3.2.2 Typologie des données urbaines

Il existe différentes manières de classer les données urbaines. Jusqu'à récemment, les données étaient le plus souvent classées selon leur format de saisie (analogique ou numérique). Actuellement, la typologie des données urbaines est le plus souvent réalisée selon leur **utilité** (ce à quoi elles sont destinées). Dans ce cadre, trois catégories de données sont distinguées (METL, 1996) : les données dites « de base », les données thématiques et les données applicatives.

1.3.2.2.1 Les données dites « de base »

Elles sont définies, comme « *l'ensemble des informations permettant à chaque utilisateur particulier d'associer des données de différentes origines et de positionner dans l'espace ses informations propres. Ces données ne répondent à aucun besoin applicatif particulier mais doivent, au contraire, être communes au maximum d'application de façon à permettre la manipulation et la combinaison des informations de toutes origines qui leur seront rattachées. Elles doivent permettre le passage d'une localisation par un objet (telle route, tel bâtiment) ou par une dénomination ou un intitulé (dans telle rue, à telle adresse, sur telle parcelle) à une localisation en coordonnées géographiques qui permet de mettre en œuvre les méthodes d'analyse spatiale. Elles doivent être assorties de règles de structuration et de gestion facilitant leur intégration et leur mise à jour dans les sites utilisateurs* » (Livre Blanc, 1998 ; Rapport Lengagne, 1999).

Elles recouvrent, le plus souvent les coordonnées (réseau géodésique), les limites administratives, l'adresse postale géoréférencée, la toponymie, le cadastre (les limites du parcellaire et le code d'identification), les données topographiques, la représentation du territoire (photographies aériennes et images satellites).

Le terme « **données de référence** » est également couramment utilisé à la place de données de base. Ainsi, le Syndicat Professionnel de la Géomatique (SPDG) définit les données de référence par leur fonction principale, qui est de localiser d'autres données (canevas géodésique, plan parcellaire, fichier des adresses postales et filaire des voies, îlots INSEE, découpages administratifs). A l'opposé, les **données de base** sont définies par leur usage. Elles sont utilisées dans des applications diverses (BD ALTI®, hydrographie, données INSEE localisées, annuaire du téléphone, orthophotos...). Dans la suite de ce travail, nous ne ferons pas la distinction entre ces deux termes et utiliserons le terme données de base car nous considérons que toute donnée, de base ou de référence, pour être intégrée dans une BDUG, doit être localisée pour être utilisée dans différentes applications.

Les données de base sont organisées dans un « **Référentiel National** » (« **National Framework** ») qui a pour objectif de maximiser le nombre d'utilisateurs. Très souvent, ces données sont accessibles via les nouvelles technologies de la communication (Internet) à partir d'un Système d'Information donnant accès à des « **Catalogues de Données »** (« **Data Clearinghouse** »), accompagnés, de « **métadonnées** », c'est à dire de « données sur les données » (caractéristiques des données et de leur mode de production). Leur contexte de mise en place, en France, en Europe et aux Etats-Unis, sera précisé au chapitre 2.

1.3.2.2.2 Les données thématiques

Elles sont constituées de données particulières à un petit nombre de secteurs ou d'applications, autres que les données de base et communes à un grand nombre d'utilisateurs quel que soit le secteur d'application. Elles concernent, par exemple, des données sur les espaces verts, les voiries, l'occupation du sol,…

1.3.2.2.3 Les données applicatives

Elles sont composées de données spécialisées, spécifiques à une certaine catégorie d'utilisateurs pour des applications particulières. Ces données sont difficilement réexploitables dans d'autres contextes. Par exemple, certaines données sont spécifiques pour la gestion de l'éclairage public (localisation des lampadaires), ou des réseaux d'assainissement (localisation des réseaux et largeurs des tuyaux).

1.3.2.3 Structuration des données urbaines

Dans les BDGU, deux formats numériques de structuration des données spatiales existent : la représentation vectorielle et la représentation raster ou maillée (Figure 1.12).

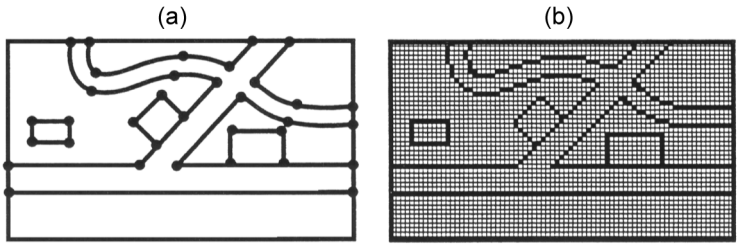


Figure 1.12 - Représentation d'un objet en mode vecteur (a) et en mode raster (b).

Le **mode vecteur** répond au souci de représenter un objet de manière aussi exacte que possible. L'espace des coordonnées est continu et non discrétisé, la localisation des objets, leurs dimensions, les distances sont calculées avec précision. Les objets géographiques sont représentés par des polygones, des lignes ou des points. Ces objets sont associés à des éléments réels du milieu : par exemple un point représente la localisation d'une église dans une ville, une ligne représente une route et un polygone un découpage administratif tel que le contour d'une ville. Ainsi, en mode vecteur, les objets urbains représentés sont constitués de données (géo)graphiques et de données sémantiques (ou attributaires), porteuses de l'information relative aux premières (Figure 1.13).

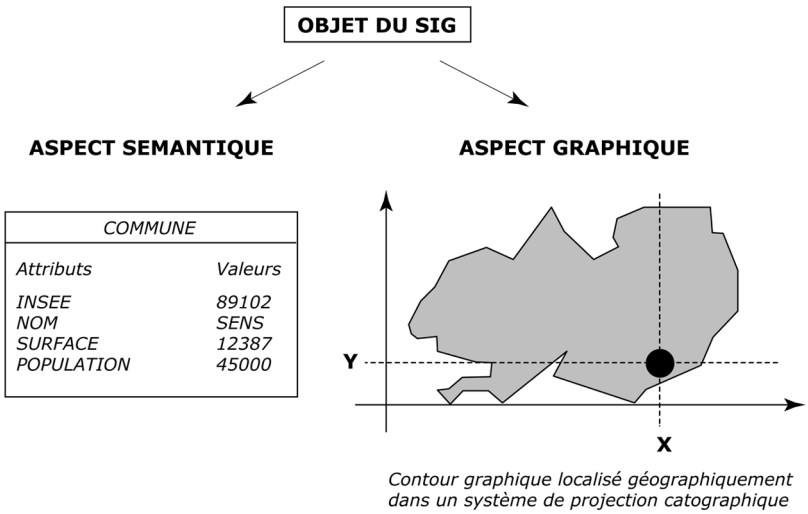


Figure 1.13 - Représentation d'un objet géographique en mode vecteur (*in* Gilliot, 2000).

Le **format raster** utilise une description matricielle de l'espace géographique. La matrice est une image où chaque élément de l'image dit pixel (*picture element*) contient une valeur numérique qui représente une thématique (Figure 1.14). Ces images sont généralement issues de scanners, de photographies aériennes ou d'images satellites. En mode raster, les objets ne sont pas interprétables en termes de longueur ou de surface, mais seulement en terme de pixels qui possèdent une ou des valeurs différentes. *« Le modèle raster également appelé modèle matriciel est composé de petites cellules juxtaposées, de formes généralement carrées. Ces cellules ont une surface dont la taille est égale à la résolution du système…. Leur position est définie par leur numéro de ligne et par leur numéro de colonne dans une et une seule image »* (Rouet, 1991).

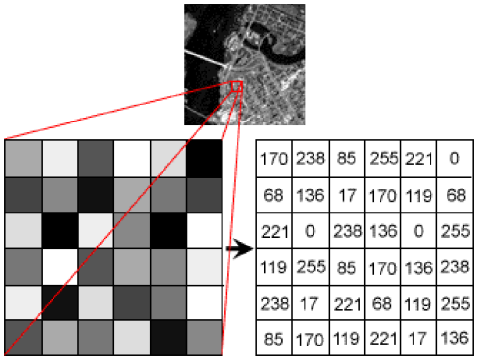


Figure 1.14 - Représentation du monde réel en mode raster selon un codage en 256 niveaux de gris (*in* CCTS, 2000).

1.3.2.4 Qualité des données urbaines

Dans une BDGU, la qualité des donnée est une exigence primordiale pour les utilisateurs. Il faut distinguer la qualité des données intrinsèques et la qualité de la base de données car les critères, indicateurs à prendre en compte ne sont pas identiques.

1.3.2.4.1 Qualité intrinsèque des données urbaines

Sept paramètres permettent d'évaluer les qualités d'un ensemble de données.
Les notions d'**échelle (1)** et de **précision (2)** sont deux paramètres de qualité généralement associés par référence aux anciens documents purement graphiques pour lesquels le choix de l'échelle de restitution dictait la précision à rechercher et le choix de la méthode de levée, et inversement, sur lesquels la précision des mesures graphiques était essentiellement dépendante de l'échelle du document et de son état de conservation. Avec les outils informatiques, la situation est différente. C'est toujours la précision recherchée qui guide le choix de la méthode de levé de terrain (topographie, photogrammétrie). En revanche, il est possible grâce au support numérique, d'éditer des plans ou des cartes à des échelles variables. Ceci peut conduire les utilisateurs à des erreurs, comme par exemple, réaliser une carte à une échelle supérieure à celle du levé.
Par définition, l'**échelle** est le rapport qui existe entre la distance séparant deux points d'une carte et la distance séparant les deux points correspondant sur la sphère terrestre. La **précision** est définie comme l'étroitesse de l'accord entre une mesure ou une estimation et l'espérance de cette mesure ou de cette estimation. Elle est chiffrée par un écart-type. Le terme **précision** est aussi souvent confondu avec le terme **exactitude (3)**, que la langue anglaise distingue clairement (*accuracy and precision*). En effet, précision et exactitude ne sont identiques qu'en l'absence de biais (IGN, n°67). La figure 1.15, qui décrit les résultats d'une série de tirs sur une cible, illustre cette différence. Selon, David et Fasquel (1997) « *l'exactitude mesure les fluctuations des valeurs d'une série de mesures autour de la valeur nominale (ou valeur « vraie »). La précision mesure les fluctuations de cette série de mesures autour de son espérance. Le biais mesure l'écart entre l'espérance de la série de mesures et la valeur nominale* ».

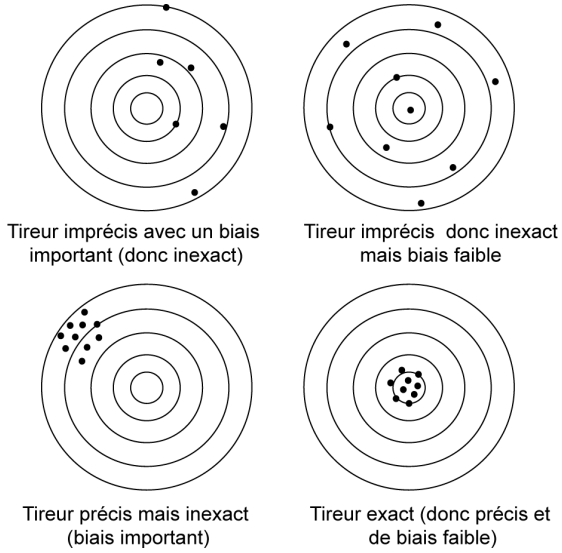


Figure 1.15 - Précision, exactitude et biais (d'après David et Fasquel, 1997).

La **fiabilité (4)** est le quatrième paramètre décrivant la qualité des données. Les données sont dites fiables si les sources et les étapes de constitution sont bien connues pour l'utilisateur. Une question importante pour évaluer la qualité des données est leur dernière date de **mise à jour (5)**. C'est une question centrale où il est important de distinguer la date de fourniture d'un document (disponibilité des informations) et la date de validité de ses informations. D'autres questions se posent : les données sont-elles disponibles sur l'ensemble de la zone d'étude ? Sont-elles homogène sur cette zone (en précision, fiabilité, mise à jour) ? Ces critères de **couverture (6)** et de **mode de création (7)** sont également des paramètres de qualité essentielle.

1.3.2.4.2 Qualité des BDGU

Les BDGU sont des produits coûteux car complexes à produire et à utiliser. Il est important, aussi bien pour les producteurs que pour les utilisateurs, d'évaluer l'aptitude de ces bases de données à satisfaire les besoins des utilisateurs. Cette aptitude correspond à la qualité du produit, définie dans la norme ISO 8402 comme « *l'ensemble des propriétés et caractéristiques d'un produit ou service qui lui confère l'aptitude à satisfaire les besoins exprimés ou implicites* ».

Les termes exprimant la qualité d'une BD vectorielle sont qualitatifs et quantitatifs :

(1) la **généalogie** correspond à la description de l'histoire des données. Elle fournit une description des sources et des méthodes d'acquisition, des opérations appliquées sur les données et des organismes responsables. L'information de généalogie, essentiellement qualitative, fournit une indication sur la qualité globale d'un jeu de données ;

(2) la **cohérence logique** correspond au degré de cohérence interne des données selon des règles de modélisation et les règles inhérentes à la spécification du jeu de données. Les règles pour la cohérence logique peuvent être de deux types :
- des règles de formatage, dont le respect rend possible la lecture des données,
- des contraintes d'intégrité définies dans le modèle conceptuel des données[5] ou issues de la spécification de produit ;

(3) La **précision géométrique**[6] estime la fluctuation des écarts entre les positions nominales (positions dans le terrain nominal) et les positions contenues dans le jeu de données. Elle se décompose en deux types de précision : la précision composée des précisions de position ponctuelle et linéaire et la précision de forme ;

(4) l'**exhaustivité** représente la conformité de la présence ou de l'absence des éléments du jeu de données par rapport au terrain nominal. Elle décrit des objets, des attributs ou des relations ;

(5) la **précision sémantique** représente la conformité des valeurs des éléments du jeu de données avec les valeurs de leurs homologues dans le terrain nominal. Elle porte sur la classification des objets, la codification des attributs et les relations entre les objets. Elle est très liée à l'exhaustivité ;

(6) l'**actualité** correspond au décalage existant entre un jeu de données et le terrain nominal à une date *t*. Elle décrit la « fraîcheur » des données. Elle se chiffre par la précision sémantique et l'exhaustivité du jeu de données à la date t.

Pour l'utilisateur, une base de données doit également répondre aux conditions suivantes : être indépendante des applications, réduire la redondance des données, assurer l'intégrité des données, faciliter la mise à jour et conserver les définitions sémantiques avec les données.

Les paramètres de qualité associés aux données s'appliquent à la fois aux données de type vecteur et aux données raster. Pour désigner les données raster, le langage courant utilise le terme

[5] Le Modèle Conceptuel des Données (MCD) est le premier des trois modèles résultant de la phase de modélisation des données. Il définit et identifie les composantes conceptuelles, entités et relations, qui seront traitées dans le système, indépendamment des aspects logiciels et matériels. Il décrit les entités et leurs relations, caractérise les attributs qui leur sont rattachés, indique comment celles-ci sont représentées dans la base de données, et détermine finalement les liens structurels qui doivent être établis entre les divers éléments intégrés dans le système (Caron, 1991 ; Thériault, 1994 ; Prélaz-Droux, 1995).

[6] Pour une base de données numériques, la précision des données et la connaissance du grain (les surfaces minimales prises en compte) permettent de déduire une gamme d'échelle utilisable. Ces deux notions ont pris le pas sur l'échelle pour qualifier une base de données (Troispoux et Coudercy, 2001).

d'images. Mais quelles sont ces images ? Qu'est-ce qui les différencient des photographies aériennes? Quels sont les moyens d'acquisition des images ? C'est ce que nous allons préciser dans le paragraphe suivant.

1.3.3 L'acquisition des données images : la télédétection

Deux grandes catégories d'images existent : les **photographies aériennes** et les **images satellites**.

1.3.3.1 Image aérienne ou photo-satellite ?

Une **image** est une représentation graphique d'une énergie électromagnétique, quel que soit la longueur d'onde ou le dispositif d'acquisition utilisés pour la capter et l'enregistrer.
Une **photographie** désigne toute image captée et enregistrée sur une pellicule photographique. Ainsi, le processus photographique utilise une réaction chimique sur une surface sensible à la lumière pour capter et enregistrer les variations d'énergie.

Les photographies enregistrent habituellement les longueurs d'onde entre 0,3 et 0,9 µm (domaines visible et infrarouge réfléchi du spectre électromagnétique). Elles sont le plus souvent analogiques, et depuis quelques années, présentées au format numérique. L'énergie électromagnétique est alors perçue de façon électronique. Par contre, les images satellites enregistrent électroniquement l'énergie en format numérique ; chaque pixel est doté d'une valeur représentant les différents niveaux de luminosité. Ceux-ci sont enregistrés dans des longueurs d'ondes variées qui couvrent l'ensemble du spectre électromagnétique.

Ainsi, toute photographie est une image, mais toute image n'est pas une photographie. Si les procédés d'acquisition ne sont pas identiques, ils font référence à une même discipline ou technique : la télédétection.

1.3.3.2 Télédétection aérienne et spatiale

Ethymologiquement, le terme « télédétection » devrait recouvrir tous les phénomènes « détectés à distance » qu'ils fassent appel à la gravimétrie, l'acoustique,... En fait, au sens usuel du terme, la télédétection ne s'adresse qu'aux phénomènes qui mettent en jeu des ondes électromagnétiques. Ces ondes sont habituellement détectées et enregistrées à partir d'un avion ou d'un satellite.

Selon Bonn (1996), la **télédétection** est « *la discipline scientifique qui regroupe l'ensemble des connaissances et des techniques utilisées pour l'observation, l'analyse, l'interprétation et la gestion de l'environnement à partir de mesures et d'images obtenues à l'aide de plates-formes aéroportée, spatiale, terrestre ou maritime. Comme son nom l'indique, elle suppose l'acquisition d'information à distance, sans contact direct avec l'objet détecté* ». Une définition, plus complète à nos yeux, sera utilisée, dans le cadre de ce travail. Elle précise que la télédétection est « *la technique qui, par l'acquisition d'images, permet d'obtenir de l'information sur la surface de la Terre sans contact direct avec celle-ci. La télédétection englobe tout le processus qui consiste à capter et à enregistrer l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi, à traiter et à analyser l'information, pour ensuite mettre en application cette information* » (CCTS, 2001).

Le **« système télédétection** » comprend plusieurs éléments. Son processus se divise en **sept étapes**

(Figure 1.16). À l'origine de tout processus de télédétection se trouve nécessairement une **source d'énergie** pour illuminer la cible **(1)**. Durant son parcours entre la source d'énergie et la cible, le rayonnement interagit avec l'**atmosphère (2)**. Une seconde interaction se produit lors du trajet entre la cible et le capteur (2). Une fois parvenue à la cible, l'énergie interagit avec la **surface** de celle-ci **(3).** La nature de cette interaction dépend des caractéristiques du rayonnement et des propriétés de la surface. Ensuite, l'énergie est **captée** à distance pour être enfin **enregistrée (4)**. Elle est alors **transmise**, souvent par des moyens électroniques, à une station de réception où l'information est transformée en **images numériques (5)**. Une **interprétation** de l'image est ensuite nécessaire pour extraire l'information désirée par l'utilisateur **(6)**. Enfin, la dernière étape du processus consiste à utiliser l'information extraite de l'image en complément d'autres sources d'informations afin d'analyser un phénomène **(7)**.

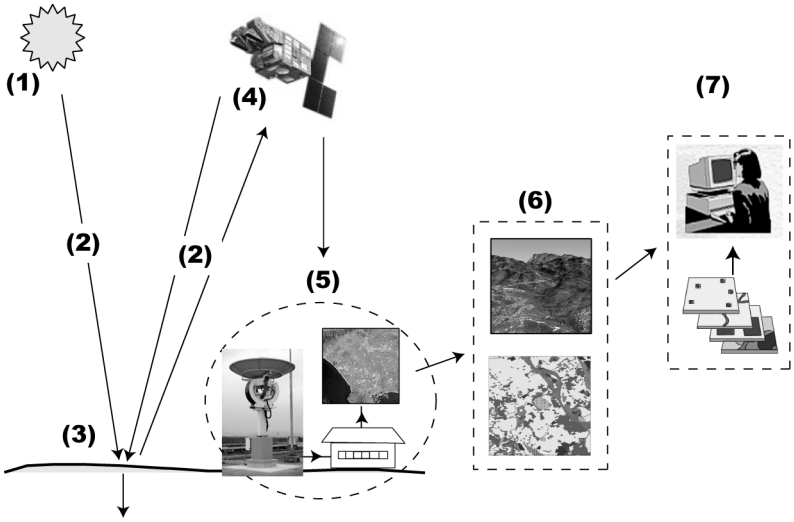


Figure 1.16 - Le système télédétection (modifié de CCTS, 2001).

On distingue la **télédétection « aérienne »**, pour laquelle le vecteur d'enregistrement est un avion, et la **télédétection « spatiale »** où le vecteur d'enregistrement des données est un satellite. La nature des données spécifiques, enregistrées par ces plates-formes, est détaillée dans le paragraphe suivant.

1.3.3.3 La nature de l'information apportée par la télédétection

La donnée captée par le système de détection est une **réponse spectrale** (aussi appelée signature spectrale[7]) d'une surface à deux dimensions. Les images fournies par les satellites sont constituées d'une matrice de pixels définis comme étant « *la plus petite surface homogène constitutive d'une image* » (Wilmet, 1996). Le pixel est radiométriquement homogène à une échelle donnée, et peut ne pas l'être à une autre échelle. Or, les informations que l'utilisateur veut obtenir sont l'identité et les caractéristiques d'un objet de la surface terrestre à trois dimensions. Ainsi, un objet géographique est doté d'une surface caractérisée par un ensemble de valeurs radiométriques et est délimité par d'autres éléments caractérisés par d'autres valeurs radiométriques (Robin, 1995).

[7] La signature spectrale est le signal capté, réfléchi ou émis par une surface géographique, caractérisée par ses valeurs dans les différents canaux (Robin, 1995).

La forme et l'organisation des valeurs radiométriques des éléments du monde réel révèlent son identité, au même titre que sa signature spectrale (Figure 1.17). Par ailleurs, on a vu qu'un **objet urbain** peut être décrit selon un axe physique, un axe économique et un axe fonctionnel (cf. § 1.2.3). La télédétection fournit uniquement une information sur l'**axe physique** qui décrit un objet urbain ; dans certains cas, certaines corrélations peuvent être trouvées avec les axes fonctionnels et économiques.

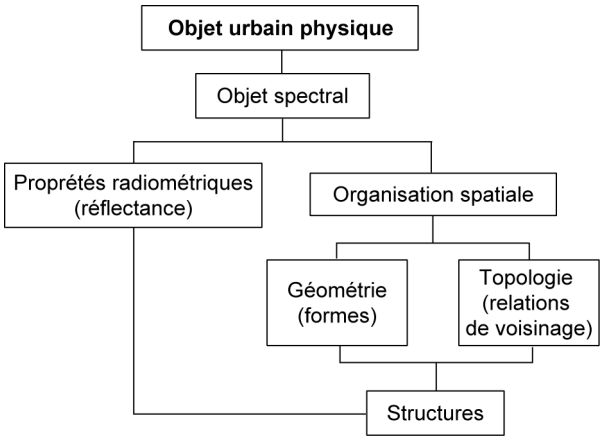


Figure 1.17 - Identification d'un objet urbain à partir des données de télédétection (modifié de Ballut et Nguyen, 1984).

Ainsi, la télédétection doit être considérée, en Aménagement et en Urbanisme, comme une source d'informations à part entière mais elle ne peut prétendre, à elle seule, constituer la solution à tous les problèmes de collecte d'informations. Elle reste très souvent utilisée comme un moyen additionnel, parallèle aux méthodes traditionnelles[8], facilitant et/ou améliorant la collecte des données nécessaires. L'ensemble des données collectées sur le milieu urbain et structurées dans des BDGU, sont intégrées dans des systèmes informatiques pour être traitées et produire l'information urbaine. La section suivante présente les Systèmes d'Information Géographiques Urbain (SIGU) comme outil d'intégration et de traitements de ces données multisources.

1.3.4 Le SIGU, un outil d'intégration et de traitements de données urbaines multisources

Avant de préciser les fonctions qu'un SIGU doit être capable d'accomplir pour produire l'information urbaine, le terme de SIGU est défini.

1.3.4.1 Définitions du SIGU

Plusieurs termes sont utilisés pour désigner les SIGU. Selon la typologie proposée par Bédard (1987), le terme de **Système d'Information à Référence Spatiale** (SIRS) correspond à « *un ensemble organisé globalement comprenant des éléments (données, équipements, procédures, ressources humaines) qui se coordonnent, à partir d'une référence spatiale commune, pour concourir à un résultat* ». Les SIRS font ainsi partie de la grande famille des Systèmes d'Information (SI). Deux catégories de SIRS peuvent être différenciés : les **Systèmes d'Information du Territoire** (SIT) et les **Systèmes d'Information Géographique** (Urbain).

[8] Les sources traditionnelles d'informations, utilisées en Aménagement du territoire et en Urbanisme en milieu urbain, sont les recensements, les enquêtes, les documents administratifs (les permis de construire, par exemple).

Cette distinction entre SIT et SIG est nécessaire car elle permet d'identifier les caractéristiques spécifiques des deux types de SIRS qui forment les extrémités d'un continuum (Figure 1.18). Sur cette base, sont définis :

(1) les **SIT** qui sont des « *instruments de décision dans les domaines juridique, administratif et économique. Ils sont généralement axés sur une gestion vectorielle des données cadastrales* » (Bédard, 1987) ;

(2) les **SIG** qui correspondent à un « *ensemble de principes, de méthodes, d'instruments et de données à référence spatiale, utilisés pour saisir, stocker, transformer, analyser, modéliser , simuler, cartographier les phénomènes et les processus distribués dans l'espace géographique* » (Thériault, 1992). Dès lors un SIGU est un SIG dédié à l'analyse du milieu urbain.

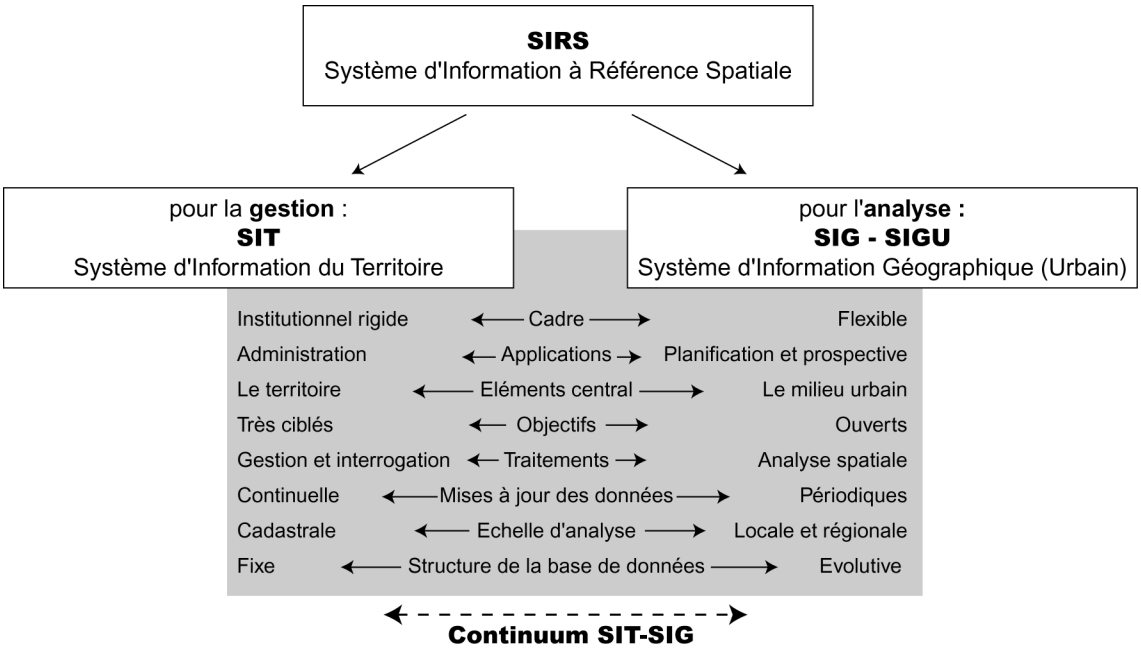


Figure 1.18 - SIRS, SIT et SIG et leurs caractéristiques (modifié de Collet & Hussy, 1995 ; Bédard, 1987 ; Thériault, 1992).

Notons qu'en **France**, dans les domaines de l'Aménagement du territoire et de l'Urbanisme, le terme de SIGU est préféré, à celui de SIRS très peu utilisé, pour désigner **le logiciel**. Toutefois, dans le domaine de la recherche, des SIGU de gestion sont également différenciés des SIGU d'analyse. Joliveau (1995) et Weber (1995) précisent ainsi que dans un **SIGU de gestion** (par exemple pour l'entretien des réseaux, du patrimoine, des services, des règlements d'urbanisme), les données utiles sont des données à grande échelle (1/200^{e} au 1/1000^{e}), alors que dans un **SIGU d'analyse** (planification, programmation, opérations d'aménagements), des données à plus petites échelles sont utilisées (1/25 000^{e} au 1/50 000^{e}).

Dans ce travail, nous utiliserons le terme SIG(U) pour évoquer les outils logiciels mis en œuvre par les organismes (sociétés) en charge du milieu urbain.

1.3.4.2 Fonctions du SIGU

La partie informatisée du SIGU comporte deux ensembles complémentaires, **les données,** qui constituent le cœur du SIGU, et **les fonctions** qui permettent de traiter les données. Il n'existe pas d'inventaire complet des fonctions qu'un SIGU doit être capable d'accomplir. Toutefois, les fonctions sur lesquelles reposent le SIG suivent la règle des 5A (Figure 1.19) définie par Salgé et Denègre (1996).

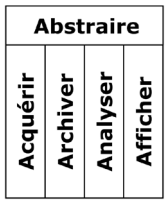


Figure 1.19 - Les fonctionnalités d'un SIG selon la règle des 5A (*in* Denègre & Salgé, 1996).

La Figure 1.20 résume le fonctionnement du SIGU et montre les relations étroites qui existent entre les données au cœur du SIG et les différentes fonctions qui permettent de les traiter. Elle illustre également le fait qu'un même ensemble de données peut être utilisé dans des traitements de nature distincte. Les utilisateurs n'ont pratiquement jamais recours à l'ensemble des fonctions possibles. Ils utilisent celles qui sont les plus appropriées en fonction du produit souhaité en sortie (une carte, un tableau, etc.)

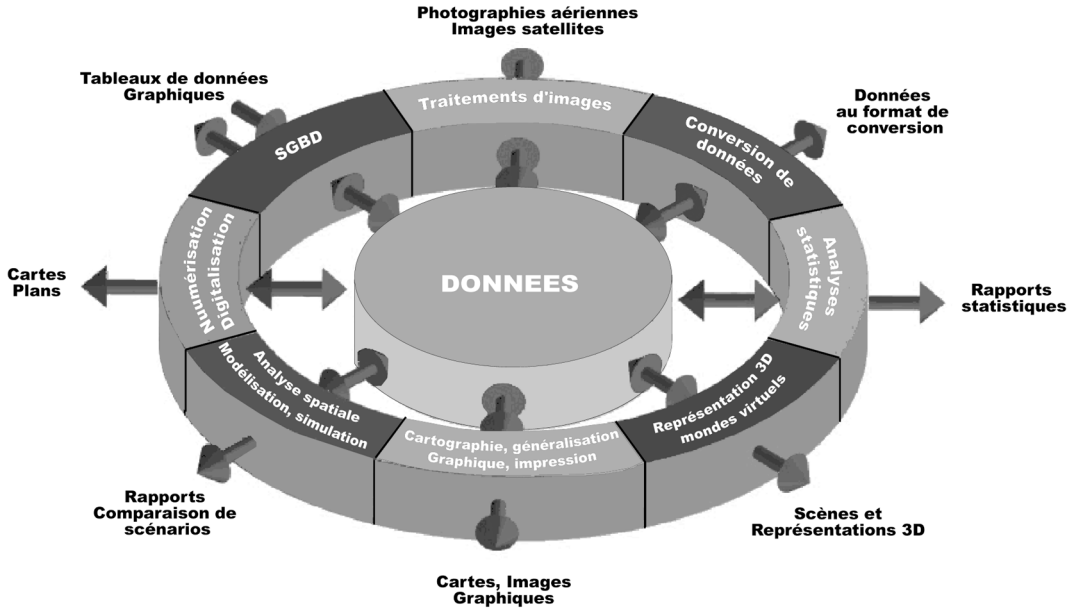


Figure 1.20 - Les composantes d'un SIG (modifié de Eastmann, 2001).

En résumé, par leur intégration dans un SIGU, les données urbaines (structurées en base de données) peuvent faire l'objet de traitements (analyse spatiale, analyse statistiques, etc) et de représentations cartographiques.

Qui sont les utilisateurs de ces données ? Correspondent-ils aux acteurs de l'aménagement et de l'urbanisme ? C'est ce que nous allons présenter dans la section suivante (§ 1.4), avant de donner un exemple concret d'utilisation de l'IG dans une opération d'aménagement ou d'urbanisme (§ 1.5).

1.4 NOTIONS D'ACTEURS ET UTILISATEURS

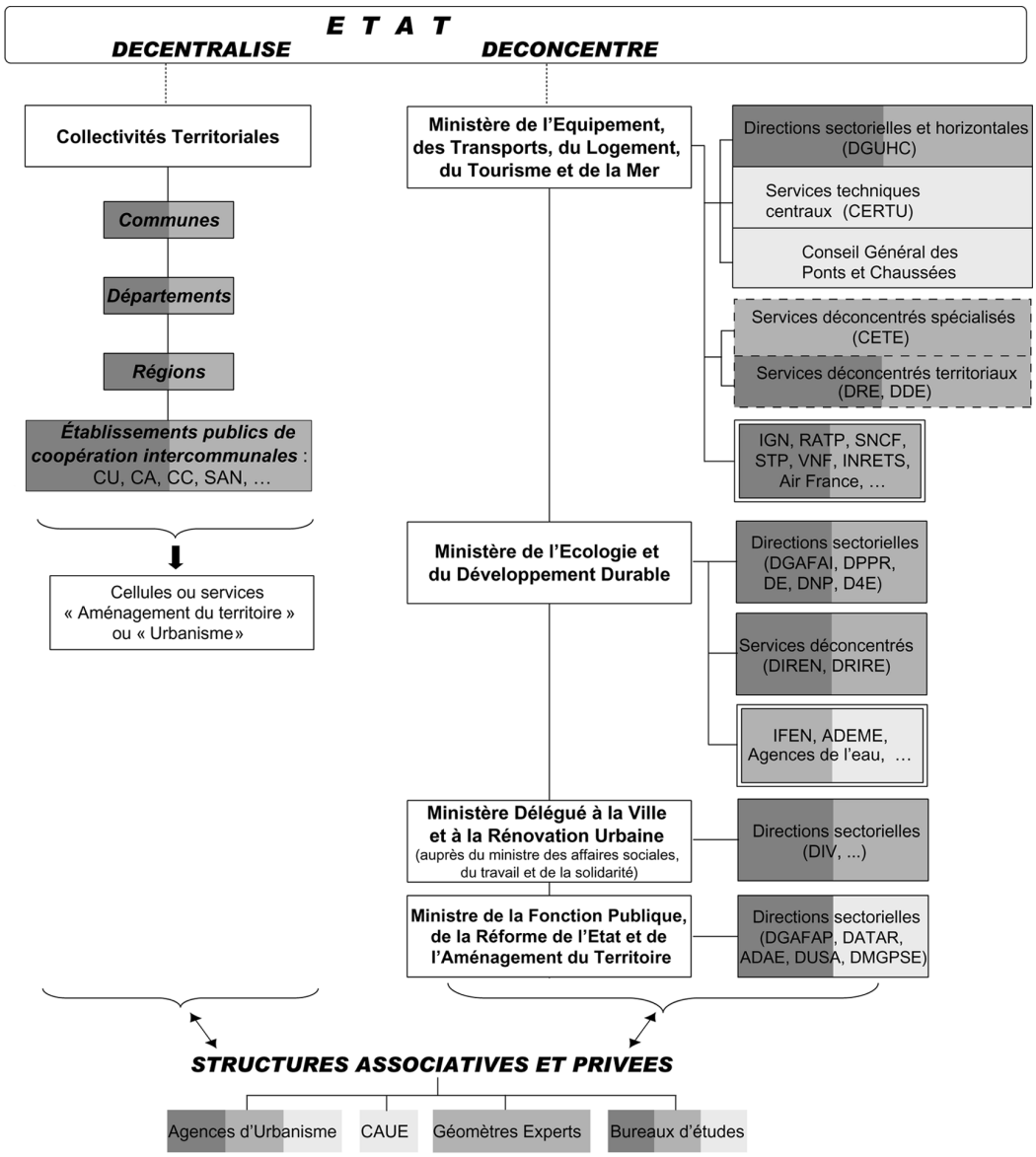
La frontière entre les notions d'acteurs et d'utilisateurs n'est pas très marquée dans le langage courant. Pourtant en géographie, un **acteur** est défini comme « *celui qui agit sur l'espace* ». (Brunet *et al.*, 1993). Les principaux acteurs de l'espace géographique sont l'individu (la famille, ménage), le groupe plus ou moins informel (clan, association, lobby), l'entreprise, la collectivité locale, l'Etat. Les deux derniers ont, par définition et par fonction, un pouvoir sur le territoire, dont ils gèrent une certaine portion et ses éventuelles subdivisons. Ils agissent sur l'espace selon leurs moyens et leur stratégie, qui dépendent en partie au moins de leurs représentations cognitives, y compris leur représentation de l'espace. Un **utilisateur** est défini comme « *celui qui manipule, à un instant t, des données géographiques* ». L'utilisateur peut être une personne, un groupe de personnes ou un organisme. Pour Ecobichon (1994), en Aménagement et en Urbanisme, le terme « acteur » a un sens plus large et englobe à la fois l'**utilisateur** ou **« demandeur »** d'IG et le **producteur** ou **« offreur »** d'IG. La frontière est fluctuante car « *nombre d'intervenants utilisent une donnée de base pour élaborer des produits résultants … qui sont une nouvelle information géographique* ».

Qui sont ces acteurs ? et ces utilisateurs ? Dans cette section, nous présentons les acteurs institutionnels français qui ont une action sur le milieu urbain, en relation avec les domaines de l'Aménagement du territoire et de l'Urbanisme. Comme il n'existe pas de liste exhaustive (les acteurs et encore plus les utilisateurs sont nombreux) une typologie des acteurs français et des utilisateurs est respectivement proposée aux paragraphes 1.4.1 et 1.4.2.

1.4.1 Les acteurs de l'Aménagement du territoire et de l'Urbanisme en France, et leurs compétences

Plusieurs catégories d'acteurs peuvent être identifiées selon leur **niveau d'intervention territorial** : les Collectivités Territoriales (Communes, Départements et Régions), les Etablissements Publics de Coopérations Intercommunales (Communautés Urbaines, Communautés d'Agglomérations, Communauté de Communes, Syndicat d'Agglomérations Nouvelles), l'Administration Centrale (DAFU, DIV, DGAC), les Services Techniques Centraux de l'Etat (CERTU), les Services Déconcentrés de l'Etat (DDE, DIREN, DRIRE, CETE), et des structures associatives (Conseils d'Architecture, d'Urbanisme et de l'Environnement, Agences d'Urbanisme, Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie). Des structures indépendantes (gestionnaires de réseaux, cabinets de géomètres-experts, bureaux d'études, …) interviennent également. Leurs compétences et champs d'action, fortement imbriqués, sont détaillés ci-dessous.

La figure 1.21 schématise la « structure » dans laquelle s'insèrent ces différents organismes. Pour chaque acteur, est précisé la ou les compétence(s) principale(s). Elles concernent la « planification/prospective », la « gestion », et les « conseils/aide ». Les paragraphes suivants présentent donc les différents acteurs en référence à cette figure.



ADAE	Agence pour le Développement et l'Administration Economique
ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
CAUE	Conseils d'Architecture, d'Urbanisme et de l'Environnement
CC	Communauté de Communes
CERTU	Centre d'Études sur les Réseaux, les Transports et l'Urbanisme
CETE	Centre d'Études Techniques de l'Équipement
CU	Communauté Urbaine
DGAFP	Direction Générale de l'Administration et de la Fonction Publique
DATAR	Délégation à l'Aménagement du Territoire et à l'Action Régionale
DDE	Direction Départementale de l'Équipement
DE	Direction de l'Eau
D4E	Direction des Études Économiques et de l'Évaluation Environnementale
DGAC	Direction Générale de l'Aviation Civile
DGUHC	Direction Générale de l'Urbanisme, de l'Habitat et de la Construction
DIREN	Direction Régionale de l'Environnement
DIV	Délégation Interministérielle à la Ville
DMGPSE	Délégation à la Modernisation de la Gestion Publique et aux Structures de l'Etat
DNP	Direction de la Nature et des Paysages
DPPR	Direction de la Prévention des Pollutions et des Risques
DRE	Direction Régionale de l'Équipement
DRIRE	Direction Régionales de l'Industrie et de l'Environnement
DUSA	Délégations aux Usagers et à la Simplification Administrative
IFEN	Institut Français de l'Environnement
IGN	Institut Géographique National
INRETS	Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité
ONC	Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage
ONF	Office National des Forêts
RATP	Régie Autonome des Transports Parisiens
SAN	Syndicat d'Agglomération Nouvelle
SIVOM	Syndicat de Communes à Vocation Multiple
SNCF	Société Nationale de Chemins de Fer Français
STP	Syndicat des Transports Parisiens
VNF	Voies Navigables de France

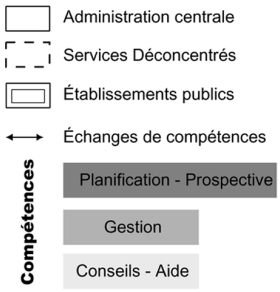


Figure 1.21 - Récapitulatif des organismes et de leurs compétences (Puissant, 2000).

1.4.1.1 L'Etat décentralisé

1.4.1.1.1 Les collectivités territoriales

Depuis la décentralisation de l'action de l'Etat (loi de 1982 et 1983), la **Commune**[9]**,** structure de base de l'organisation administrative française, est devenue l'acteur principal dans les domaines de l'Aménagement du territoire et de l'Urbanisme. On compte environ 37 000 communes (2002), chiffre très supérieur à celui des autres pays de l'Union Européenne, qui s'explique par le fait que le terme de « commune » s'applique, en France, à toutes les municipalités, quelle que soit leur population (80% d'entre elles ont moins de 1 000 habitants). Cette situation a conduit les pouvoirs publics à inciter au regroupement communal, sous forme d'intercommunalités (cf. ci-dessous).
Les collectivités locales, communes ou regroupements, sont les maîtres d'ouvrage. C'est sous leur direction et leur responsabilité que sont conduites les opérations d'aménagement (à l'exception des initiatives privées et de l'Etat). Leurs compétences concernent : l'élaboration de Schémas de Cohérences Territoriaux (SCOT, anciens Schémas Directeurs) et de Plan Local d'Urbanisme (PLU, anciens POS), la délivrance des permis de construire, et des autres autorisations d'occupation des sols (lotissement, permis de démolir, certificat d'urbanisme, …), le droit de préemption urbain, les Zones d'Aménagement Concerté, les Plans d'Aménagement de Zones, la construction, l'équipement et l'entretien des réseaux routiers, d'assainissement, etc.

Le **département**[10] est devenu une collectivité territoriale à part entière depuis 1982. Son rôle est prééminent sur le plan de l'organisation administrative et géographique du territoire, notamment par son autorité sur les services extérieurs de l'Etat localisés dans le département et le contrôle administratif des collectivités territoriales du département.
Les compétences propres au Département concernent la gestion du patrimoine départemental qui s'effectue par l'acquisition, la construction et l'entretien de bâtiments officiels et par l'aménagement et l'entretien du réseau routier départemental. Depuis les lois de décentralisation, le Département a en charge l'action sociale en faveur des populations, la construction et l'entretien des collèges, la responsabilité d'organiser le ramassage scolaire. Enfin les Départements ont une compétence spéciale pour la protection et l'aménagement des espaces naturels ouverts au public.

Créée pour servir de cadre à l'Aménagement du territoire, la **Région**[11] est devenue collectivité territoriale en 1982. Ses compétences propres concernent la planification et l'Aménagement du territoire, le développement économique, la formation professionnelle ainsi que la construction, l'équipement et les dépenses de fonctionnement des lycées.

1.4.1.1.2 Les Etablissements Publics de Coopérations Intercommunales (EPCI)

On peut estimer que la France métropolitaine regroupe, au 1er janvier 2002, 2172 EPCI rassemblant 26678 communes(72.7%), et près de 44,9 millions d'habitants (72,8% de la population totale). Quatre catégories d'EPCI subsistent : 14 **Communautés Urbaines** (CU), 120 **Communautés d'Agglomérations** (CA), 2030 **Communautés de Communes** (CC) et 8 **Syndicats d'Agglomérations Nouvelles** (SAN). Les 171 districts existant au 1er janvier 2001 ont été transformés en CC ou en CA, ou ont été dissolues.

[9] En 2002, 69 % des communes comptent moins de 700 habitants et 5 % plus de 300 000 habitants.
[10] La France est divisée en 100 Départements : 96 en métropole et 4 en Outre Mer.
[11] La France est divisée en 22 régions métropolitaine et 4 en Outre-Mer.

Les **Communautés Urbaines** (CU) regroupent plusieurs communes d'un seul tenant et sans enclave qui forment, à la date de leur création, un ensemble de plus de 500 000 habitants. Elles ont des compétences obligatoires en cas d'intérêt communautaire pour :

- le développement et l'aménagement économique, social et culturel de l'espace communautaire par la création, l'aménagement, l'entretien et la gestion de zones d'activité industrielle, commerciale, tertiaire, artisanale, touristique, portuaire ou aéroportuaire, et la construction, l'aménagement, l'entretien, la gestion et l'animation d'équipements ou de réseaux culturels ;
- l'aménagement communautaire par la définition d'un programme d'ensemble d'aménagement (création de SCOT, de PLU ou document assimilé, aménagement et entretien de Schémas de Secteurs de voirie) ;
- la promotion de l'équilibre social de l'habitat sur le territoire communautaire ;
- l'application de la politique de la ville dans la Communauté (développement urbain, développement local et insertion économique et sociale) ;
- la gestion des services d'intérêt collectif (réseaux d'assainissement et d'eau, cimetières, abattoirs, marchés, services d'incendie et de secours) ;
- la protection et la mise en valeur de l'environnement et la définition d'une politique du cadre de vie (élimination et valorisation des déchets, lutte contre la pollution de l'air, contre les nuisances sonores).

Les **Communautés d'Agglomérations** (CA) regroupent plusieurs communes formant, à la date de création, un ensemble de plus de 50 000 habitants d'un seul tenant et sans enclave autour d'une ou plusieurs communes centre de plus de 15.000 habitants. En 2001, trente nouvelles communautés d'agglomération ont été créées représentant près de seize millions d'habitants. Parmi elles, onze résultent de la transformation de districts et huit de Communautés de Communes. Les autres ont émergé *ex nihilo*. Les CA ont les mêmes compétences obligatoires et opérationnelles que les CU.

Les **Communautés de Communes** (CC) regroupent plusieurs communes d'un seul tenant et sans enclave. Créées en 1992, elles sont aujourd'hui estimées au nombre de 2030, qui représentent plus de 22 millions d'habitants répartis sur 24 265 communes. La CC " *associe des communes au sein d'un espace de solidarité, en vue de l'élaboration d'un projet commun de développement et d'aménagement de l'espace* ". Elle a des compétences qui recouvrent celles des CU, notamment pour les actions d'aménagement de l'espace. Le véritable rôle de la Communauté de Communes est la mise en cohérence du territoire concerné par la réalisation d'un projet global commun, et non par la multiplication d'actions ponctuelles et isolées.

Le **Syndicat d'Agglomération Nouvelle** (SAN) est l'organe administratif et politique qui gère une **Ville Nouvelle**. Il est spécifique aux Agglomérations Nouvelles et joue le rôle d'une structure de proposition en matière d'Aménagement du territoire et d'Urbanisme. Il intervient ainsi au cours d'une opération d'aménagement à toutes les étapes, des études à l'acquisition foncière.
Le SAN exerce les compétences des communes en matière de programmation et d'investissement dans les domaines de l'urbanisme, des logements, du transport (réseaux divers et voies nouvelles), du développement économique, de la gestion des intérêts communs, de la gestion des services pour les communes.

1.4.1.2 L'Etat déconcentré

En parallèle à ces instances, le rôle de l'Etat déconcentré est de définir et de faire appliquer les principes nationaux et les outils de procédures qui régissent l'urbanisme et la construction. Il définit les principes de gestion économe de l'espace, d'équilibre des agglomérations, et de préservation

du patrimoine, des ressources rares et du paysage. Si les Communes ont pleine compétence en matière de planification et d'urbanisme, l'administration centrale et les services de l'Etat sont très fortement associés à l'élaboration de ces documents, notamment par son rôle de contrôle.

1.4.1.2.1 L'administration centrale

La **Direction Générale de l'Urbanisme, de l'Habitat et de la Construction** (DGUHC), direction sectorielle du Ministère de l'Equipement, définit et veille à l'application de la législation de l'urbanisme, de l'occupation des sols et de l'expropriation. Elle définit les orientations politiques d'aménagement et d'urbanisme, en liaison avec les Ministères concernés, les Collectivités Territoriales, les professionnels et des associations nationales.

La Délégation à l'Aménagement du territoire et à l'Action Régionale (DATAR), par son équipe « développement urbain durable », rattachée au ministère de la Fonction Publique, de la Réforme de l'Etat et de l'Aménagement du territoire, accompagne la préparation des contrats d'agglomération, en veillant à leur bonne articulation avec la loi d'Orientation pour l'Aménagement et le Développement Durable du Territoire (25 juin 1999), la loi relative à la Simplification et au Renforcement de la Coopération Intercommunale (12 juillet 1999) et celle relative à la Solidarité et au Renouvellement Urbain (Loi SRU, 13 décembre 2000).

La **Délégation Interministérielle à la Ville** (DIV), attachée au Ministère Délégué à la Ville et à la Rénovation Urbaine, auprès du ministère des Affaires Sociales, du Travail et de la Solidarité, coordonne les Contrats de Ville, les Grands Projets de Ville et les opérations de renouvellement urbain.

1.4.1.2.2 Les services techniques centraux de l'Etat

Le **Centre d'Etudes sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les constructions publiques** (CERTU), service central du Ministère de l'Equipement, est chargé de conduire des études pour le compte de l'État ou au bénéfice des collectivités locales, des décideurs et des professionnels qui agissent sur la ville. Sa mission principale est la contribution au progrès des connaissances et des pratiques professionnelles dans tous les domaines liés à l'aménagement, l'environnement urbain et les transports, entre autre par la production de méthodes d'évaluation pluridisciplinaires. Il agit en coopération avec des institutions similaires dans d'autres pays.

1.4.1.2.3 Les services déconcentrés de l'Etat

Les **Directions Départementales de l'Equipement**[12] (DDE) sont chargées de réaliser des études dans les domaines de l'urbanisme, du logement et des transports et participent à l'Aménagement du territoire et au développement local. Dans le domaine de l'urbanisme, elles ont en charge l'application du droit des sols, exercent le contrôle de légalité, et apportent un appui technique aux collectivités locales. Dans le domaine de l'habitat et du logement, elles sont chargées de définir les politiques locales. Dans le domaine du bâtiment et des constructions publiques, elles interviennent en matière de conduite d'opération, d'entretien et de maintenance. Elles jouent également un rôle d'assistance et de conseil auprès des maîtres d'ouvrage. Dans le domaine de la route, de l'exploitation et de la sécurité routière, elles appliquent et mettent en œuvre les politiques de l'Etat pour les routes nationales et sont mises à disposition de l'exécutif départemental (elles assurent en particulier la viabilité hivernale). Elles interviennent à la demande des Communes et réalisent de l'aide technique à la gestion communale ainsi que de la maîtrise d'œuvre. Dans le domaine de

[12] La France compte 96 DDE en métropole et 4 en Outre-Mer.

l'environnement urbain, elles contribuent aux politiques de prévention ou de réduction des pollutions et des nuisances. Dans le domaine de l'eau, elles sont mises à la disposition du Ministère de l'Environnement et sont chargées de la gestion des cours d'eau et de la police de l'eau. Elles concourent à la sécurité des personnes et des biens contre les inondations. Certaines DDE ont également en charge la gestion, l'entretien et l'exploitation des voies navigables et de certains ports. Elles interviennent aussi sur les aérodromes civils et militaires.

Les **Directions Régionales de l'Environnement**[13] (DIREN) œuvrent à la prise en compte de l'environnement dans les divers programmes d'aménagement et dans les contrats de Plan Etat/Région. Elles veillent à la protection de la nature, des sites et des paysages. Elles concourent aux politiques de conservation des milieux naturels.

Les **Directions Régionales de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement**[14] (DRIRE), conformément à la loi sur les installations classées, imposent des prescriptions aux exploitants pour réduire les pollutions, les nuisances et les risques (diminution des rejets polluants dans l'eau et l'air, réduction et élimination des déchets). Elles interviennent aussi avant l'implantation des établissements industriels (réalisation d'études d'impact) et contrôlent leurs activités.

Les **Centres d'Etudes Techniques de l'Equipement**[15] (CETE), services spécialisés du Ministère de l'Equipement, accompagnent la politique d'aménagement et d'équipement du territoire, notamment dans le domaine routier. Ils assurent les études, la reconnaissance géotechnique, la conception, le contrôle d'exécution et l'auscultation des infrastructures de transport (chaussées, ouvrages d'art). Ils renforcent la sécurité et le confort des usagers en améliorant les équipements routiers, l'adhérence, la signalisation et la visibilité. Les études sur le trafic, les déplacements et les systèmes intermodaux entrent également dans leur champ d'activités, de même que les recherches sur le bruit, l'appui technique à la conduite d'opérations et à la gestion des constructions, l'expertise et la réhabilitation urbaine, ou la prévention des risques naturels et des problèmes d'environnement.

1.4.1.3 Les structures associatives et privées

Les **Conseils d'Architecture, d'Urbanisme et de l'Environnement (CAUE)**, placés sous la tutelle des Conseils Généraux, ont pour vocation de promouvoir la qualité de l'architecture, de l'urbanisme et de l'environnement. Ils ont une mission incitative de réflexion, située très en amont, des projets d'aménagement et d'habitat. Ils participent, sur demande, à l'élaboration de cahiers des charges.

Les **Agences d'Urbanismes**[16], créées à l'initiative de l'Etat et des collectivités territoriales, constituent un outil technique à leur service et un lieu de rencontre et de définition de projets communs, sur un périmètre qui peut dépasser largement le périmètre de l'agglomération ou des structures de coopération intercommunale. Elles ont des fonctions :

- d'observatoire, par la connaissance de la zone d'agglomération et de son évolution. Cette fonction constitue le fondement de son activité et lui permet de renforcer divers partenariats (INSEE, CAF, ASSEDIC, …) ;

[13]. La France compte 26 DIREN.
[14] La France compte 24 DRIRE.
[15] La France compte 7 CETE.
[16] La France compte 41 Agences d'Urbanisme en 2002 (Outre-Mer compris). 39 font partie de la Fédération Nationale des Agences d'Urbanisme (FNAU). Les exceptions sont des services techniques de collectivités territoriales (Commune Angoulême et District de Dijon).

- de planification, par la participation à l'élaboration des PLU, des Plans Locaux d'Urbanisme, des Schémas de Cohérence Territoriale, … ;
- d'animation, par l'organisation d'enquêtes, de débats publiques, d'expertises entre les différents partenaires ;
- de prospective, par l'analyse des phénomènes urbains, la " veille " sur les transformations urbaines et sur les nouvelles technologies et la conception de projets d'ordre spatial, social ou économique, à l'échelle de l'agglomération, de la ville ou du quartier. Cette activité peut se traduire par des mises en scènes géographiques.

Les **Cabinets de Géomètres Experts**[17] réalisent, d'une part, les études et les plans et documents topographiques qui fixent les limites des biens fonciers à toutes les échelles qui définissent les droits attachés à la propriété foncière. D'autre part, ils réalisent des études et travaux topographiques, techniques et d'IG dans le cadre des missions publiques et privées d'Aménagement du territoire (évaluation, gestion ou aménagement des biens fonciers). Ils interviennent donc dans l'aménagement urbain pour la réglementation, l'environnement, les projets de quartiers, les PLU.

Les **Bureaux d'Etudes** spécialisés en aménagement et en urbanisme proposent aux collectivités locales et aux DDE une aide pour l'élaboration des SCOT, des PLU ou des Plans d'Aménagement de Zones.

Nous retiendrons que les collectivités territoriales sont les initiateurs des projets, les services centraux de l'Etat définissent les politiques d'orientation générale d'Aménagement du territoire et d'Urbanisme, et les services déconcentrés assurent la vérification de la légalité des opérations et sont les maîtres d'œuvre. Cette combinaison de procédures à plusieurs niveaux d'échelle, par des organismes aux compétences entrecroisées, est indispensable lors de la réalisation d'une opération urbaine.

[17] En 1997, la France comptait environ 2000 cabinets de géomètres-expert.

1.4.2 Les utilisateurs de l'IG et leur « degré d'expertise »

Trois catégories d'utilisateurs peuvent être différenciés selon **leurs degré d'expertise (ou de compétence) en termes de manipulation de l'IG**, dans les domaines de l'Aménagement du territoire et de l'Urbanisme, : (1) les utilisateurs « experts » en IG, (2) les initiés à l'utilisation de l'IG et (3) le « grand public ».

Les **utilisateurs experts** se caractérisent par leur grande capacité d'intégration et de traitement des données géographiques. Ils manipulent et gèrent des volumes importants de données géographiques, dans des bases de données urbaines adaptées à la gestion quotidienne du territoire (gestion technique des réseaux, du mobilier urbain,…). Ces utilisateurs experts, les **techniciens** de l'IG interviennent sur le territoire à un **niveau « opérationnel »**.
Les **utilisateurs initiés** ont une connaissance moyenne de la manipulation et de l'exploitation des données géographiques. Ils ne s'y intéressent que dans leur domaine de compétence propre. Ils ont une connaissance de base des outils SIG. Leurs compétences sont liées à la planification urbaine, l'urbanisme pré-opérationnel, les études d'impact, les observatoires et les prospectives. Ces utilisateurs initiés, les **aménageurs**, interviennent sur le territoire à un **niveau « tactique »**.
Les **utilisateurs «grand public»** n'ont pas de connaissances précises sur les données géographiques et ne connaissent pas les outils pour les exploiter. Cette catégorie regroupe à la fois les **décideurs**, qui assurent les prises de décisions à un **niveau « stratégique »**, dans une problématique urbaine (à travers la présentation de documents finaux, par exemple les cartes) ; et **la population** qui doit être informée de la politique menée en terme d'Aménagement du territoire.

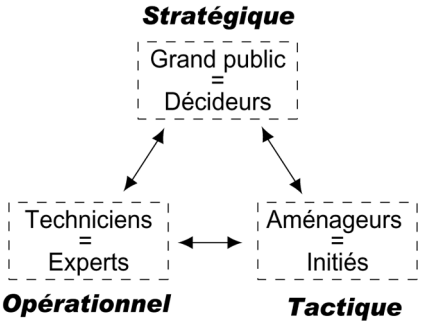


Figure 1.22 - Les utilisateurs de l'IG selon leurs degré d'expertise (Puissant, 2000).

Cette typologie des utilisateurs présentée selon leur degré d'expertise en IG parait pertinente ; sa représentativité sera toutefois vérifiée dans le chapitre 3. Ceci nous permettra d'identifier la demande des utilisateurs en IG.

Dans la suite de ce travail, le terme **acteur** désignera les organismes qui ont des compétences en Aménagement et en Urbanisme et le terme **utilisateur** désignera les individus ou groupes d'individus, aux compétences spécifiques, qui manipulent l'IG au sein de ces organismes.

Quel que soit le processus de planification, gestion et de décision, les différents acteurs et les utilisateurs ont besoin de disposer d'informations précises sur le territoire administré, tant pour répondre aux demandes des habitants, que pour prévoir les aménagements futurs ou encore assurer la maintenance et l'entretien des infrastructures. Les interactions s'effectuent par des pratiques urbaines entre les différents acteurs et utilisateurs.

1.5 L'UTILISATION DE L'IG PAR LES ACTEURS DE L'AMENAGEMENT : UNE MULTIPLICITE DE PRATIQUES URBAINES

L'IG se trouve au cœur des activités d'aménagement de l'espace (Bailly, 1995 ; Roche *et al.*, 1996) car l'espace y est l'élément central : toute action d'aménagement est directement liée à l'espace sur lequel elle s'applique, dans le cadre de ce travail, le milieu urbain.
L'IG permet d'analyser et de modéliser les relations spatiales entre les multiples contraintes humaines, sociales, économiques, ou naturelles. Outil d'accumulation de la connaissance sur le territoire et d'analyse des contraintes qu'il supporte, elle est l'élément essentiel d'une compréhension permanente du milieu (Livre Blanc, 1998). Bien plus même, l'IG est un outil qui doit servir de support de communication au débat public. Parce qu'elle permet de visualiser l'impact des choix d'aménagement sur l'espace et sur les hommes qui l'occupent, elle permet aussi de les expliquer et de les débattre en devenant un support pour l'aide à la décision. Enfin, de plus en plus, les processus de décisions au sein des entreprises prennent en compte la dimension spatiale des choix potentiels. Qu'il s'agisse de choisir l'implantation d'un établissement, d'adapter l'offre aux caractéristiques locales, de localiser la clientèle, d'optimiser les flux d'approvisionnement ou de distribution, l'information localisée est un élément stratégique du système d'information des entreprises (Livre Blanc, 1998).

Toute activité d'aménagement met en œuvre des processus de réflexion et de décision très complexes. En effet, les contraintes humaines et sociales (internes ou externes à l'organisme), institutionnelles et juridiques, et économiques influencent le contexte dans lequel s'inscrit l'activité d'aménagement. Selon les acteurs, leur "connaissance", leur formation de base (géographe, architecte, ingénieur, statisticien...), mais aussi leur expérience personnelle et leur contexte culturel (éducation, culture, ouverture d'esprits, intérêts, …), des « **pratiques** » différentes existent pour répondre à un problème d'aménagement. C'est ce que nous allons préciser dans le point suivant (§ 1.5.1), avant de donner un exemple de pratique en aménagement (§ 1.5.2).

1.5.1 La notion de pratique urbaine

Le terme de pratique est une notion aux multiples significations. Du latin *practicus* « actif, agissant », elle est le « *produit de régularités objectives liées à la position sociale d'un individu, mais elle présente également des caractéristiques différentes d'un individu à l'autre ; elle est vécue sur le mode de la différence en tant qu'expression personnelle* » (Dictionnaire Général des Sciences Humaines, 1975). Au delà de son aspect technique, elle correspond au « *comportement ou à l'activité sociale envisagés et qui sont exercés de façon habituelle par une personne ou un groupe* » (Dictionnaire de Sociologie, 1999).

Bailly et Beguin (1991) précisent que **« pratiques »** et **« représentations »** sont indissociablement liées. Abric (1997) souligne que « les représentations jouent un rôle déterminant sur les pratiques dans les situations où l'acteur dispose d'une autonomie (même relative) par rapport aux contraintes de la situation ou celles résultant de relations de pouvoir ». Il ajoute en précisant que « les représentations jouent un rôle d'autant plus important que les acteurs sont confrontés à des situations complexes ou ambiguës ». En effet, la connaissance d'un espace pour chaque individu se traduit par l'acquisition **d'une représentation cognitive de l'espace**.

Une **représentation** est à la fois un processus , qui permet de faire connaître, de rendre compréhensible un objet ou un concept, et le résultat de ce processus, au moyen d'une image, d'une figure, d'une carte. La spécificité d'une **représentation spatiale** se traduit par l'analyse des positions relatives des objets ou des phénomènes dans l'espace. Elle implique de fait l'analyse non seulement des objets ou des phénomènes, mais des relations qui existent entre eux. Or, la représentation de l'espace est une affaire individuelle, plus ou moins déterminée par la culture, l'information, les mythes ou les représentations collectives, ou des réalités plus triviales.
Un élément principal ressort de ces définitions usuelles, à savoir une reproduction mentale. Les représentations mentales sont « *le produit des processus de représentation* ». Ce sont des modèles intériorisés que le sujet construit de son environnement et de ses actions sur cet environnement. Ils sont utilisables comme *« sources d'information et instruments de régulation et de planification de ses conduites* » (Edmond, 2000).

Chaque individu possède ainsi une ou des représentation(s) cognitive(s) de l'espace, une image en soi, qui résulte du stockage en mémoire de multiples informations provenant de perceptions[18] et d'expériences, passées et présentes, conscientes et inconscientes. Plus précisément, **une représentation cognitive** est « *l'image de l'espace produite à la fois par les sensations immédiates, et par le souvenir de l'expérience passée* » (Millet, 1972). « *Elle tient compte non seulement d'informations venant du monde physique, mais également de données sociales et culturelles* » (Levy et Leboyer, 1980).
Une représentation cognitive est fondamentalement dynamique et se modifie, se transforme, se construit pour chacun d'entre nous dans le temps. Elle influence donc les choix et les actions des acteurs de l'aménagement et de l'urbanisme.

La différenciation de pratiques s'explique par la manière dont un individu appréhende et normalise un problème, et par la chaîne d'actions qu'il va exercer pour le résoudre. L'espace est analysé en fonction de représentations, de motivations, de pratiques que les acteurs ont progressivement développés. En urbanisme et en aménagement, on parle de **pratiques urbaines** car l'objectif est de résoudre des problèmes qui concernent le milieu urbain. Ces pratiques sont considérées comme des interventions volontaires, des exercices d'application, des manières de faire, d'où naît l'expérience plutôt que la connaissance (Merlin et Choay, 1988). Les **représentations cognitives spatiales** et les **perceptions** interviennent donc de manière importante dans les processus d'aménagement, d'autant qu'elles guident la perception même des acteurs (Brunet, 1974) et font partie intégrante de leurs raisonnements.

Ceci nous permet d'accepter, dans le cadre de cette recherche, l'hypothèse selon laquelle les acteurs de l'Aménagement du territoire et de l'Urbanisme raisonnement et travaillent avec des représentations cognitives. Dans le but de les reconstituer, nous devons nous demander, à quelles étapes de l'opération d'aménagement ou d'urbanisme (d'une application), ces représentations cognitives interviennent ? C'est ce que nous allons présenter dans le point suivant , à travers un exemple concret.

[18] Selon Bagot (1996), la perception désigne « l'ensemble des procédures qui nous permettent de prendre connaissance du monde environnant et de construire nos propres représentations mentales de ce monde ». Il ajoute que « elle est le résultat d'une interprétation des informations sensorielles. Elles nécessite l'intégration de plusieurs sensations sur lesquelles l'individu effectue un choix, prend une décision, en fonction de ses connaissances antérieures, des ses attentes ou expectations, de ses motivations cognitives et affectives, des coûts et des gains éventuels liés à sa décision perceptive ».

1.5.2 Un exemple de pratique urbaine

En pratique, une **« opération » d'aménagement** (ou d'urbanisme) se déroule en **plusieurs phases** successives : (1) **Analyse-Modélisation-Représentation** de l'espace, (2) **Validation-Réflexion**, et (3) **Décision-Action** (mise en œuvre de l'opération).

La première phase d'**Analyse-Modélisation-Représentation** consiste à définir les données utiles, à vérifier leurs disponibilités et leur qualité (précision, mise à jour, ...) en fonction du problème posé et de l'hypothèse de travail. Selon les « moyens » technique (outil SIG, ..) et/ou financier de l'organisme, un choix de « fabrication » ou « d'achat » de données sera effectué.
La phase de **Validation-Réflexion,** qui s'effectue entre plusieurs acteurs, permet de **valider** les informations et les représentations produites.
Dans la troisième phase, ces informations et représentations validées deviennent des outils d'aide à la décision et de mises en application des actions programmées. C'est la phase de **Décision-Action** de l'opération d'aménagement.

Les acteurs qui interviennent dans ces différentes phases sont définis par leur niveau de responsabilité et leur degré d'expertise en IG (cf. § 1.4.2 : Figure 1.22). La figure 1.23 schématise les différentes phases d'une opération d'aménagement ou d'urbanisme. Au cours de la première phase (Analyse-Modélisation-Représentation) interviennent les **techniciens** spécialistes de la gestion et de la manipulation de l'IG (niveau opérationnel) ; dans la deuxième phase (Validation-Réflexion) interviennent les **aménageurs** (niveau tactique), en interaction avec les techniciens (processus itératif d'amélioration des représentations) ; la dernière phase (Décision-Action) concerne les élus ou des **administratifs-décideurs** (niveau stratégique). Roche (2000) a montré que lors de la présentation aux élus, la forme compte plus que le fond et la personne qui porte le projet (rôle de médiateur) est très importante car c'est elle qui selon l'intérêt suscité pourra influencer, selon ses représentations cognitives, le processus de décision. Ainsi, chacun des acteurs a une idée de l'orientation qu'il souhaite apporter au processus, avant même d'avoir analysé les différentes représentations.

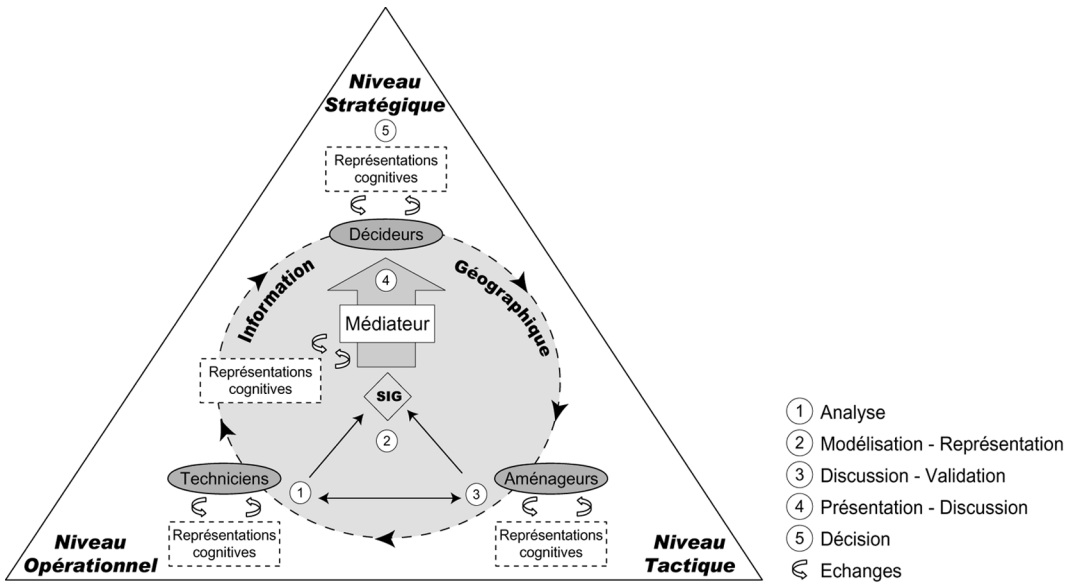


Figure 1.23 – Schématisation d'une pratique urbaine et de ses différentes phases (modifié de Roche, 1997).

Les organismes concernés par les procédures de planification territoriale (Figure 1.21) ont en charge un nombre limité d'applications, dont le contenu est relativement standardisé. Il s'agit, par exemple, de la réalisation d'un PLU, d'un Schéma Directeur, d'une étude d'impact, … (Rapport Ted Alitec&Siage, 1997). Prenons l'exemple d'une procédure de modification d'un PLU (document de base de la planification urbaine) d'un quartier de la CU de Strasbourg, pour montrer le degré et le moment d'intervention de chaque utilisateur de l'IG.

La **première étape** de la modification du PLU (à l'initiative du maire), est la **réalisation du dossier**. Il est réalisé pour le Service de l'Urbanisme de l'Agence de Développement et d'Urbanisme de Strasbourg (ADEUS), qui joue le rôle de technicien de l'IG. Ce dossier comprend en " intrants " différentes descriptions du territoire, et notamment un assemblage du cadastre, présenté typiquement au 1/2000e, souvent avec un plan d'ensemble au 1/5 000e. Cette étape consomme une quantité importante de données collectées sur le terrain (levés topographiques) ou à partir d'images (le plus souvent de type photographie aérienne). Le cadastre est le référentiel indispensable à l'élaboration des PLU. À la sortie du processus de fabrication, ces mêmes fonds de plans sont complétés par des zonages, la description géométrique des servitudes, éventuellement un repérage d'éléments remarquables. Dans une **deuxième étape**, le dossier fait l'objet d'une **concertation** avec le Service d'Urbanisme de la CU de Strasbourg (CUS). Des échanges, entre les deux organismes, permettent de valider le dossier. Ensuite, dans une **troisième étape**, une commission d'enquête est nommée par le Tribunal Administratif (à la demande du Président de la CUS) et le dossier est soumis à une enquête publique (durée minimum de 30 jours). Le **commissaire-enquêteur**, qui joue le rôle de **médiateur**, établit un rapport (intitulé « Conclusions de l'enquête publique »). Certains réajustements peuvent être effectués. Dans une **dernière étape**, le Conseil Municipal et le Conseil de la CUS, **décident** l'approbation des modifications du PLU.

1.6 CONCLUSION

En conclusion, nous avons démontré que les différentes communautés d'acteurs et d'utilisateurs dans les domaines de l'Aménagement du territoire et de l'Urbanisme, sont nombreux et ne cessent de se multiplier car toute personne qui cherche à localiser un objet devient un utilisateur et même un producteur potentiel d'IG. Ces acteurs et utilisateurs, qui travaillent en interrelations, ont des besoins en IG, que ce soit en amont de leurs actions comme outils d'aide à la prise de décision ou en aval comme outils d'évaluation de l'efficacité et de l'opportunité de ces actions. De plus, dans une opération d'aménagement (ou d'urbanisme) où de nombreux acteurs et utilisateurs interviennent avec leurs propres représentations cognitives, une multiplicité des pratiques urbaines est observée. Tout ceci doit être pris en compte pour comprendre le développement du secteur de l'IG en France.

Dans ce contexte, le chapitre suivant sera consacré à la présentation de la situation française, à l'analyse de l'évolution et de la diffusion de l'utilisation de l'IG. L'objectif est de vérifier si l'on peut véritablement parler d'un « marché ou secteur d'IG » à part entière. La situation française sera également comparée à la situation européenne afin de déterminer la position de la France dans le développement des Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication (NTIC).

Chapitre 2 :

L'EVOLUTION DU SECTEUR DE L'IG ET SES ENJEUX POUR LA SOCIETE

SOMMAIRE

INTRODUCTION 67

2.1. LE SECTEUR DE L'INFORMATION GEOGRAPHIQUE EN FRANCE ET A L'ETRANGER : DEVELOPPEMENT ET DIFFUSION 67

2.1.1 L'évolution de l'IG en France : des Banques de Données Urbaines aux SIGU 67
2.1.2 L'IG numérique et l'entrée de la France dans la Société de l'Information 71
2.1.3 Conclusion 83

2.2 LES ENJEUX DE L'IG DANS LA SOCIETE DE L'INFORMATION ET LES NOUVELLES TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION ET DE LA COMMUNICATION POUR L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE ET L'URBANISME 86

2.2.1 L'IG émanant du secteur public : une ressource clé pour l'entrée de l'Europe dans la SI ? 87
2.2.2 L'espace, une composante stratégique dans la Société de l'Information 92
2.2.3 Conclusion 102

2.3 CONCLUSION 102

INTRODUCTION

Le développement du secteur de l'IG et d'une *Info-stratégie* c'est-à-dire une stratégie de mise en place d'une « structure informationnelle », en France, a mobilisé une multitude d'acteurs (privés et publics, fournisseurs de données, développeurs de systèmes, utilisateurs, …) aux attentes et aux stratégies rarement convergentes (Roche, 1997). Deux grandes catégories d'acteurs ont tenu, et tiennent toujours actuellement, un rôle effectif dans le développement de ce secteur. Il s'agit d'une part, de tous les **acteurs** qui interviennent sur **le territoire** (cf. § 1.4.1) qui ont fait ou font toujours preuve d'un dynamisme très fort ; et d'autre part, des **producteurs** d'applications, d'outils et de données (cf. chapitre 4). Les différentes étapes d'organisation, de développement et de diffusion de l'IG en France sont présentées avant de les replacer dans le contexte de d'évolution à l'échelle européenne et internationale (§ 2.1). Les enjeux de l'IG et de l'image en particulier sont ensuite analysés et discutés au paragraphe 2.2, dans le cadre de la construction de la **Société de l'Information (SI)** et avec l'essor des **Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication (NTIC)**, pour l'Aménagement du territoire et l'Urbanisme.

2.1 LE SECTEUR DE L'INFORMATION GEOGRAPHIQUE EN FRANCE ET A L'ETRANGER : DEVELOPPEMENT ET DIFFUSION

L'objectif de cette section est de vérifier l'existence d'un « secteur » ou « marché » de l'IG en France, de reconstituer son développement initié par les différents acteurs de l'Aménagement du territoire et de l'Urbanisme (§ 2.1.1) et de le replacer dans le contexte de la construction de la Société de l'Information, à l'échelle européenne et internationale (§ 2.1.2).

2.1.1 L'évolution de secteur de l'IG en France : des Banques de Données Urbaines aux SIGU

Parmi tous les acteurs identifiés, les collectivités territoriales de type CU sont les premières à avoir développé des applicatifs de gestion de l'IG numérique, sous forme de Banque de Données Urbaines[19], au début des années 1970. Abordé dans une perspective historique, le développement du secteur de l'IG s'est organisé autour de cinq grandes phases qu'il faut replacer par rapport aux capacités méthodologiques et techniques, par rapport à l'évolution des besoins au cours des vingt dernières années mais aussi par rapport à leur contexte d'évolution « politique » .

2.1.1.1 De la DAO aux BDU : une logique restrictive d'automatisation des travaux

Comme dans la plupart des pays industrialisés, les **années 70** ont été marquées par le développement de la Cartographie Assistée par Ordinateur (CAO). C'est à cette époque que certaines communes et CU ont initié la mise en place d'un système informatisé utilisant l'information localisée

[19] On désigne par Banque de Données Urbaines (BDU) : « *le stockage d'une quantité éparse de données dans un même lieu, la transformation de cette information en données utilisables, et leur mise à disposition pour un domaine d'application : la ville* » (Aillaud, 1992). Le terme de BDU est adapté pour désigner toutes les données collectées qu'elle soit localisée ou non (Weber,1995).

(Paris, Lille, Marseille, Strasbourg). Ces expériences ont à la fois, et paradoxalement, servi de test de la faisabilité des BDU (la plupart des créations récentes ayant tenu compte de ces expériences pionnières), et de « cobaye » pour ceux qui ont pu, parfois à juste titre, douter de leur utilité au regard des premiers résultats. Ces expériences, qui représentent **l'émergence du secteur de l'IG en France**, ont eu lieu dans un contexte particulier. Les premières années de la décennie 1970 sont en effet marquées par de nombreuses opérations, menées parfois sans réelle concertation, par des acteurs différents, cherchant à produire de l'IG de référence. Sans entrer dans les détails, rappelons la création du répertoire informatique des rues et des lieux-dits (FINATO puis RIVOLI[20]) en 1971 par la Direction Générale des Impôts (DGI), le Répertoire Géographique Urbain (RGU), démarré sous l'égide de plusieurs ministères et de l'INSEE en 1973, la création de grands fichiers statistiques nationaux comme le fichier SIRENE (base de données des entreprises et des établissements).

Le souci de l'époque n'est **pas thématique** mais **technique**. L'informatisation est perçue comme une possibilité d'automatisation et d'accélération de travaux répétitifs ou fastidieux. C'est pourquoi les objectifs initiaux se sont principalement cantonnés dans une optique restrictive de diminution du temps de recherche, de mise à jour et de production de plans. Notons d'ailleurs que les premières BDU ont été confiées le plus souvent aux **services informatiques** et aux **services du plan** (géomètres et topographes). Ces éléments, d'apparence anecdotique, expliquent en partie les choix principaux faits il y a vingt ans.

Les données de référence (type, échelle, précision, référentiel géographique notamment), ainsi que les types d'applications (au départ assez éloignées de l'Aménagement du territoire urbain), ont été proposés à partir de ces orientations (Dossier Documentaire du Ministère de l'Equipement, des Transports et du Logement, 1999). C'est également à cette période que l'informatisation de l'Institut Géographique National (IGN) a débuté, même si à l'époque le Dessin Assisté par Ordinateur (DAO) primait et la notion d'IG n'existait pas encore (Roche, 1997). Parallèlement, les grands gestionnaires de réseaux publics et privés se lancèrent également dans des projets de systèmes informatisés de production de données géographiques (Miellet, 1996). Ce fût le cas par exemple de la compagnie nationale de gaz et d'électricité EDF/GDF, ou de certaines compagnies concessionnaires de réseaux d'eau comme la Lyonnaise des Eaux.

2.1.1.2 La naissance de la notion d'IG : vers une logique de production d'IG

Le **début des années 80** fût caractérisé par une période de transition durant laquelle les BDU les plus anciennes continuèrent à se développer alors que de nouveaux projets démarraient sur des bases sensiblement différentes. D'une logique d'automatisation des tâches de dessin et de mise à jour (selon les anciennes méthodes), les projets s'orientaient vers une **logique de production d'information à valeur ajoutée**, au service des activités des gestionnaires techniques du territoire (infrastructure urbaine, voirie, …). Les BDU, essentiellement au sein des collectivités locales, cessaient de n'être que des compilations de données pour devenir de **véritables Bases de Données géographiques urbaines (BDGU) structurées**, de façon à offrir des supports réellement exploitables pour l'aide à la gestion et à l'aménagement. Ces profondes mutations qui ont affecté la cartographie classique dans les années 80 ont donné **naissance à la notion large d'IG**. L'extension des besoins liés au développement des transports, du tourisme, de l'aménagement, de l'urbanisme, la gestion des sols, la protection de la nature, donne tout son sens à l'IG. Durant cette période, **l'évolution technologique** a modifié considérablement les possibilités qu'offrait l'outil IG au moment où les lois de décentralisation donnaient aux différentes **collectivités territoriales** un **rôle**

[20] RIVOLI n'est plus qu'un code dans FANTOIR.

majeur dans la gestion de leur territoire. Dotées de nouvelles compétences en matière d'aménagement et de gestion territoriale, les collectivités se mirent en quête d'outils et de moyens leur permettant de répondre le plus efficacement possible à ces nouvelles tâches.

2.1.1.3 Le tournant des années 80 : le développement des SIGU

Vers le milieu **des années 80**, se diffusent très rapidement les **concepts de SIG** (et la terminologie associée), en provenance des Etats-Unis, au sein des collectivités locales où ils ont peu à peu remplacé les BDU. Les communes de Toulouse, Lyon, et Bordeaux, … ont initié leur SIGU au milieu des années 80. En parallèle, l'IGN lançait les premiers travaux de la base de données topographiques (BD TOPO®), puis de la base de données cartographiques (BD CARTO®), constituée en raison des délais de couverture trop long de la BD TOPO®. L'objectif était de couvrir toute la France, à une échelle plus petite et sur la base de documents existants. A côté des produits cartographiques vectoriels de l'IGN, ces années furent également marquées par le développement massif des images numériques. L'avènement du Système satellite SPOT (lancement de SPOT 1 en 1986), constitua une véritable révolution dans le domaine de l'IG.

2.1.1.4 Vers une utilisation plus « thématique » des SIG

L'élément marquant du début des **années 1990** est l'accélération de la diffusion des méthodologies de traitement de l'IG, notamment par **développement de la micro-informatique**. Les communes, les structures intercommunales, les départements et les régions ont donc considérablement investi dans la création de systèmes d'information pour l'aide à la décision, qu'il s'agisse de politique foncière, d'assainissement, de gestion du réseau routier, de transport scolaire, d'Aménagement du territoire ou d'environnement. Les collectivités territoriales, dans leur ensemble, ont ainsi été les moteurs du développement de l'activité économique du secteur et ont fait évoluer la demande.
Le développement et la **multiplication de logiciels SIG** standards, plus simples d'utilisation et meilleur marché, a sans nul doute contribué à la diffusion des SIG. Ces progrès techniques associés à une évolution des perceptions ont modifié la logique d'acquisition des SIG au sein des collectivités territoriales. Les outils SIG ont commencé à ne plus être seulement perçus comme des outils de gestion et de production de données cartographiques par les acteurs, mais comme des instruments **d'analyse** capables **d'accompagner et de supporter les différentes phases de réflexion** dans le cadre **des projets d'aménagement et d'urbanisme**.

La numérisation offre la possibilité d'adapter la représentation de l'information à chaque besoin particulier, de l'enrichir par des thématiques particulières (informations sur la population, sur le milieu naturel, sur la qualité de l'eau ou de l'air), de combiner des informations de différentes sources dans une base de données unique, d'y associer des modèles d'analyse ou de prévision révélé chaque jour de nouveaux usages et a multiplié les utilisateurs. De **nouveaux utilisateurs** sont apparus, **moins techniciens** et **plus thématiciens**. De l'outil isolé au service topographique ou informatique, un glissement s'est opéré vers un concept de système transversal, partagé et accessible par des usagers de plus en plus nombreux, provenant de services diversifiés. Ainsi, l'utilisation de l'IG s'est répandue à tous les niveaux des organismes et à tous les niveaux de la société : administrations de l'Etat et des collectivités territoriales, structures associatives, bureaux d'études, entreprises, laboratoires de recherches, universités, …

2.1.1.5 Vers une nouvelle approche du secteur de l'IG : la géomatique

Depuis 1995, des BDG(U) numériques sont accessibles directement auprès des fournisseurs publics ou privés comme l'IGN, Michelin, Spot Images. Pour les utilisateurs, le problème majeur n'est plus, aujourd'hui, le manque d'information, mais la **difficulté de choisir parmi une multitude de sources**, les plus pertinentes au regard des contraintes de qualité et de prise de décision (Roche, 1995). Avec l'apparition des technologies nouvelles visant à améliorer la diffusion de l'information, beaucoup ont pensé que les problèmes de communication seraient réglés. Or, en permettant la production de données de meilleure qualité et en grande quantité, de nouveaux problèmes de gestion de données sont apparus. C'est pour répondre à ces préoccupations que les milieux concernés par la gestion de données géographiques ont fait émerger **une nouvelle discipline** : **la géomatique**, néologisme formé du préfixe géo- et du mot informatique. L'originalité de cette nouvelle approche réside dans l'association de disciplines complémentaires qui faisaient souvent cavalier seul auparavant. En effet, à l'instar des nouvelles technologies qui sont le résultat d'une rencontre entre plusieurs techniques, la géomatique rassemble plusieurs disciplines aussi variées que la cartographie, la photogrammétrie, la télédétection, la géodésie, la topographie, la géographie, …, autour du noyau informatique. Elle est définie par Bergeron (1993), comme « *une discipline ayant pour objet la gestion des données à référence spatiale et qui fait appel aux sciences et aux technologies reliées à leur acquisition, leur stockage, leur traitement et leur diffusion* ». A l'instar de l'évolution des BDGU vers les **SIG multi-utilisateurs, multi-tâches et multi-thématiques**, Cheylan[21] (1991), préfère parler de « *science de l'IG* » où les géographes jouent le rôle des théoriciens, alors que les géomaticiens jouent le rôle de techniciens de l'IG.

Le caractère essentiel de cette approche réside plus dans les interactions entre les différentes disciplines que dans les disciplines prises de manière isolée (Gagnon *et al.*, 1990). La réalité que renferme cette nouvelle **science de l'IG ou géomatique** semble ainsi faciliter l'appropriation et le sentiment d'appartenance à une **nouvelle communauté scientifique** qui s'intéresse aux questions fondamentales de production, de gestion et de représentation de l'IG et pas seulement aux questions techniques posées par la mise en œuvre d'outils logiciels (Roche, 1997). En France, ce terme commence à être de plus en plus utilisé par les professionnels, alors qu'au Canada et aux Etats-Unis, il est utilisé respectivement, depuis les années 1980 et 1990 (cf § 2.1.2.3). De plus en plus, dans les collectivités territoriales, des pôles, services ou cellules « SIG ou géomatique » sont créés et des personnes sont recrutées comme « *géomaticiens* ».

Les acteurs qui interviennent sur le territoire ont ainsi doublement participé à la **création d'un secteur de l'IG** et l'ont fait évoluer. Celui-ci est devenu un **véritable secteur économique** à l'heure actuelle. Néanmoins, d'autres acteurs publics ou privés (IGN, DGI, gestionnaires de réseaux...) ont également, tour à tour, contribué ou retardé le développement de l'IG en France.

[21] Cheylan est géographe contrairement aux promoteurs de la géomatique qui sont avant tout des géomètres ou des topographes.

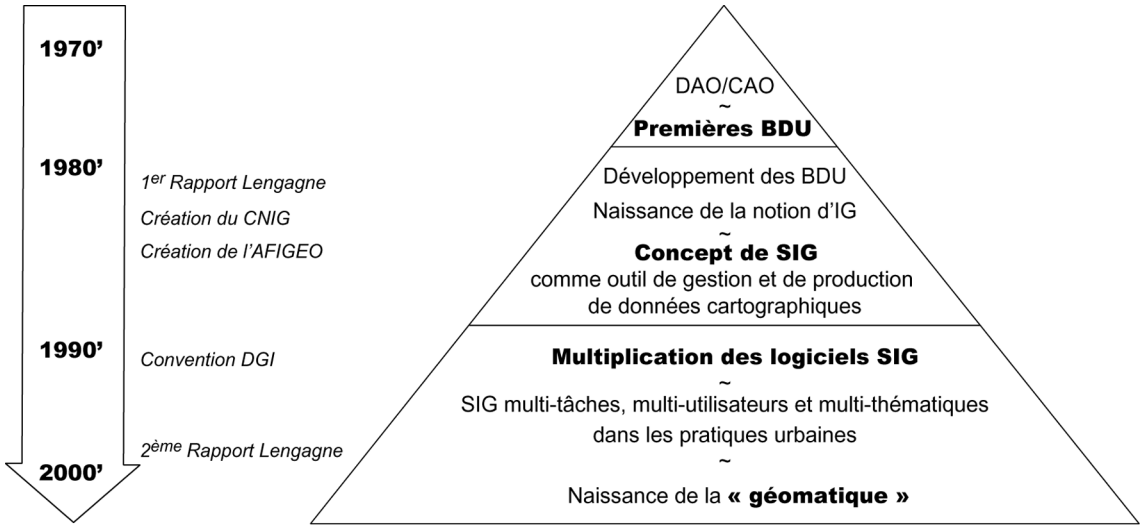


Figure 2.1 - Les étapes de développement du secteur de l'IG (Puissant, 2000).

2.1.2 IG numérique, et l'entrée de la France dans la Société de l'Information

L'information géographique dans sa forme numérique, fait partie intégrante de la **Société de l'Information (SI)**. Elle est un des enjeux du développement économique moderne car sous forme numérique, elle peut circuler et s'échanger à grande vitesse, être dupliquée sans dégradation, se combiner avec d'autres informations. Elle constitue un volet à part entière d'une politique nationale de développement de la SI en raison de son utilité propre mais, aussi, par les positions stratégiques qu'elle permet de prendre (Livre Blanc, 1998). Face à ces enjeux politiques, économiques et sociaux, le rapport Lengagne (1999) sur « *Les perspectives d'évolution de l'information géographique et les conséquences pour l'IGN* » rappelle que les pays européens où l'activité du secteur de l'IG est la plus développée et la plus dynamique sont ceux qui disposent d'une couverture numérique la plus complète de leur territoire. Ce critère est un indicateur pertinent de l'engagement fort de l'Etat pour la réalisation d'une telle couverture.

Notre démarche s'est ainsi portée sur l'analyse des données géographiques numériques disponibles sur un territoire national en tant qu'**indicateur du développement et du dynamisme du secteur de l'IG**. La situation française est analysée et positionnée dans la SI, comparée aux situations en Europe et en Amérique du Nord. La disponibilité, pays par pays, des données numériques de base (définie § 1.1.3) produites par le(s) fournisseur(s) national(ux) dits « de service public » (s'il existe) est prise comme indicateur.

Dans beaucoup de pays, L'État joue un rôle majeur dans le financement de la production des données de base et l'orientation des politiques publiques est l'un des leviers essentiels du développement de ce secteur activité. Or, la construction de ce référentiel n'est pas au même stade de développement en Europe et en Amérique du Nord, c'est pourquoi nous allons analyser **l'état d'avancement des pays, dans la constitution de leur référentiel**, en tant qu'**indicateur du développement et du dynamisme du secteur de l'IG.**
Nous détaillons successivement les cas de la France (§ 2.1.2.1), de certains pays d'Europe (§ 2.1.2.2) et d'Amérique du Nord (§ 2.1.2.3).

2.1.2.1. La France « à la pointe » des données numériques ?

Historiquement, l'IG connaît en France un monopole important exercé par deux fournisseurs :

- l'Institut Géographique National (IGN), premier grand fournisseur de données publiques, chargé de la géodésie, du nivellement, et de la cartographie de base du territoire ;
- le service du Cadastre de la Direction Générale des Impôts (DGI), deuxième fournisseur de données publiques, chargé de réaliser le seul plan à grande échelle de couverture national (1/500e en milieu urbain, 1/5000e en milieu rural).

Au **début des années 80**, la décision de mettre sous forme numérique le plan cadastral et le lancement des premiers travaux de la BD TOPO® (sensés découler des directives du premier rapport Lengagne en 1984) devaient marquer l'entrée de la France dans l'ère des données numériques. Malheureusement ces deux grands producteurs de données publiques ont retardé le développement du secteur de l'IG en France. En effet, à cette époque, la DGI refuse de numériser le plan cadastral, pourtant considéré comme le référentiel de base pour la mise en œuvre d'un SIG (Pornon *et al*., 1995). Il est vrai que les coûts d'investissement pouvaient sembler énormes en comparaison des gains attendus. Mais le critère économique devait-il être le seul ?

De son côté, l'IGN a défini lui-même le périmètre de ses activités dites de service public, notamment, par la fabrication de ses deux produits majeurs, la BD TOPO® et la BD CARTO®. La BD TOPO® devait être le référentiel topographique couvrant l'ensemble du territoire au 1/25 000e avec une précision métrique. Rapidement, les utilisateurs ont émis des réserves sur ce produit en particulier par rapport aux besoins potentiels, à la lenteur de sa fabrication, et en raison de son coût exorbitant (Roche, 1997). Au 1er janvier 2001, cette base ne couvre que 25% de la surface du territoire et le délai de mise à jour est en moyenne de cinq ans. La BD CARTO®, bien que non prévue par le rapport Lengagne de 1984, fut ainsi constituée en raison des délais de couverture trop long de la BD TOPO®. La BD CARTO® est ainsi la première base de l'IGN dont la couverture est achevée, pour des échelles allant du 1/50 000e au 1/500 000e. Ces bases de données seront détaillées (production et caractéristique) au § 4.1.4.1.

Parallèlement, le **Conseil National de l'IG (CNIG)** (1985) et **l'Association Française pour l'IG** (**AFIGEO**) (1986) sont créés afin de développer la concertation entre les acteurs du domaine (les administrations centrales, les collectivités territoriales et le secteur privé). Bien que disposant d'un pouvoir de proposition, le CNIG est défini comme un organe purement consultatif. Il a un rôle de promotion, d'encouragement et d'incitation. Ces actions se sont concrétisées par des publications, des forums, etc supportées par l'AFIGEO.
Durant les **années 80**, le CNIG a résolu les problèmes de sensibilisation, de méthodes, et des problèmes politiques entre la DGI et l'IGN. Il contribua, par exemple, avec d'autres acteurs du domaines (surtout des collectivités territoriales), à faire évoluer la position de la DGI sur le dossier de la numérisation des plans qui aboutit au début des années 90 à la mise en œuvre d'une politique de conventionnement nationale. Le meilleur exemple de la concrétisation des actions menées par le CNIG est la naissance de la norme EDIGéO[22]. Si cette norme est respectée, le produit digitalisé obtient la labellisation cadastrale et la mise à jour des données est assurée par les services du cadastre. Cette convention a permis de débloquer un certain nombre de situation dans de nombreuses

[22] EDIGéO, Echange de Données dans le domaine de l'IG, est une norme d'échange mise en œuvre sous l'égide du CNIG, en collaboration avec des représentants de l'IGN, du cadastre, du Ministère de l'Equipement, de l'Association des Ingénieurs des Villes de France (AIVF), … afin de faciliter l'échange de données et l'interopérabilité des différents systèmes (…….).

grandes villes ; elle demeure néanmoins très contraignante pour les petites villes. L'attitude des services de la DGI a été un frein au développement du secteur de l'IG numérique.

D'autres facteurs expliquent le retard de développement de la France dans la constitution de données de base numériques couvrant l'ensemble du territoire, et notamment l'absence de couverture numérique intégrale du foncier du territoire, à cause d'un manque de complémentarité entre l'IGN et la DGI. En effet, l'IGN n'a pas de présence significative dans le secteur des **produits à très grande échelle** (échelles supérieures ou égales au 1/2000e). Si l**e plan cadastral** est le **seul plan à grande échelle couvrant la totalité du territoire français** (1/500e en zones urbaines et 1/1000e ailleurs), son objectif n'est pas de fournir une base de référence aux activités de gestion et d'aménagement. Or, il existe à cet égard une réelle demande de la part des utilisateurs potentiels. La plupart des communes supérieur à 100 000 habitants ont ainsi fabriqué leur propre données de base pour pallier la pénurie d'offre publique de qualité suffisante.

Ensuite, il peut régner dans les différentes administrations un désordre et une hétérogénéité, qui viennent en partie du fait qu'il n'existe pas de référence nationale. Cette situation a obligé les utilisateurs à créer et à entretenir leurs données, ce qui n'améliore pas leurs processus de création et de circulation ; ceci peut engendrer des redondances parfois impressionnantes, par exemple pour Strasbourg, Lyon. A l'heure actuelle, de nombreuses organismes de l'administration produisent des informations, pas toujours échangeables, ce qui amoindrit la qualité et l'efficacité du service public, tout en augmentant les coûts généraux consacrés à ce domaine.

Enfin, l'IGN a réussi à développer une stratégie commerciale qui le place à la fois comme **producteur de données de base** et comme **vendeurs d'applications spécifiques** (telles que GEOROUTE®, une base de données décrivant les routes françaises). Dans ce cas précis, l'IGN est concurrent d'entreprises privées (Michelin, par exemple), qui ont développé un type de produit identique après avoir acheté la licence à l'IGN. Par ailleurs, les tarifs pratiqués par l'IGN sont très prohibitifs pour les petites structures, ce qui réduit le nombre d'initiatives privées, notamment dans le développement d'applicatifs à des prix compétitifs. Ces facteurs expliquent que la commercialisation des produits de l'IGN est moins rentable que si elle était réalisée de manière plus rationnelle et plus ouverte, dans un esprit de service public (Lengagne, 1999).

En résumé, les conflits entre la DGI et l'IGN ont fortement freiné le développement du secteur de l'IG. Le manque de sensibilisation de certains acteurs à l'intérêt de l'IG numérique, à cause de l'inertie de la DGI, et les contraintes imposées en matière de numérisation de plan ont eu pour effet le développement de beaucoup de projets municipaux (Roche, 1997). L'IGN, à cause du coût élevé de ses données a empêché le développement d'un secteur privé. L'inadaptation ou l'indisponibilité de certaines données, notamment à grande échelle, ainsi que des prix, d'acquisition ou d'utilisation, prohibitifs, ont occasionné un net ralentissement du développement du secteur de l'IG. En conséquence, le **développement du secteur de l'IG**, en France, tient beaucoup plus **à la volonté des collectivités territoriales** qu'à une véritable volonté de l'Etat et de ses services.
Depuis la mise en évidence de ces dysfonctionnements, des propositions ont été faites, afin de redéfinir le rôle de l'acteur public IGN (Lengagne, 1999). Le rapport propose, de créer une **« référence publique cohérente »** en matière d'IG nationale : « … *les utilisateurs tant publics que privés attendent de l'État la fourniture d'un ensemble cohérent d'informations à grande échelle de descriptions objectives du territoire mis à jour en permanence qui permettent le rattachement à une position géographique des informations qu'ils recueillent. Le partage, par tous, de cet ensemble cohérent constitue la première condition pour que l'information circule, soit comprise et puisse être combinée et traitée. La communauté des utilisateurs ne serait pas la seule à y trouver son intérêt* ».

Par l'évolution des technologies de positionnement, il devient indispensable de disposer **d'un Référentiel Géographique à grande Echelle (RGE)** constamment tenu à jour. L'IGN, qui a jadis couvert le territoire avec sa carte au 1/25 000e , est aujourd'hui obligé de fournir des documents à grande échelle. La DGI ne peut fournir un tel document car ce n'est pas sa vocation. A la demande des utilisateurs, une bonne articulation des tâches entre l'IGN et les services du cadastre est nécessaire.

Le rapport insiste également sur le fait que le « *besoin doit être satisfait au plus vite sur l'ensemble du territoire. Il paraît, aujourd'hui, nécessaire que l'IGN se mette en mesure de constituer cette référence sur tout le territoire national avant la fin de l'année 2005* ». La France devrait, pour rattraper son retard :

- faire évoluer son **réseau géodésique** vers un service de positionnement de précision en temps réel par satellite. Actuellement, ce projet est resté dans le domaine de la recherche ;
- disposer d'une **description physique du territoire** parfaitement qualifiée à une précision au moins métrique en milieu rural et décimétrique en milieu urbain, avec une mise à jour permanente au moins pour les éléments les plus significatifs du paysage. Comme la plupart des utilisateurs se positionnent par rapport aux objets concrets de leur espace de travail (routes, bâtiments, rivières, voies ferrées, etc), cette couche d'information doit constituer la référence géographique de la majorité des applications. L'IGN serait le producteur naturel de cette couverture physique qui n'existe pas à l'heure actuelle (Lengagne, 1999) ;
- gérer la base nationale de référence des **limites administratives**. En effet, une masse considérable d'informations administrative, économique ou sociale est attachée au découpage administratif, et les zonages statistiques établis par l'INSEE servent de base au rattachement de ces informations aux personnes et aux entreprises. Paradoxalement, aucun service de l'Etat n'a aujourd'hui pour mission de gérer cette base. Or, ces zonages participent à la référence publique et leur cohérence avec les autres éléments doit être assurée par une convention ;
- assurer la cohérence de l'**information parcellaire** (foncier) avec la réalité physique du territoire et sa continuité territoriale. Les collectivités locales, les entreprises à réseau, … utilisent la parcelle foncière comme outil premier de l'analyse. Ceci est loin d'être le cas à l'heure actuelle. Il s'agit entre autre de réaliser une remise en géométrie du **plan cadastral** et d'assurer une mise à jour numérique continue ;
- constituer une **référence nationale d'adresse postale** qui constitue l'interface de localisation la plus couramment utilisée par les administrations ou les entreprises. L'absence d'une référence nationale a conduit à la multiplication des bases de données chacune entachée d'erreurs. Chaque administration, chaque collectivité locale, chaque entreprise consacre à la vérification et à la correction de ces informations des efforts considérables qui pourraient, certainement, être employés de façon plus utile (Urbatique, 1999).

Face à ces propositions, de nombreux groupes de travail ont été constitués (en 2000), notamment, au Ministère de l'Equipement, des Transports et du Logement (METL) afin de les examiner. Par exemple, l'AFIGEO s'est chargée de « cerner » ce « minimum » que devrait fournir le producteur public national, en matière de plan de référence à grande échelle, par l'intermédiaire d'une courte enquête lancée sur Internet. D'autre part, les professionnels de la géomatique appartenant au secteur public (Etat ou collectivités territoriales) ou au secteur privé, ont aussi contribué au débat, individuellement ou par l'intermédiaire de leurs associations professionnelles. Une synthèse de ces contributions a été réalisée pour enrichir la réflexion, en mai 2000, par les représentants des Association des Ingénieurs des Villes de France (AIVF), Association Professionnelle des Consultants Indépendants en Géomatique (APCIG) et le Syndicat Professionnel de la Géomatique (SPDG). Ces réflexions ont été guidées par les attentes des utilisateurs (http://www.aivf.asso.fr).
Ces orientations ont été présentées aux utilisateurs lors d'un atelier de réflexion au Salon des Mai-

res et des Collectivités Locales (Paris, le 22 Novembre 2000). Un relevé de décisions gouvernementales daté du 19 février 2001, décrit les principales orientations retenues : le **RGE, de précision métrique**, devra comporter des **informations topographiques**, **photographiques**, **parcellaires** et de **repérage** (adresse) cohérents et continus sur l'ensemble du territoire, avec en zone urbaine dense, des objets géographiques plus diversifiés et une précision de l'ordre de 30 cm. L'IGN, producteur principal mais non exclusif, sera le gestionnaire du RGE qui devra être disponible sur l'ensemble du territoire d'ici la fin 2006, avec une mise à jour annuelle, voire mieux si possible. Il convient de préciser que la notion de référentiel n'est pas réservée aux grandes échelles. Les référentiels décamétriques et hectométrique (numériques et cartographiques) conserveront leur importance. Le détail des conclusions est repris dans l'annexe 2.1.

Notons également que dès 1994, afin d'assurer une meilleure coordination des acteurs intéressés, des **Comités Départementaux de l'Information Géographique (CDIG)** ont été institués. Ils devaient permettre, d'une part, de faciliter les collaborations entre les utilisateurs et d'autre part, d'organiser les relations utilisateurs – producteurs. Toutefois, la dynamique créée à l'époque s'est rapidement étiolée, en raison de l'inadéquation des missions des CDIG aux problèmes actuels posés dans le contexte du RGE, et de la modernisation de l'Etat, du manque de motivation des partenaires dans certains départements, et d'une sous-représentation des utilisateurs de l'IG (Salgé, 2001).

Afin de permettre aux services déconcentrés de l'état et aux collectivités locales de mieux faire ressortir l'expression de leurs besoins, un nouvel arrêté[23] a proposé d'élargir de façon importante le cercle des membres des CDIG. Celui-ci reformule leurs missions en insistant sur le suivi des opérations de mise en place des SIGU des collectivités locales et des administrations dans le département, sur la coordination des activités autour de référentiels d'IG et de leur usage. Véritable relais du CNIG au niveau départemental, les CDIG ont pour objectif de faire remonter les besoins locaux et de diffuser localement les éléments de décisions permettant de garantir le niveau requis d'harmonisation entre échelons locaux et échelons nationaux. Plus récemment (juin 2003), la commission ministérielle de l'informatique et de la bureautique mise en place par le gouvernement Raffarin, a approuvé la mise en place d'un « Schéma Directeur de l'IG » (SDIG) pour les services de l'Equipement. Dans son contenu plus précis, le SDIG reprend les principales actions engagées, portant sur les référentiels géographiques, les logiciels, l'administration des données localisées et les formations (Lauer, 2003).

Si la France a été un des premiers pays couvert en cartographie classique, ce qui lui a donné une position forte au niveau technique, scientifique ou commercial, le virage de la numérisation de l'information a été pris très(trop) tard et sa position concurrentielle s'est dégradée. Ce ne sont pourtant pas les propositions qui ont manqué (premier rapport Lengagne en 1984). A l'heure actuelle, la constitution du RGE numérique de précision métrique, adaptée à des applications locales, est « sur les rails ». Sa réalisation complète est prévue d'ici à 2006-2007. Les référentiels à moyenne et à petite échelle, élaborés sur les bases GEOROUTE® et BD CARTO®, de précision décamétrique et hectométrique, conservent toute leur importance en ce qui concerne les applications autres que locales. Ceci nous amène à étudier la situation du secteur de l'IG et la constitution d'un référentiel à grande échelle, dans les autres pays européens de développement économique comparable.

[23] Arrêté du 4 mars 2002 portant modification de l'arrêté du 19 décembre 1994 instituant dans chaque département un Comité Départemental de l'Information Géographique, paru dans la Journal Officiel n°60 du 12 Mars 2002.

2.1.2.2 La situation dans les autres pays d'Europe, une avance sur la France ?

Dans divers pays européens, des programmes visant à disposer de bases de données numériques tant pour les données de base que pour les données thématiques (cf. § 1.1.3) ont partout été engagés, mais les modalités et les degrés d'avancement sont très différents d'un pays à l'autre. Dans un premier temps, cinq « marchés » peuvent être différenciés sur la base de leur taille, de leur dynamisme et où les perspectives de croissance sont les meilleures : le **Royaume-Uni, l'Allemagne, l'Espagne, les Pays-bas et la Suède** (Coopers&Lybrand Consultants, 1997). La situation dans les autres pays européens est ensuite présentée en fonction des informations disponibles.

2.1.2.2.1 Etat des lieux dans les cinq « marchés » européens les plus dynamiques

Comme pour la France, la production de l'IG par le secteur public (source d'informations de référence dans chaque pays) est centralisé au niveau national dans la plupart de ces pays (sauf en Allemagne où il est délégué à chaque Land). En Grande Bretagne, en Suède, et en Allemagne, un même organisme a en charge l'ensemble de cette production publique. En Espagne et aux Pays-Bas, les différentes fonctions sont exercées, comme en France, au sein d'organismes distincts.

Cette IG publique est payante dans tous les pays européens car les organismes ont obligation de percevoir des recettes, mais les prix sont très variés à l'échelle européenne. Par exemple, les tarifs proposés par *l'Ordnance Survey* britannique sont comparables à ceux de l'IGN. Mais là où l'organisme britannique favorise les abonnements pour garantir une récurrence de ses ressources et faciliter la dissémination de ses données pour ses gros clients avec des prix quasi indépendants du nombre de postes, l'IGN recherche la recette annuelle maximale et s'interdit pratiquement, par ses règles de tarification, de vendre aux gros utilisateurs que sont, par exemple, les gestionnaires de réseaux (Lengagne, 1999). Au début de l'année 2003, une initiative prise de l'Institut de Cartographie de Catalogne (Espagne), propose d'acquérir ces bases de données (raster ou vecteur) à un coût très peu élevé de l'ordre de 10 € HT le CD. Cas unique, ces données sont accessibles gratuitement aux États-Unis dès lors qu'elles sont d'origine fédérale (cf. § 2.1.3).

A. Les données de base et leur mode de production

Dans les cinq pays, le **réseau géodésique** relève d'un organisme public national. L'**Allemagne** a engagé la réalisation d'un réseau géodésique « actif », formé d'un petit nombre de stations diffusant des données GPS, tandis que plusieurs fournisseurs privés proposent leurs propres services de diffusion. L'*Ordnance Survey*, au Royaume-Uni, a lancé en décembre 2000 un programme d'amélioration de la précision de la position des cartes au 1/2500^{e} à l'aide du système GPS.
Les **limites administratives** sont disponibles sous forme numérique, dans les cinq pays. La disponibilité d'une **référence** rattachant les **adresses postales** à une position géographique constitue également une caractéristique commune de ces cinq pays. Cette référence « adresse », qui peut passer, comme aux **Pays-Bas** ou au **Royaume-Uni** (produit Adresse-point) par un code postal identifiant des zonages de très petite taille (du district au secteur : équivalent de l'îlot), ou comme en **Allemagne** par un fichier normalisé des adresses géoréférencées par des sociétés de service, permet la localisation géographique de quantités considérables d'informations économiques et statistiques dans les systèmes des utilisateurs. Elle favorise le développement d'applications de mercatique ou d'analyse de clientèle au sein des entreprises. Ceci se traduit par une gamme d'utilisation beaucoup plus large qu'en France où aucune référence commune de ce type n'existe aujourd'hui (cf § 2.1.2.1).

La couverture du territoire en **informations numériques de précision métrique** (bases de **données topographiques)** relève des instituts cartographiques nationaux ou régionaux comme en Allemagne, à l'exception dans certains cas des grandes échelles qui sont souvent réalisées par les collectivités locales ou territoriales (Allemagne, Espagne). La couverture est complète au Royaume-Uni, en Allemagne et aux Pays-Bas. L'Espagne, pour des raisons historiques, est de ce point de vue, le moins favorisé des pays étudiés. Le CNIG espagnol produit des données numériques mais à des plus petites échelles du 1/25 000e au 1/1 000 000e. La Suède a un programme dynamique à l'origine des perspectives de croissance du marché.

Plus précisément, au **Royaume-Uni**, l'*Ordonance Survey* produit des bases de données topographiques à grande échelle sur tout le territoire (produit Land Line), au 1/1250e en zones urbaines, au 1/2500e en zones rurales et au 1/10 000e pour des zones naturelles de collines. Un des objectifs est d'assurer une mise à jour tous les six mois et d'enrichir progressivement la base de données ainsi constituée. En **Suède** un programme similaire est en cours. En **Allemagne**, la base de données topographiques ATKIS (1/10 000e) couvre l'intégralité du territoire fédéral (produit réalisé en l'espace de cinq ans de 1990 à 1995). La priorité ayant été accordée, dans un premier temps, à une couverture géographique rapide au détriment de la densité d'informations (environ 80 classes d'objets). Depuis lors, cette base de données a été complétée (une centaine de classes d'objets supplémentaires). Cette production rapide a été facilitée par un recours massif à la sous-traitance. Aux **Pays-Bas**, le gouvernement a lancé une opération systématique qui a permis de disposer d'une couverture métrique complète (1/10 000e finalisée en 2000). En **Espagne**, il n'existe pas de programme national : les données numériques à grande échelle ne sont disponibles que dans certaines villes ou provinces.

La **numérisation du plan cadastral** est engagée dans ces cinq pays. Elle est achevée, depuis 1998 en **Suède** (1/400e au 1/5000e), et depuis 2001 aux **Pays-Bas** (1/1000e). Dans ces deux pays, il existe une très forte liaison entre le plan cadastral et la base de données topographiques. En **Suède**, le Cadastre et l'Institut Cartographique ont fusionné en 1994 et aux Pays-Bas les données topographiques à grande échelle relèvent d'une filiale de l'Office du Cadastre. Le **Royaume-Uni** n'a pas de plan cadastral national, mais les limites parcellaires matérialisées sur le terrain apparaissent sur les plans à grande échelle de l'*Ordnance Survey* (produit Super plan). En **Allemagne,** 75% du plan cadastral (géré au niveau des Länder) est actuellement numérisé (1/1000e). L'intégration avec les bases de données topographiques au format ATKIS a été décidée mais reste à réaliser. En **Espagne**, 80% du territoire est couvert du 1/500e au 1/1000e en zones urbains et du 1/2000e au 1/5000e en zones rurales (http://www.eurocadastre.org).

Des **photographies aériennes** (et **orthophotographies**) et des **images satellites** sont proposées dans les cinq pays, ce qui a permis le développement d'une industrie de prestation de services efficaces. La production d'orthophotographies sur mesure connaît une croissance importante dans ces pays. Ces orthophotographies sont proposées sur étagère[24] dans certaines villes du **Royaume-Uni** et dans quelques villes allemandes (1/5000e au 1/10 000e). La **Suède** possède une couverture orthophotographique de tout le pays depuis 1994, à partir de prises de vues aériennes allant du 1/30 000e au 1/60 000e. L'**Espagne** dispose d'orthophotographies numériques du 1/2000e au 1/5000e (pixel de 25 cm) sur quelques grandes villes.

[24] Un produit « sur étagère » est un produit à valeur ajoutée prêt à l'emploi (pas de délais de production).

B. Les données thématiques

Le Royaume-Uni semble avoir pris beaucoup d'avance dans le domaine des données socio-économiques et des bases de données pour le géomarketing. Les sociétés anglaises *Experian, Equifax, CACI* dominent le marché européen. Dans les cinq pays, l'offre se développe rapidement malgré les difficultés d'accès à certaines données (notamment pour les données susceptibles de porter atteinte à la vie privée) ou le manque d'outils de géoréférencement adaptés (découpages zonaux). Des bases de données routières, nécessaires pour les aides à la navigation, sont en cours de développement dans tous les pays sous contrôle des grands acteurs industriels Télé Atlas (lié à Bosch) et NavTech (lié à Philips). Ces bases sont achevées aux Pays-Bas et en Allemagne et en voie de l'être dans les autres pays. Aux côtés de ces grands acteurs industriels, de nombreux éditeurs de cartes routières et de guides coexistent. Ils produisent des plans de ville numériques et des guides multimédia sur CD ROM, qui peuvent être utilisés en complément des pages jaunes, sur des bornes multimédia ou par des services en ligne. Ces éditeurs sont particulièrement nombreux au Royaume-Uni et en Allemagne.

Signalons également que depuis 1995, la création de structure nationale d'IG, au Royaume-Uni (**National Geospatial Digital Framework)** et aux Pays-Bas (**National Geo-Information Infrastructure)** est en cours de réflexion. Leur objectif est de révolutionner la manière de gérer et d'utiliser l'IG en facilitant l'accès à l'IG, en encourageant les utilisateurs à l'utiliser dans tous les domaines d'application, et en développant des normes de standardisation et d'échanges. Au **Royaume-Uni**, depuis 2001, le NGDF est accessible sur le site Internet de l'*Ordnance Survey*.
A côté de ces cinq pays considérés comme les plus dynamiques dans ce secteur, d'autres pays européens ont récemment investi dans ce secteur d'activité.

2.1.2.2.2 Etat des lieux dans les autres pays européens

La situation actuelle dans les pays européens, considérés comme des « marchés » moins dynamiques, est présentée dans les paragraphes suivants. Les pays sont abordés par ordre alphabétique.

En **Belgique**, l'Institut Géographique National est chargé de la production des cartes topographiques numériques du territoire au 1/10 000e, 1/20 000e et 1/50 000e. Actuellement, le 1/10 000e couvre 35 % de tout le territoire (zones les plus densément peuplées). Les autres échelles sont des généralisations du 1/10 000e. Seule la carte au 1/250 000e couvre l'ensemble du territoire. L'ajustement du réseau géodésique a été réalisé par GPS sur tout le territoire. Tous les 5 ans, une couverture orthophotographique du pays est réalisée au 1/21 000e. Les autres données de base sont gérées au niveau des régions :

- la **région de Bruxelles-Capitale** dispose de bases de données numériques avec les limites administratives, les adresses, le réseau routier/ferré, exploitables du 1/1500e au 1/100 000e, ainsi qu'une couverture orthophotographique au 1/1500e. La base de données topographiques (1/500e) couvre la moitié nord de la Région (National report on cartography in Belgium, 1999) ;
- la **Région Wallonne** a débuté en 1992, un *Projet Informatique de Cartographie Continue* (PICC[25], équivalent d'une base de données topographiques). Il s'agit d'un fond de plan de référence, numérique et tridimensionnel, au 1/1000e couvrant à l'heure actuelle (juin 2003) 60% de la

[25] Les données cartographiques sont produites par la digitalisation d'objets dans les modèles stéréo-photogrammétrique reconstitués grâce à l'exploitation de photographies aériennes N/B dont l'échelle varie entre le 1/4000e et le 1/6000e (précision de 25 cm en X, Y et Z).

Région Wallonne (sillon Sambre et Meuse). Les données géographiques sont produites sur la base de l'exploitation de photographies aériennes dont l'échelle varie entre le 1/4000e et le 1/6000e. Le fond de plan devrait être achevé vers 2005-2006. Des données au 1/5000e et 1/10 000e sont générées à partir de cette base. Le projet est réalisé en partenariat avec des sociétés privées et le secteur public. La région Wallonne possède également d'une « *Base de Références Cartographiques de la Région Wallonne» (BRIGIT)*, coordonnée par le Ministère Wallon de l'Equipement et des Transports et composée d'éléments géographiques, informatisés et tridimensionnels. Cette base devient le référentiel cartographique de la Région. En 2001, la région wallonne a également débuté la vectorisation de tous les plans cadastraux. Cette opération qui doit se terminer en 2003, permettra d'élaborer un *Plan de Localisation Informatique (PLI*). Mise en place par la Direction Générale des Pouvoirs Locaux (DGPL), la Région est également en train de terminer une couverture en orthophotographies numériques couleurs (2001), avec une précision variant entre 40 et 80 cm, regroupées dans une base appelée Plans Photographiques Numériques Communaux (P.P.N.C) ;

- la **région Flamande** a débuté, en 2000, un projet du même type que le PICC et la vectorisation des plans cadastraux en 1999. Une décision de mise en place d'une infrastructure de données géographiques a été décidée, à échelle moyenne en 1996, et à grande échelle en 1998.

En **Italie**, la base de données cadastrales constitue la référence à grande échelle : 70% du territoire est couvert au 1/2000e, 28% au 1/000e et la plupart des grandes villes au 1/500e. A l'heure actuelle (2003), environ 40% du cadastre est numérisé. La partie nord du territoire est couverte à moyenne échelle (1/5000e au 1/10 000e). Une orthophotographie métrique en N/B des ces régions est également disponible. Le programme national « *Italia 2000* » qui a débuté en mai 1998, prévoit de compléter l'orthophotographie sur tout le territoire à une résolution métrique, à un coût raisonnable (URBANDATA, 1999). Les bases de données des toponymes et des limites administratives sont disponibles sur tout le territoire à plus petite échelle (1/25 000e). Des bases de données thématiques sont également disponibles à petites échelles (du 1/25 000e au 1/250 000e). Signalons que, contrairement à la France, plusieurs organismes produisent les données à différentes échelles, excepté pour les grandes échelles, où le cadastre est le seul opérateur. Depuis 1996, des réflexions[26] sont en cours afin de disposer, comme en France, d'un référentiel de données géographiques à différentes échelles, et de normes de standardisation, à grande échelle avec les données cadastrales et une couverture orthophotographique métrique, et à moyennes et petites échelles avec une orthophotographie au 1/10 000e et des bases de données du 1/10 000e au 1/250 000e. Depuis juin 2003, le gouvernement italien a mis en ligne[27] une partir de ces bases de données.

Au **Portugal**, le SNIG (Système National pour l'IG) a créé son propre site Internet qui permet d'accéder à l'IG produite par les agences publiques nationales. L'information, cataloguée est souvent disponible gratuitement. Les utilisateurs peuvent également trouver les dernières innovations et organismes associés à l'IG. Le SNIG est une infrastructure coordonnée par le CNIG portugais. Depuis 1995, la totalité du territoire est couverte par une orthophotographie numérique avec un pixel de 25 cm (1/5000e au 1/10 000e).

En **Suisse,** l'Office National de Topographie a mis à jour, depuis 1989, la *Carte Nationale Numérique Topographique* au 1/25 000e sur l'ensemble du territoire. Il assure aussi la production des cartes topographiques du 1/50 000e au 1/1 000 000e. Depuis 1999, la direction fédérale des mensurations cadastrales est intégrée à l'*Office Fédéral de Topographie*. Une base de données toponymiques, un MNT, et des orthophotographies couvrent l'ensemble du territoire suisse. Les cantons sont respon-

[26] (www.gisform.it/attivita/gis/sintesi.htm).
[27] (www.atlanteitaliano.it).

sables de la production de données à grande échelle. Par exemple, le Canton de Genève[28] possède un plan numérique d'ensemble à l'échelle du 1/2500e (réalisée à partir du scannage des cartes), ainsi qu'une orthophotographie (1996), utilisable à partir du 1/1500e (pixel de 75 cm). Le canton de Vaud[29] dispose d'un plan cadastral numérisé sur 60% du territoire du canton (saisi au 1/500e et 1/1000e), ainsi qu'une orthophotographie (1996).

Dans les **pays de l'Est**, en Slovénie, Tchéquie, et Hongrie, de nombreux projets sont en cours pour la construction d'infrastructure de données nationales telles que le **Metainformation Database System** (MIDAS) en Tchéquie (depuis 1998), ou le **National Spatial Data Strategy** (NSDS), en Hongrie. Ces différents pays disposent de données numériques de base (à partir de données scannées), provenant des producteurs nationaux (Ministère et Agence de Cartographie). La Slovénie dispose d'un catalogue des données géographiques numériques nationales[30] accessible à partir d'Internet. Une base de données géodésiques, élaborée notamment à l'aide de GPS est disponible sur presque tout le territoire, ainsi que des orthophotographies de résolution métrique sur 80% du territoire, des limites administratives au 1/5000e (précision métrique), des toponymes du 1/5000e au 1/10 000e, et des cartes topographiques scannées du 1/25 000e au 1/75 000e, sur tout le territoire.
Peu d'informations existent sur les autres pays européens. Analysons maintenant la situation du Canada et des Etats-Unis, pionniers dans le développement de ce secteur d'activité où l'IG est une priorité de leur politique gouvernementale.

2.1.2.3 L'IG, un secteur prioritaire en Amérique du Nord ?

L'Amérique du Nord est pionnière en matière de technologie de l'information, des producteurs, aux utilisateurs. L'analyse des mécanismes et des règles de diffusion des données de base, qui fonctionnement depuis plusieurs années, nous permet de les différencier de la situation européenne.

2.1.2.3.1 Le Canada, initiateur d'un « marché de la géomatique » ?

Le **Canada**, et en particulier la province de **Québec**, est le pays du monde où la géomatique, en tant que secteur d'activité identifié, est la plus développée (Roche, 1995). Dans la province du Québec, ce processus de développement s'est déroulé en plusieurs étapes.

La première étape, comme en France, coïncide avec l'arrivée des **premiers outils de DAO/CAO** (**années 70**). Déjà à cette époque, un projet de réforme cadastrale est en cours de réflexion et un nouveau projet de plan cartographique à petite échelle (1/20 000e) et de cartographie urbaine à grande échelle (1/200e) est voté.

Contrairement à la France, la deuxième étape, dans les **années 80**, est marquée d'une part, par le développement de ce **programme de cartographie**, à grande échelle (1/1000e et 1/2000e), en collaboration avec le secteur privé, et d'autre part, par la décision d'implanter un **Plan Géomatique Gouvernemental** (PGGQ), élaboré suite au constat des problèmes de redondance d'informations, et d'incohérence. Durant ces années, les technologies se sont diffusées dans différents secteurs professionnels (géographes, cartographes, arpenteurs géomètres, ingénieurs forestiers) et dans les

[28] (www.sitg.ch).
[29] (www.geoplanet.vd.ch).
[30] (www.sigov.si :81/giceng/index-1.html).

formations universitaires[31] (Roche, 1997).

La troisième étape (**début des années 90**) correspond à la **naissance de la géomatique**, comme un nouveau secteur d'activité (à l'heure actuelle, la France est seulement à ce stade). A cette période, les premières actions du PGGQ ont consisté en des opérations de numérisation des grandes bases de données. En 1992, le gouvernement du Québec a approuvé le programme de réforme cadastrale de la Direction Générale du Cadastre (DGC) et les premiers travaux de rénovation ont débuté en 1994, en coopération avec le secteur privé (phase finale en 2006-2007). Le plan cadastral, comme en France, constitue la référence de base en matière de découpage territorial, et doit pouvoir être superposé à d'autres cartes thématiques (topographie, réseaux de services publics, ..). Il sera mis à jour automatiquement et disponible sur Internet.

Depuis, la géomatique ne cesse de s'affirmer comme un secteur d'activité économique, en pleine croissance. Rattachée au domaine des technologies de l'information sur le plan stratégique, la géomatique est une des **priorités des gouvernements fédéral et provincial** qui doivent gérer un territoire immense, porteurs de ressources naturelles qui constituent une des richesses majeures du pays. Actuellement, les objectifs du PGGQ sont d'accroître l'échange des données entre les différents ministères et les organismes publics et de soutenir les initiatives des institutions publiques dans leurs révisions de leurs méthodes de travail. La constitution de ce plan a permis d'ouvrir un espace de dialogue entre les différents usagers et constitue donc une structure de concertation similaire au CNIG français.

Au niveau fédéral, une **Infrastructure Canadienne de Données Géospatiales** (ICDG) a été décidée en 2001. La mise en œuvre du ICDG s'effectue sous la responsabilité de GéoConnexions, entreprise intergouvernementale (fédérale, provinciale et territoriale), privée et universitaire dont les objectifs sont de favoriser l'accès aux données géographiques par l'établissement d'un cadre politique susceptible d'encourager la plus vaste utilisation possible de cette information.
Dans la province de Québec, un programme de modernisation de l'**Infrastructure Québécoise d'Information Géographique de Référence** (IQIGR) vient d'être mis en place par le PGGQ (2001/2002). Ce programme vise à fournir des données géographiques de qualité, fournies par des producteurs officiels, et adaptés à la gestion du territoire et aux besoins des partenaires et des divers groupes de la clientèle gouvernementale et non gouvernementale.

La production des données de référence s'effectue à la fois au niveau fédéral et au niveau provincial. Au niveau **fédéral**, l'organisme « *Géomatique Canada* » regroupe l'essentiel des interventions du gouvernement canadien en matière de levés, de cartographie et de télédétection.
Au niveau **provincial**, la production des données de base, à des plus grandes échelles dépend des services du Ministère des Ressources Naturelles**.** Dans la Province de Québec, toutes ces données sont disponibles à partir d'un organisme spécifique, la **Photocartothèque Québécoise[32]**, chargée de la diffusion de l'information et de la gestion de services spécialisés (prise de vue aérienne, projet géomatique, production de cartes thématiques).

Ainsi, une véritable architecture raisonnée s'est progressivement mise en place : les données à petites échelles sont produites au niveau fédéral et les grandes échelles au niveau provincial. Les données de base sont déjà constituées, au niveau fédéral, sur l'ensemble du territoire et rassemblent,

[31] Le Laboratoire Géomatique de l'Université de Laval (Québec) a été créé durant cette période. Cette initiative a été suivie par plusieurs autres universités dans les provinces anglophones du Canada, aux Etats-Unis et dans certains pays d'Europe dynamiques dans ce secteur, comme par exemple, les Pays-Bas.
[32] (www.mrn.gouv.qc.cq/photocartoteque/produits.html)

comme en Europe, les données géodésiques, cartographiques (topographie, toponymie), et l'information relative à l'image. Par rapport à l'Europe, l'image tient une place plus importante en raison de la taille du territoire national. Par contre, les données relatives au cadastre et aux adresses postales sont gérées au niveau provincial (cf. ci-dessous). L'annexe 2.2 détaille les données gérées au niveau fédéral, et au niveau provincial.

2.1.2.3.2 Les Etats-Unis, précurseurs de politiques globales de diffusion des données ?

Le gouvernement américain est très innovateur dans le développement des technologies de l'IG à des fins militaires et, de façon indirecte, à des fins civiles. Ce pays s'est doté très tôt (début des années 90) de politiques globales en matière de diffusion de données, contrairement au Canada et aux pays d'Europe où les projets de politiques globales viennent de débuter. Il s'est aussi doté de leviers d'actions efficaces pour s'assurer que ces politiques soient implantées rapidement (Rochon, 1999) :

(1) un cadre juridique général avec la loi d'accès à l'information publique « Freedom of Information Act and the Privacy Act » ;
(2) un cadre administratif et réglementaire avec la création du Federal Geographic Data Committee (FGDC) ;
(3) un plan d'intervention clair avec la création du National Spatial Data Infrastructure (NSDI) ;
(4) un cadre de concertation qui favorise l'organisation et le financement d'organismes parapublics comme l'OpenGIS.

Le **National Mapping Program** (NMP) de la **National Mapping Division** (NMD), créé au début des années 80, par le regroupement de l'ancienne division topographique du Programme géographique de l'**United States Geological Survey** (USGS) et du **Systèmes d'Observation de Ressources Terrestres** (EROS), est chargé de fournir les données géographiques, cartographiques et d'observation de la terre. Il doit assurer un service d'assistance technique et conduire des recherches pour répondre aux besoins des utilisateurs. Son rôle est de fournir des cartes topographiques à jour et d'assurer à la nation l'accès aux données géographiques de base au format numérique pour répondre aux besoins des utilisateurs.

En 1983, le NMD a débuté l'informatisation automatique des cartes topographiques. En 1984, un SIG national est mis en place et l'année suivante un laboratoire de recherche spécialisé en SIG est créé pour aider l'USGS dans ses missions et pour effectuer un transferts des technologies vers les autres utilisateurs (gouvernements et organismes fédéraux, locaux, ...). L'USGS est ainsi le fournisseur public de données géographiques et le prestataire de services pour résoudre les problèmes liés à la gestion des ressources naturelles. La couverture topographique nationale à l'échelle standard du 1/24 000^{e} a été achevée en 1990. Une réflexion sur le rôle ultérieur de la NMD a eu lieu.

Dans ce cadre, le **National Spatial Data Infrastructure** (NSDI) est créé en 1994 par l'administration Clinton (correspond à l'ICDG au Canada). Cette initiative américaine a pour objectifs de :

- d'établir un plan, le **National Digital Geospatial Framework** (NDGF), de création et de maintien d'une base nationale de données géospatiales, pour janvier 1998. Cette infrastructure doit permettre à tout citoyen d'accéder à l'IG de base pour supporter les applications du secteur privé et public dans des domaines tels que les transport, l'agriculture, la gestion de l'environnement et la technologie de l'information ;
- de créer un organisme de coordination, le **FGDC**, responsable de la mise en oeuvre du NSDI. Son mandat est d'édifier d'une part, un mécanisme de diffusion des données géospatiales

(création de normes et mise en place du **National Geospatial Data Clearinghouse**), et d'autre part de concevoir un plan d'intervention pour s'assurer que l'inforoute soit utilisée par tous, de l'administration générale aux simples citoyens (politique nationale et procédures d'accès aux données)

Une grande quantité de producteurs de données de base alimentent le **National Geospatial Data Clearinghouse** en données géographiques de base et en logiciels de traitements d'image et de modélisation. Le plus important est l'USGS dont le mandat est de créer et de maintenir à jour la base cartographique nationale à petite et moyenne échelles (jusqu'au 1/24 000e). Les données disponibles par l'intermédiaire du serveur de l'USGS sont détaillées à l'annexe 2.3.

2.1.3 Conclusion

L'étude du développement du secteur de l'IG dans les différents pays (européens et américains), par l'analyse de la production des données de base numérique par le secteur public, a montré que le secteur est en pleine expansion. Cependant, si ce développement est général, la comparaison du taux de croissance par pays (Annexe 2.4) montre des différences considérables de 10% à plus de 30% (Lengagne, 1999).

L'analyse historique des **causes de ces différences de développement** montre que, si dans chaque pays, il existe un **acteur public dominant** (l'IGN en France, l'USGS aux Etats-Unis, l'Ordnance Survey au Royaume-Uni, …), le positionnement de cet acteur et la nature de son offre influent fortement sur le dynamisme de l'activité. L'Etat dispose par le biais de cet acteur public d'un levier essentiel qui peut lui permettre de favoriser la croissance.

De manière générale, les **obstacles** au développement de ce secteur sont les **mêmes** dans l'ensemble des pays européens : au delà du problème de **l'insuffisante sensibilisation** à l'intérêt de l'IG, les obstacles principaux sont, dans l'ordre, **l'indisponibilité ou l'inadaptation de certaines données**, les **prix** d'acquisition et les coûts d'utilisation des données. Il faut y ajouter l'hétérogénéité du marché européen et l'effet de certaines mesures légales et réglementaires (Coopers&Lybrand, 1997).

Le tableau 2.1 résume la situation des principaux pays analysés, d'après le critère de disponibilité des données de bases numériques sur le territoire national (données produites par le secteur public). Le classement établi confirme l'avance du continent américain et de certains pays d'Europe sur la France.

Le tableau 2.2 résume la situation des pays analysés, en termes de politique de diffusion de l'IG (accès et loi de protection) et de réflexion sur le mise en place d'une structure nationale de l'IG.

Tableau 2.1 - Classement des pays selon la disponibilité des données numériques de base.

Pays	Topographie	Cadastre numérique	Adresse	Limites administratives	Topo-nymes	Ortho-photos	Géodésie (GPS)
Etats-Unis	1/24 000e tout le territoire	1/200e 78% territoire	NON	OUI	OUI (45% territoire)	OUI (partiel)	OUI
Canada	1/50 000e tout le territoire 1/25 000e provincial	1/500e au 1/1000e (selon les provinces)	NON	OUI	OUI	OUI (partiel) (60%)	OUI
Royaume-Uni	1/ 1250e 1/2500e 1/10 000e tout le territoire	1/1250e 1/2500e 1/10 000e tout le territoire	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Pays-Bas	1/10 000e tout le territoire	tout le territoire	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Allemagne	1/10 000e 1/25 000e tout le territoire	1/500e au1/5000e en cours de numérisation (75% territoire)	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
Suède	1/10 000e tout le territoire	tout le territoire	NON	OUI	OUI	OUI	OUI
Espagne	1/25 000e 1/50 000e tout le territoire	1/500e au 1/1000e (urbain) 1/2000e au 1/5000e (rural) 80% du territoire	NON	OUI	OUI	OUI	OUI
France	1/25 000e 25 % du territoire	1/500e 1/1000e en cours de numérisation	NON	NON	OUI	OUI 30 % territoire	NON

Tableau 2.2 - Classement des pays selon leur politique de diffusion de l'IG.

Pays	Couverture nationale en IG à grande échelle	Gratuité de l'IG	Protection (Copyright)	Structure nationale « Framework »
Etas-Unis	partiel	Oui	Non	Oui
Australie	partiel	Oui	Oui	Oui
Canada	partiel	Non	Oui	Oui
Royaume-Uni	Oui	Non	Oui	Oui
Pays-Bas	Oui	Non	Oui	Oui
Allemagne	Oui	Non	Oui	Non
Suède	Oui	Non	Oui	Non
France	Non	Non	Oui	réflexion
Espagne	Non	Non	Oui	Non
Europe	Non	Non	Oui	projet

La comparaison des grandes étapes de développement du secteur de l'IG en France, au Canada et aux Etats-Unis met en évidence le retard de la France : (1) dans la constitution d'IG numérique à grande échelle, et (2) dans l'utilisation des logiciels SIG et la prise de conscience de l'existence d'un « secteur géomatique » (Figure 2.2).

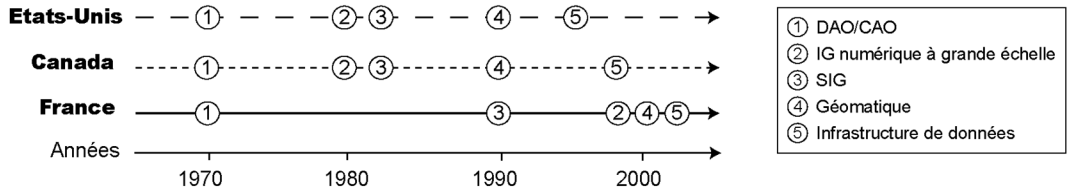


Figure 2.2 – Etapes de développement de l'IG en France, au Canada et aux Etats-Unis.

En effet, dans le cas de la France, le **développement du secteur de l'IG**, tient beaucoup plus des **collectivités territoriales** qu'à une véritable volonté de l'Etat et de ses services. Comme nous l'avons souligné, l'absence de référentiel national et le manque de complémentarité entre les producteurs de données publics (IGN et DGI), et privé, ont occasionné un net ralentissement de son développement. Cette situation a obligé les utilisateurs, et notamment de nombreuses grandes villes, à construire et à entretenir par eux-mêmes leurs propres bases de données. Or, à l'image de l'Ordonnance Survey en Angleterre ou de l'Office de Cartographie Suédois, il semble que **l'impulsion donnée par un bon office public de cartographie**, ainsi que la constitution de **données de bases à grande échelle**, soient indispensables à la modernisation et au développement de ce secteur (Véler, 2000).

A l'heure de la SI et avec le développement des Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication, il est indispensable que la France développe une véritable « industrie géomatique » française. Pour cela, elle doit être consciente des **enjeux de l'IG numérique** en général et des **données images** en particulier. En effet, l'apport des nouvelles technologies risquent de faire évoluer et de modifier, d'une part, la demande des utilisateurs en Aménagement du territoire et en Urbanisme et d'autre part, les moyens de production des « offreurs ». Il s'agit de comprendre quelles peuvent être leurs répercussions sur la demande des utilisateurs et sur l'offre en IG numérique.

La section suivante (2.2) est consacrée à la mise en évidence des enjeux de l'IG numérique dans la SI et avec l'utilisation croissante des NTIC. Plus précisément, nous allons nous intéresser aux données d'origine publique car elles constituent un levier d'action essentiel pour la construction de la SI, et à leur structuration en « infrastructure de données » à tous les niveaux d'intervention sur un territoire, du local au global (§ 2.2.1). Ensuite, dans ce contexte d'évolution, les enjeux de l'image pour les aménageurs et les urbanistes, sont présentés au paragraphe 2.2.2.

2.2 LES ENJEUX DE L'IG DANS LA SOCIETE DE L'INFORMATION ET LES NOUVELLES TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION ET LA COMMUNICATION POUR L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE ET L'URBANISME

Le paysage industriel du monde développé a connu de grandes mutations, ces dernières années par la libéralisation des télécommunications, l'explosion de l'Internet et une vague croissante de fusions entre les sociétés d'informatique, de médias et de télécommunications qui ont entraîné la naissance de la **Société de l'Information (SI)**. Son développement est un des objectifs politique principal de l'Union Européenne depuis que le Traité de Maastricht en 1993 a donné à l'Union la responsabilité de soutenir l'intégration des réseaux européens dans le domaine des transports, de l'énergie, et des télécommunications. Depuis lors, le terme de SI est utilisé pour désigner l'ensemble des politiques, des initiatives, et des investissements requis pour amplifier la croissance économique et la compétitivité, et pour soutenir le développement d'une société basée sur la création et l'utilisation d'informations, de produits, et de services. Cette « nouvelle citoyenneté » de la SI passe par la maîtrise des outils des **Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication (NTIC)**, dont l'IG est partie intégrante.

L'origine des NTIC remonte aux **années 60**, qui ont vu le développement de l'informatique de gestion. Les **années 70** correspondent aux débuts de la robotique (automatisation de la production) et les **années 80** au développement de la micro-informatique et des réseaux. On parlait jusqu'alors des Nouvelles Technologies de l'Information (NTI). Au cours **des années 90**, est apparue la nouvelle « planète » des NTIC, issue du mariage de l'informatique, de l'électronique, des télécommunications et de l'audiovisuel. Elles correspondent à toutes les technologies informatiques qui permettent d'échanger des documents numérisés réopérables, et engendrent par conséquent de nouveaux comportements. Elles englobent plusieurs composantes : techniques, organisationnelles et sociales. En facilitant la communication et la coopération entre les acteurs, les NTIC permettent de capitaliser des savoir-faire et des savoirs, d'enrichir les informations en même temps qu'elles sont échangées et modifiées. Les habitudes de travail et les comportements évoluent en même temps que les modes d'organisation (Dechaume, 2000).

En France, dans le prolongement du discours de Lionel Jospin[33], un programme d'action gouvernemental « *pour faire entrer la France dans la société de l'information* » a proposé à la fois une démarche et une série d'actions susceptibles de favoriser le déploiement des NTIC et, à travers elles, le développement d'une industrie géomatique française à la hauteur des enjeux. Lors du premier comité interministériel pour la SI (janvier 1998), le Gouvernement a lancé le **Programme d'Action Gouvernemental pour la Société de l'Information (PAGSI**), preuve d'un engagement fort afin de mobiliser et soutenir tous les acteurs de la SI : entreprises, collectivités locales, associations (Mandelkern, 1999). L'Etat doit en particulier donner l'exemple par des actions concrètes dans les administrations.

Depuis 1998, les NTIC ont opéré un virage à 90°. Leur ancêtre, le minitel, a apporté une première culture en donnant un accès à des services sur écran (navigation, messagerie…). Les raisons de ce changement sont multiples et s'opèrent à l'échelle européenne : le document électronique est devenu multimédia (il peut intégrer textes, images, photos, son, vidéo), les capacités de stockage de

[33] Discours prononcé le 25 août 1997 à l'Université d'été de la communication à Hourtin (www.parti-socialiste.fr/tic/action_dates.php).

données ont considérablement augmenté, notamment avec l'apparition des CD-Rom, les standards, protocoles et systèmes d'exploitation se sont imposés et à moindre coût, sous la pression des utilisateurs, l'ergonomie des outils informatiques s'est améliorée, la rapidité de débit a augmenté (Dechaume, 2000).

Le monde de l'informatique s'est rapproché de celui des télécommunications et de l'audiovisuel (Melka et Nayman, 2003). L'accessibilité généralisée aux réseaux a ouvert la voie à de nouvelles manières de travailler en groupe, à distance, en différé et à partager des informations communes. Les NTIC améliorent le partage des informations internes et externes. L'acte de produire et d'échanger des données informatiques a dorénavant pour objet : la productivité, pour automatiser des tâches et favoriser la coopération d'équipes et la coordination de la qualité.

L'émergence d'une SI ouvre de vastes perspectives. L'**enjeu économique** est évident. L'industrie du multimédia (informatique, télécommunications et audiovisuel), constitue désormais l'un des moteurs de la croissance et un gisement d'emplois. Aujourd'hui, la part des technologies de l'information dans l'économie mondiale est plus importante que celle du secteur automobile (Lengagne, 1999). A une échelle plus locale, les enjeux stratégiques des NTIC sont de mieux gérer la collectivité urbaine et son environnement, et de donner à tous l'accès à l'information et à l'éducation.

L'**information** devient une **richesse stratégique**, une des conditions de la compétitivité d'un pays. L'information émanant du secteur public est une ressource de toute première importance sur le plan du contenu et présente un grand potentiel économique. L'**accès à ces données publiques** est un des enjeux primordiaux de la SI sous réserve de la construction d'une industrie de l'information forte et concurrentielle, en Europe. Dans ce contexte, il nous est apparu essentiel d'étudier les conditions nécessaires au développement d'une offre pertinente sur un marché en forte croissance où les acteurs européens sont trop peu présents.

Que représentent ces données publiques ? Et pourquoi l'IG émanant du secteur public est-elle une des ressources clés pour l'entrée de la France et de l'Europe dans la SI ? C'est ce que nous allons développer dans le paragraphe suivant.

2.2.1 L'IG émanant du secteur public : une ressource clé pour l'entrée de l'Europe dans la SI ?

La notion de **secteur public** ne correspond, en droit français, à aucune définition préétablie. Usuellement, le « service public » désigne « *une activité d'intérêt général exercée par une personne publique ou sous le contrôle d'une personne publique et suivant un régime dérogatoire au droit commun* » (Lummaux, 1999). En droit communautaire la notion de secteur public a un sens plus restreint. La Commission rappelle au sein du Livre Vert (1998) que « *quelque soit l'approche méthodologique retenue pour la définition du secteur public, l'information des autorités aussi bien centrales, régionales que locales devra être prise en considération* ». Afin de lever toutes ambiguïtés, la notion de « **données publiques** » est utilisée. Elle est définie comme « *une donnée collectée ou produite, dans le cadre de sa mission, par un service public, sur fonds publics* »[34].

[34] Au niveau national, la notion de données publiques apparaît notamment dans la circulaire du Premier ministre relative à la diffusion des données publiques en date du 14 février 1994.

L'information émanant du secteur public est une ressource clé sur le plan du contenu et regroupe des informations financières et commerciales, des registres de commerce des informations juridiques, des informations administratives, des informations scientifiques, techniques, culturelles et médicales (très largement collectées par des instituts de recherche publics et par les archives publiques) et des informations géographiques (également offertes par des agences du secteur public) (eEurope, 2001).

L'**IG** est identifiée comme une composante clé de l'information émanant du secteur public, pour deux raisons principales (eEurope, 2001). L'IG a :

(1) une **valeur économique** significative, comme le montre la Commission européenne (Pira *et al.*, 2000) qui a estimé sa valeur économique, en Europe, à trente-cinq milliards d'euros par an. De plus, elle contribue à l'efficacité de l'économie car elle devient un élément stratégique du système d'information des entreprises ;

(2) une **valeur politique** significative parce qu'elle permet d'évaluer les politiques dans différents secteurs d'activités (aménagement, agriculture, transport, environnement). Elle est « *un outil de la démocratie* » utile au débat public, pour visualiser l'impact des choix d'aménagement sur l'espace et sur les hommes. Son importance au niveau politique a été reconnue avec les préoccupations croissantes pour le *Développement Durable*, incluses dans le Traité d'Amsterdam (1997). Un nombre croissant de directives européennes sur l'environnement et l'Aménagement du territoire, exigent la collecte, l'intégration et l'analyse d'IG pour l'évaluation des impacts, la surveillance, et la prévention du territoire. De plus, elle est une importante clé d'accès aux bases de données (sélection sur critères spatiaux).

Les Etats jouent un rôle essentiel comme producteurs des données géographiques de base (offre) mais aussi comme, utilisateurs d'IG et initiateurs de politiques et des régulateurs qui guident les principaux organismes du secteur public. Ainsi, face à ces **enjeux stratégiques** et **politiques**, les pays qui ont compris que l'IG numérique au sein des NTIC, était un des moteurs de l'économie actuelle et future, ont mis en place des « cadres fédérateurs » pour créer des **Infrastructures de Données Spatiales** nationales ou régionales (**Spatial Data Infrastructure, SDI**). Les NTIC rendent possible une forte réduction des coûts de collecte, de mise à jour, de stockage et de diffusion des données géographiques publiques, ouvrant la voie à des données plus détaillées (grandes échelles), plus « fraîches » (mises à jour plus fréquentes), plus riches (images) et interactives (multimédia). Elles impliquent la mise en place de nouvelles modalités de diffusion et de tarification. A l'heure actuelle, comme nous l'avons signalé (§ 1.2.2.2), l'accès aux données géographiques publiques est souvent difficile (restrictions apportées au titre du droit d'auteur, règlements divers, modalités d'accès et de reproduction inadaptées, tarifs trop élevés).

L'analyse des pratiques associées à la mise en place de SDI aux Etats-Unis et en Europe, montre que les **États-Unis** ont toujours une longueur d'avance, avec la création d'une National Spatial Data Infrastructure (NDSI) au début des années 90. Les objectifs du NDSI sont à la fois économiques et politiques mais aussi stratégiques et militaires à l'échelle de la planète (Rochon, 1999). L'accès et le réemploi d'informations émanant du gouvernement fédéral, est favorisé par un cadre législatif simple et clair. Les citoyens et les entreprises bénéficient d'un droit d'accès étendu à ces informations par des moyens électroniques et peuvent largement les réutiliser à des fins commerciales. Il n'y a pas de droits d'auteur sur l'information du secteur public et pas de restrictions à sa réutilisation. De plus, les frais de réutilisation sont limités à un coût marginal de reproduction et de dissémination. Les politiques, les stratégies et les mécanismes américains de libéralisation de l'approvisionnement en IG de base et d'établissement des infrastructures nationales dans ce domaine servent de modèle implicite ou explicite à la plupart des pays dans le monde. L'Australie, le

Canada et certains pays d'Europe (Royaume-Uni, Pays-Bas), ont commencé à réfléchir à la mise en place de ce type d'infrastructure, mais seulement depuis le milieu des années 1990.

L'**Europe** est en retard par rapport aux Etats-Unis, dans la course à l'utilisation des « *inforoutes électroniques* » et dans l'exploitation des NTIC. Les possibilités d'exploitation des données publiques sont limitées et les règles qui régissent ce domaine sont loin d'être claires et cohérentes d'un bout à l'autre de l'Union Européenne. Ces obstacles conduisent à la fragmentation, l'indisponibilité, la duplication, l'absence ou l'obsolescence prématurée de l'IG[35]. De plus, le secteur de l'IG en Europe n'est pas forcément prioritaire et la question de l'existence d'un marché européen de l'IG se pose. Ce marché se présente actuellement plus comme une juxtaposition de marchés nationaux, que comme un marché unique. Les acteurs de dimension européenne sont rares (Télé Atlas, Nav Tech).

Le défi politique et économique à relever par l'Union Européenne consiste à créer de meilleures conditions d'exploitation des données publiques. Les nouveaux produits d'information à valeur ajoutée peuvent avoir un effet économique favorable en entraînant un renforcement de l'efficacité et des prises de décision fondées sur une meilleure information. Pour rattraper ce retard, des groupes de travail de l'Union européenne et des projets de recherche ont été lancés ces dernières années au sein du 5ème Programme Cadre Européen[36]. Les initiatives, nombreuses, ont permis d'établir des liens entre différents réseaux. Seules les principales sont présentées ici.

Créé en 1993, **EUROGI[37]** (**European Umbrella Organisation for Geographic Information**) est un regroupement de vingt-deux agences nationales de cartographie et de trois associations Paneuropéennes, qui a pour mission de favoriser l'utilisation de l'IG en Europe au bénéfice d'une meilleure gouvernance des citoyens, de promouvoir, et de stimuler le développement et l'utilisation de l'information géographique et des techniques afférentes. Des liens entre différents catégories d'organismes ont été créés : les laboratoires de recherches sont regroupés au sein d'AGILE (Association of Geographic Information Laboratories), l'industrie au sein de l'OpenGis Consortium, les géodésistes au sein de l'EUREF, les organismes de normalisation au sein de ISO TC211.

En 2001, les trois Commissaires européens responsables de l'Environnement, de la Recherche, et du Développement Economique et Financier, ont signé un protocole d'accord soutenant la création d'une infrastructure pour l'information spatiale en Europe baptisé **INSPIRE** (**Infrastructure for Spatial Information in Europe**). Ce projet ambitieux (réalisation achevée en 2006/2007) contribue à renforcer l'intégration et à développer la cohérence des politiques communautaires (Smits, 2002). Dans une première étape, INSPIRE se concentre sur les données nécessaires à la surveillance et à la protection de l'environnement (air, eau, sols, paysages naturels) en augmentant la quantité et la qualité de l'IG disponible (Rase *et al.*, 2002). Les bénéficiaires sont les différentes autorités exécutives et législatives qui formulent, exécutent, surveillent et évaluent les programmes d'actions à tous les niveaux (européen, national, local), les citoyens, le secteur privé, les universités, et les médias.

[35] Dans le détail, les problèmes majeurs rencontrés concerne la difficulté à connaître et à accéder à l'information (manque de métadonnées), les standards et les échelles de bases sont disparates, rendant l'intégration difficile, les dates d'observation et de mise à jour sont incompatibles ou indisponibles, le coût est prohibitif ; aucun standard de représentation des objets géographiques n'est défini, la qualité des données de base est variable selon les pays.

[36] (http://www.cordis.lu/fp5/).

[37] Il s'agit d'une Fondation Européenne de droits néerlandais. Il réunit des organisations nationales du secteur de l'information géographique, n'a pas vocation à réaliser des profits. Il réalise ces objectifs en promouvant, stimulant et supportant le développement et l'usage de l'IG et de la technologie afférente (http://www2.echo.lu/gi/en/gi2000/egii.html).

Un des objectifs spécifiques d'INSPIRE est d'augmenter l'usage de la donnée géographique, particulièrement dans l'aide à la décision, de favoriser la disponibilité de données géographiques de qualité, de réduire les inefficacités dans la collecte, le traitement, le stockage et la distribution d'IG, et d'éliminer les barrières institutionnelles et légales qui entravent l'usage de la donnée géographique. INSPIRE, projet très ambitieux, doit permettre de développer une hiérarchie verticale en six niveaux d'intervention (Figure 2.3). La mise en cohérence et l'agrégation des initiatives des SDI aux niveaux inférieurs doit aboutir à une SDI à un niveau global. Chaque niveau d'intervention dispose également de leviers « horizontaux », par exemple au niveau national ou régional, plusieurs pays ont créé des SDI.

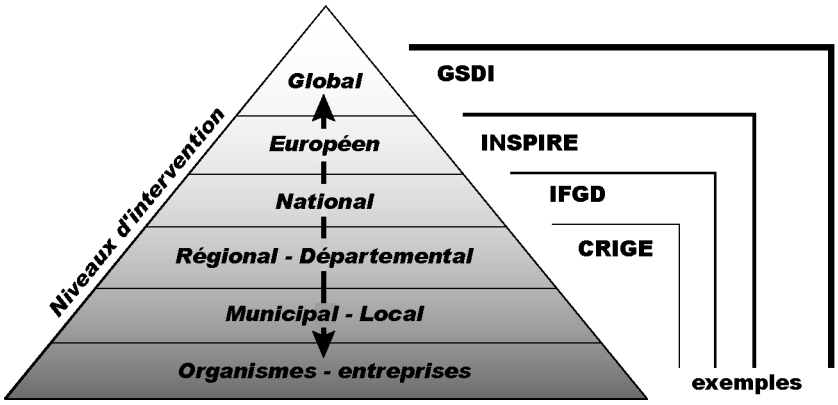


Figure 2.3 - Hiérarchie verticale de SDI et niveaux d'intervention (modifié de Rajabibard *et al.*, 2000).

En France, les initiatives de construction d'infrastructures de bases de données géographiques se sont multipliées, depuis 2000, au **niveau régional**. De nombreux acteurs se sont regroupés au sein de « réseaux » afin de favoriser les échanges de données géographiques. Une des premières initiatives de partenariat régional, est la mise en place du **CRIGE PACA** (**Comité Régional de l'Information Géographique de Provence-Alpes-Côte-d'Azur**). Ce partenariat a fait naître une dynamique de groupe pour suivre l'évolution des techniques liées à la géomatique, disposer d'un tronc commun d'informations régionales sur la base du référentiel commun, échanger les données thématiques produites par les services, rationaliser la production de ces données et disposer de concepts techniques communs. Il a donné lieu à la mise en ligne d'un catalogue de données diverses, accessibles par tous les membres de ce partenariat. D'autres exemples, dans un état d'avancement moindre, peuvent être cités, comme le partenariat SIGALE (Nord-Pas-de-Calais,) ou CIGAL (Coopération pour l'Information Géographique en Alsace).

Au **niveau national**, le CNIG chargé de définir la politique de la France en matière d'IG, a fait adopter une politique nationale de mise en place de l'**IFGD** (**Infrastructure Française de Données Géographiques**), qui comprend la connaissance des données disponibles, les données de référence dont en particulier le RGE, les spécifications communes, des standards et des normes, les modalités juridiques et économiques d'accès aux données

Au **niveau européen**, comme cela a été présenté ci-dessus, une initiative commune est en cours (**INSPIRE**). Notons également qu'au niveau **global**, une réflexion internationale sur la mise en place d'une **Global Spatial Data Infrastructure**[38] **(GSDI)** débute**.**

[38] (www.gsdi.org)

Les pays qui ont les infrastructures nationales de données les plus développés (Etats-Unis, pays nordiques) sont tous caractérisés par une forte coordination institutionnelle des organismes nationaux. Les pays en retard, comme l'Espagne, la Belgique, et l'Autriche, ont une coordination très limitée. Par contre, ces pays ont développé d'excellentes infrastructures de niveau régional (Région Wallonne, en Belgique ; Région Catalane, en Espagne), car c'est précisément à ce niveau que les mécanismes de coordination ont été développés. La coordination institutionnelle est donc un moteur ou un frein au développement cruciale (Annoni *et al.*, 2003).

En conclusion, l'**entrée** de l'Europe et de la France **dans la SI**, a débuté avec l'émergence **des NTIC,** mais ne l'a pas anticipé comme aux Etats-Unis. Les NTIC ont entraîné des **bouleversements** d'ordre (Ecobichon, 1994) :

(1) **technique**, d'une part, avec l'essor de l'informatique (matériels et logiciels), la possibilité de constituer de très grandes bases de données, et d'analyser cette information grâce au développement de logiciels spécialisés de plus en plus performants et conviviaux (logiciels SIG tels que ArcView, MapInfo, Géoconcept), et d'autre part, avec le développement des technologies en ligne (Internet), qui permettant un accès direct et interactif à de nombreuses sources d'information (catalogue de métadonnées) ;

(2) **organisationnel**, à tous les niveaux d'organisation (Figure 2.1) :
   - à **l'échelle locale**, l'utilisateur des NTIC est devenu producteur et consommateur d'informations réutilisables. Il peut fabriquer son propre système d'information, à partir de différentes sources internes et externes. L'organisation pyramidale du travail s'en trouve transformée. Auparavant, l'information descendait du supérieur vers les inférieurs hiérarchiques. Avec les NTIC s'opère un échange transversal où chacun devient tout à tour émetteur et récepteur. L'information n'est plus seulement descendante, mais aussi transversale, et réotractive. Chacun se recentre sur ses objectifs propres : améliorer la qualité de ses prestations, optimiser la production, élargir son champ de prospection, alléger ses tâches administratives. Chacun choisit aussi, en fonction de ses priorités, les NTIC qui lui correspondent le mieux. A titre d'exemples, l'**Internet** sera privilégié pour la recherche d'information, l'**Intranet**[39], pour accéder aux procédures et informations en interne, l'**Extranet**[40], pour une collaboration suivie avec des partenaires externes sélectionnés, et les **SIG** pour une recherche d'informations localisées.
   - aux échelles régionale, nationale, transnationale, globale, les NTIC ont permis la mise en coordination des compétences et des données et la constitution rationnelle de SDI (cf. ci-dessus).

(3) **sociaux**, avec la possibilité de travailler autrement, à distance, en groupe, en différé grâce à la multiplication des réseaux. L'échange d'informations ne se produit pas forcément dans l'instant, comme au téléphone, mais il peut être différé dans le temps. Les personnes ont accès à l'information, de n'importe quel lieu où elles se trouvent. Il s'agit d'une nouvelle forme de communication au sens qu'elle met en œuvre à la fois un processus d'écriture (messages frappés) et une action (intervention en direct).

Accompagnant tous ces changements, des **bouleversements technologiques** se sont opérés, notamment dans le domaine spatial et de l'image. Les enjeux de l'image dans ce contexte d'évolution sont présentés dans le paragraphe suivant.

[39] Réseau utilisant l'infrastructure et les services d'Internet au sein d'un réseau privé interne. Il est inaccessible au reste de la communauté Internet.
[40] Réseau ouvert à des partenaires extérieurs identifiés, inaccessible au reste de la communauté Internet, bien que s'appuyant sur la technologie Internet.

2.2.2 L'Espace, une composante stratégique dans la Société de l'Information

L'information et les communications constituent le « système nerveux » de la SI. Les satellites, dès lors qu'ils sont capables de couvrir et de connecter virtuellement tout endroit du monde, sont d'une importance cruciale pour le fonctionnement efficace de la SI, en termes de :

(1) **systèmes de communication par satellites,** qui constituent une alternative économique aux infrastructures terrestres pour toutes gammes de services, et offrent des solutions dans les zones ne disposant pas d'infrastructures terrestres appropriées ;
(2) **systèmes de navigation et de positionnement par satellites,** qui constituent une infrastructure mondiale, innovante et une solution de « continuité » pour les déplacements, le transport, les services connexes et une multitude d'autres applications ;
(3) **systèmes d'observation par satellites,** qui fournissent un « flot » continu d'informations en temps quasi réel sur n'importe quel point du globe.

Ces deux derniers systèmes ont engendré des changements de pratiques, corollaires de ceux occasionnés par les évolutions techniques, organisationnelles et sociales (§ 2.2.1) :

- avec les satellites de positionnement et de navigation, les **récepteurs** associés sont de **moins en moins chers** pour une localisation toujours plus précise. Ils réduisent les coûts d'accès au positionnement géographique et mettent en cause les structures des réseaux géodésiques traditionnels. Cette évolution ouvre de **nouvelles perspectives de services de localisation** et de **positionnement** précis. En réduisant les coûts initiaux de saisie, elle permet de poser en termes nouveaux le problème, jamais résolu de façon satisfaisante, de la mise à jour des données géographiques ;
- avec le lancement de satellites civils d'observation de résolutions métrique et sub-métrique (cf. § 4.1.2), de **nouveaux marchés d'applications locales**, au cœur de la demande, notamment pour des applications urbaines, se sont créées. Ces images numériques peuvent se substituer dans une proportion significative aux utilisations de la photographie aérienne classique, telle la saisie d'information, en permettant d'intégrer l'analyse automatique d'images à des processus encore très manuels.

Ces mutations permettent de diminuer les coûts et affectent l'ensemble de la chaîne de traitements, depuis la collecte et la mise à jour (GPS, lasers, satellites, capteurs de toutes natures) jusqu'au stockage (mémoires de masse) et la diffusion (DVD, Internet). Ces évolutions technologiques ont eu un **impact essentiel sur la production de données**. Couplée avec le développement d'Internet, elles conduisent progressivement à des bouleversements profonds dans la mesure où elles remettent en cause tout le système de relation entre les producteurs et les utilisateurs : c'est la nature même du marché qui change. En effet, l'utilisateur pourra, par le réseau, non plus acheter un logiciel ou des données, mais consommer du traitement et des informations dans des modalités proches du « *pay-per-view*[41] » (Livre Blanc, 1998). L'actuel marché de l'investissement se transforme, alors, en un marché de consommation où les services sont banalisés. Du même coup, la concurrence comme la stratégie gagnante changent de nature. Le champ de la concurrence devient mondial. La stratégie gagnante est celle qui incitera le plus à la consommation d'où l'importance essentielle de la mise à jour qui, en périmant vite les informations disponibles chez l'utilisateur, l'incitera à se connecter (Livre Blanc, 1998).

[41] Le « *pay-per-view* » (payer pour voir) consiste à faire payer l'internaute pour la consultation d'un site ou d'une page.

Ces évolutions sont à replacer dans le **cadre de la mondialisation**[42] qui si elle reste loin des préoccupations pour beaucoup des activités, est d'ores et déjà une **réalité dans le monde de l'information**. Les satellites de positionnement et d'observation de la terre, les outils d'analyses d'images ou de manipulation de l'IG, et l'Internet contribuent à la constitution d'un marché mondial de l'information, déterminant pour la stratégie de l'ensemble des acteurs/utilisateurs d'un pays. Les **enjeux spécifiques** des satellites de positionnement (§ 2.2.2.1) et d'observation de la terre (§ 2.2.2.2) sont présentés dans les paragraphes suivants.

2.2.2.1 Le positionnement et la navigation, des enjeux civils aussi bien que militaires ?

Les satellites ont ouvert des possibilités nouvelles dans un domaine particulier : le **positionnement et la navigation**. Les enjeux ont été compris dès le début des programmes spatiaux. Dès 1965, les satellites de navigation Transit permettaient aux bâtiments de l'US Navy, et en particulier aux sous-marins nucléaires, de déterminer leur position en mer avec une erreur inférieure à 100 m et diffusaient le temps avec une précision de quelques microsecondes (Revol, 2001). Les premiers satellites[43] du Centre National des Etudes Spatiales (CNES), étaient des satellites « géodésiques » qui utilisaient les mêmes techniques que Transit. Depuis cette époque, le programme spatial national n'a jamais cessé de se développer dans ce secteur de sorte que la France dispose de toutes les techniques nécessaires à la navigation précise par satellites et des équipes scientifiques de niveau international (le GRGS[44] en particulier).

L'Europe, en revanche, est moins bien préparée que la France à affronter la situation créée par le système américain GPS (Global Positioning System) qui résulte d'une initiative déjà ancienne des Etats-Unis qui ont développé et déployé à des fins militaires, sous le contrôle exclusif du DoD (Department of Defence) le GPS. Depuis, les usages à des fins civiles se sont développés de façon explosive, partout dans le monde. Il s'agit du positionnement précis de véhicules mobiles (navires, aéronefs, automobiles, bus, taxis, machines agricoles, containers, etc) et de la distribution précise du temps. Ce système a engendré une **dépendance majeure de la société civile** aux services fournis par le GPS. Dans le même temps, il constitue l'élément central de la conception et de l'usage des **systèmes d'armement** (frappes de haute précision à grande distance en territoire hostile). L'Union Soviétique a développé de son côté un système analogue, GLONASS, dont la Russie ne semble pouvoir actuellement assurer le maintien en conditions opérationnelles. **Le système GPS est donc aujourd'hui en situation de monopole mondial.**

Cette situation a posé en Europe un **problème de dépendance** qui résulte de la démarche consistant à confier à un système, sous contrôle étranger, le fonctionnement de réseaux critiques de télécommunications et de transport, tant civils que militaires. L'acceptation de cette dépendance dans la conception de la politique spatiale est complètement incohérente avec l'objectif d'autonomie qui sous-tend le programme spatial européen. La seule solution envisageable à ce problème a été la construction d'un système européen autonome, fournissant les mêmes services que le système GPS, le **système GALILEO**[45] mis en place conjointement par l'ESA[46] (cf. § 2.2.2.2) et la Commission

[42] Le terme « mondialisation » décrit l'accroissement des mouvements de biens, de services, de main-d'œuvre, de technologie et de capital à l'échelle internationale (www.canadianeconomy.gc.ca/francais/economy/globalization.html).

[43] Diapason et les deux satellites Diadème

[44] Groupement de Recherche en Géodésie Spatiale : organisme de recherche commun au Bureau des Longitudes.

[45] Le système GALILEO reposera sur le déploiement de 30 satellites (27 opérationnels et 3 en réserve), postés sur trois orbites terrestres de 23 616 km d'altitude, circulaires et inclinés à 56° par rapport à l'équateur. Cela permettra d'assurer une excellente couverture de la planète. Deux centres de contrôle

Européenne. Un accord final a été signé en mai 2003, et une société d'économie mixte a été créée « *Galileo Joint Undertaking* » (juin 2003). La tâche principale de cette société est la préparation de la phase de déploiement et d'opérations du programme GALILEO. A court terme, dans le cadre de la phase de développement et de validation, l'ESA est chargée du lancement d'un premier satellite expérimental en septembre 2005.

Les enjeux GALILEO sont prioritairement **stratégiques**, d'ordre **aussi bien civil que militaire**, et d'une importance vitale pour la sécurité et l'économie de l'Europe. Il s'agit d'assurer de la cohérence de la politique spatiale européenne : rien ne sert d'assurer l'autonomie de l'Europe dans l'accès à l'espace si cette autonomie n'est pas utilisée pour assurer l'indépendance européenne dans le secteur qui est de nature à engendrer le degré le plus aigu de dépendance. Les enjeux sont également **économiques et industriels** car le développement du marché des équipements et des services indiquent une croissance exponentielle du marché mondial. La mise en œuvre de GALILEO donnera aux industriels européens une position stratégique comparable à celle de leur compétiteurs américains.

2.2.2.2 L'Observation de la Terre, un enjeu stratégique pour l'entrée de l'Europe dans la SI ?

De toutes les applications de l'espace, **l'Observation de la Terre (OT),** ou télédétection (cf. § 1.3.3.2), est celle dont la pérennisation et l'importance semblent les plus assurées pour les décennies qui viennent. Le **caractère radicalement nouveau** des moyens offerts, et l'offre aux acteurs d'un outil planétaire pour répondre à leurs **besoins en IG** propres à guider l'action confèrent une importance capitale, pour le présent et pour l'avenir, à l'Observation de la Terre depuis l'espace.

Moyennant le choix d'une orbite adéquate (quasi-polaire, héliosynchrone), l'OT permet d'accéder avec le même instrument, à toute la surface du globe sans considération de l'accessibilité physique ou politique des régions observées. Elle permet également de réaliser des mesures homogènes sur un grand territoire. Il existe naturellement un certain domaine de recouvrement entre **l'observation aérienne** et **l'observation spatiale**, mais deux limitations majeures affectent l'observation aérienne : la vitesse et l'altitude limitées de l'avion ne lui donnent pas accès à une capacité d'observation globale ; et le survol d'un territoire à souveraineté nationale relève de l'exercice de cette souveraineté alors que **le survol par un engin spatial est autorisé par le droit international.** De ce fait, les secteurs où l'observation spatiale entrent en concurrence avec l'observation aérienne sont réduits : il s'agit essentiellement des images métriques à Très Haute Résolution Spatiale (THRS) (cf. chapitre 4). C'est en fonction de toutes ces caractéristiques que doivent s'apprécier les enjeux qui s'attachent à la maîtrise de la télédétection spatiale.

Les progrès technologiques rapides dont bénéficie la technique spatiale tendent à augmenter constamment son domaine de compétitivité. En effet, la conception technique du **segment terrain** (partie intégrante du système de télédétection spatiale car l'essentiel réside dans le fait que le satellite acquiert et transmet de l'information) repose sur l'usage conjoint de l'**informatique** et des **télécommunications** dont l'évolution extrêmement rapide domine l'évolution de la société contemporaine. Les technologies utilisées par le **segment spatial** sont marquées par la **miniaturisation** qui permet à des mini-satellites dans le domaine optique d'accéder à des résolutions métriques, voire décimétriques, avec des conséquences importantes sur le coût des projets et sur leur rentabilité commerciale, et par **les progrès dans la résolution spectrale** qui permettent d'accroître la capacité

GALILEO seront installés en Europe pour suivre le fonctionnement des satellites et gérer le système de navigation.

[46] European Space Agency.

de discrimination depuis l'espace. Quels sont les enjeux de ces progrès technologiques ? C'est ce que nous allons présenter dans les paragraphes suivants.

2.2.2.2.1 L'Observation de la Terre, un enjeu stratégique ?

Les programmes d'OT répondent en premier lieu à un **besoin d'accès indépendant** aux informations satellitaires pour des objectifs stratégiques. Les pays qui ont compris l'importance de cet enjeu (et ont les moyens financiers) ont mis en place des **agences spatiales gouvernementales**.

Les **États-Unis**[47] et **l'ex-Union soviétique** sont les premiers, au début des années 60, à se partager les activités spatiales mondiales, qu'elles soient scientifiques, militaires ou commerciales (Steinberg, 1998). Pourtant, quelques pays se sont rapidement orientés vers une autonomie spatiale, la considérant comme un élément déterminant de leur stratégie de développement économique. Ainsi, le **CNES** (**Centre National des Etudes Spatiales**), créé en décembre 1961, est chargé d'élaborer, de proposer et de conduire la politique spatiale de la France. En 1965, la **France** devient la troisième puissance spatiale en plaçant sur orbite son premier satellite, A-1[48]. En 1970, le **Japon** et la **République Populaire de Chine** accèdent aussi à une capacité de lancement indépendante[49]. En 1971, la **Grande-Bretagne** rejoint le club des puissances spatiales avec le lancement du satellite Prospero[50]. L'**Inde**, en 1980, montre qu'elle peut maîtriser la haute technologie en plaçant sur orbite un satellite à partir de la base de Sriharikota. Depuis, **Israël** et le **Brésil** ont eux aussi rejoint les puissances spatiales. Les informations relatives aux agences spatiales sont détaillées au § 4.1.1.3.3.

Le coût des programmes spatiaux et la volonté d'indépendance poussèrent un certain nombre de pays européens à former en 1975 un consortium baptisé **Agence Spatiale Européenne**[51] (**ESA, pour European Space Agency**), afin de permettre à de plus petits pays de participer à ces programmes. Si au début l'ESA a lancé des satellites avec des engins américains, elle utilise, à l'heure actuelle, principalement le lanceur Ariane.

Plusieurs nations européennes ont investi dans la recherche spatiale, principalement dans la construction de satellites et le développement de projets de recherche sur orbite. En dehors de la France, d'autres pays possèdent leurs propres agences gouvernementales (la **DARA pour l'Allemagne**, **l'ASI pour l'Italie)**. Après plus de 25 ans d'activité, l'ESA est aujourd'hui composée de 15 Etats membres[52]. Le Luxembourg, comme le Canada (depuis 1978), participent à certains programmes de l'ESA par des accords de coopération.

Parmi les réussites à porter au crédit de cette organisation, la famille des fusées Ariane, le module Spacelab, embarqué à plusieurs reprises à bord de la navette spatiale, ou la sonde Giotto lancée vers la comète de Halley, peuvent être cités.

[47] La NASA (National Aeronautics and Space Administration) fut créée en 1958 par le National Aeronautics and Space Act pour mettre fin aux rivalités entre l'armée de terre, l'armée de l'air et la marine, concernant la mise en orbite d'un satellite en réponse aux réalisations soviétiques.
[48] par le lanceur Diamant, depuis Hammaguir, base militaire française dans le Sahara algérien. Cette base de lancement sera par la suite délaissée au profit du centre spatial de Kourou, en Guyane française.
[49] avec la réussite des lanceurs Lambda 4 S et CZ -1 (pour Changzheng, signifiant «longue marche »)
[50] depuis Woomera en Australie, à l'aide du lanceur Black Arrow
[51] En fusionnant en 1975, l'*European Space Research Organisation* (ESRO) et l'*European Launcher Development Organisation* (ELDO) ont donné naissance à l'ESA qui devient alors la première organisation spatiale européenne, pacifique et indépendante.
[52] Allemagne, Autriche, Belgique, Danemark, Espagne, Finlande, France, Irlande, Italie, Norvège, Pays-Bas, Portugal, Royaume-Uni, Suède et Suisse.

En France, le **CNES** est chargé d'élaborer, de proposer et de conduire la politique spatiale de la France par sa participation aux programmes de l'ESA, dont il est un des principaux contributeurs ; et par la réalisation d'un programme national qui complète les programmes de l'ESA. Il a pour objectif de développer les utilisations de l'espace, pour satisfaire les **besoins des collectivités publiques** et de la communauté scientifique, et pour favoriser l'émergence et la diffusion de **nouvelles applications**, sources de création de richesses et d'emplois. En outre, le CNES a pour mission d'animer la politique de la science spatiale, notamment dans le domaine des Sciences de la Terre et de l'océanographie pour lequel d'excellents résultats ont été obtenus (financement de projets de recherche par l'Institut National des Sciences de l'Univers).

Depuis 1986, les satellites SPOT assurent leur service opérationnel dans des conditions techniques satisfaisantes. Cependant, depuis quelques années, il est apparu que l'évolution rapide du contexte international, le renforcement spectaculaire de la concurrence, la disponibilité de nouvelles technologies, la nécessité de rechercher l'équilibre économique de l'activité imposaient de redéfinir les éléments d'orientation de la filière pour les 10 à 15 prochaines années, de la définition technique, à la politique de données, à l'organisation de la commercialisation, à la synergie avec les applications militaires, au cadre coopératif souhaitable, le partage des responsabilités et des charges entre opérateurs privés et agences publiques. Ces réflexions sont à l'origine du **système ORFEO** (cf. § 4.1.2).

Les principes adoptés pour l'élaboration de ce système sont les suivants (Revol, 2001) :

(1) les programmes d'OT répondent aux besoins d'accès indépendant à l'information. En particulier, il faut désormais assurer la dualité des systèmes capables de satisfaire besoins civils et militaires, à côté de systèmes militaires spécifiques (cf. § 2.2.2.2.2). ORFEO est ainsi conçu pour des applications duales, garantissant aux utilisateurs civils comme à ceux de la défense l'accès aux informations requises (cf. § 2.2.2.2.2) ;

(2) le développement de l'OT passe par un élargissement des capacités d'observation qui ne pourra être acquis que par intégration des ambitions et des compétences françaises dans un ensemble européen. La coopération européenne doit, par le partage des investissements, contribuer à la réduction des coûts et ainsi permettre l'accroissement de l'offre par le déploiement d'un système multi-capteurs (optique et radar), qui pérennise la présence et l'indépendance de l'Europe dans le domaine de l'OT et qui contribue à l'élargissement des services et au développement de la filière commerciale. ORFEO sera constitué de COSMO-SKYMED, une constellation de quatre satellites radars (issue d'une coopération avec l'Italie), et de Pléiades, un système optique de deux satellites à haute résolution, développé pour le CNES ;

(3) les programmes d'OT s'insèrent dans une logique économique, qui nécessite de réduire les coûts de la filière grâce à l'innovation technologique et de développer son utilisation par un effort en recherche et en développement thématique, et d'élaborer une politique de données adaptées.

Depuis 1995, le nombre de pays disposant de systèmes d'OT à usage militaire ou civil a augmenté et continuera à augmenter dans les prochaines années.

2.2.2.2.2 L'Observation de la Terre, une composante traditionnelle du renseignement ?

Le Livre Blanc sur la Défense (1994) identifie le renseignement comme une des priorités pour les armées en ces termes : « *Le renseignement est l'instrument privilégié de prévention et de gestion des crises et des conflits d'intensité variable et, plus que jamais, un moyen d'aide à la décision politique dans de telles situations* ». Les événements intervenus depuis n'ont fait que conforter cette analyse, et ce quel que soit le niveau d'intervention.

Les satellites d'observation rendent des services que les satellites civils actuels et programmés sont incapables de fournir. Il faut se souvenir que les premiers satellites d'observation français , qui remonte à 1978 (SAMRO), était militaire, soit bien avant le lancement de la famille de satellites civils SPOT. Il s'agissait à l'époque, conformément à la **pensée stratégique** dominante, d'une part, de **renforcer la capacité de la force française de dissuasio**n, grâce à l'identification des foyers industriels et de peuplement les plus importants des pays susceptibles d'être l'objet de frappes nucléaires et d'autre part, de surveiller le bloc soviétique. Si ce projet a été abandonné en 1982, pour des raisons financières, les travaux de recherche qu'il avait engendrés ont largement profité à la famille SPOT.

En décidant, au début des années 90, de lancer **le programme** de satellite de surveillance militaire **HELIOS**, la France, en coopération avec l'Italie et l'Espagne[53], a fait un choix isolé en Europe et rare dans le monde. Peu de pays disposent en effet d'un tel équipement, même si beaucoup commencent à envisager des satellites d'observation duaux (militaire et civil) dont les performances pourraient être adaptées à une utilisation militaire élaborée. Cette activité est longtemps restée l'apanage des deux superpuissances de la guerre froide : les **États-Unis** ont lancé leur premier satellite de surveillance expérimental en 1959 *(Discover*), **l'Union soviétique** a lancé Cosmos 4 en 1962. **Ce duopole n'a été rompu qu'en 1995** avec le lancement d'HELIOS I-A (complété par HELIOS I-B en 1999) par la France, et le lancement d'OFEQ 3[54] par Israël.

Par rapport aux satellites de renseignement américain et de l'ex-Union Soviétique, le **projet HELIOS** s'est concrétisé **dans un contexte stratégique très différen**t. Les leçons tirées des guerres Iran - Irak, ainsi que la nécessité de mieux connaître le potentiel des Etats du Pacte de Varsovie sont à l'origine du développement d'un système d'observation spatiale de défense, permettant à la France **d'observer** un territoire **en toute indépendance**, en tous lieux, et sans craindre de violer l'espace aérien des pays observés. La première guerre du Golfe (1991), par les lacunes qu'elle a mise en lumière sur la capacité d'évaluation autonome des situations et par la mise en exergue de la suprématie des Etats-Unis dans le domaine du renseignement, a définitivement assuré l'avenir du programme de satellite d'observation militaire et de ses successeurs (la phase de faisabilité de HELIOS II[55] a démarré dès 1992). Les conflits suivants (Bosnie en 1995, Kosovo en 1999, Afghanistan en 2002, Irak en 2003) ont démontré aux dirigeants successifs qu'il n'y avait aucune capacité de négociation politique entre États sans capacité d'**évaluation précise de la crise**, et qu'il n'y aurait bientôt plus d'action militaire possible sans une **connaissance extrêmement détaillée des cibles potentiel-**

[53] Le taux de participation des trois pays, respectivement à hauteur de 14.1 % (Italie) et 7 % (Espagne), se déclinent en termes financiers et de retour industriel mais aussi en terme de droit d'utilisation opérationnelle du satellite.

[54] Le satellite israëlien OFEQ 3, lancé en 1995, a été désorbité en novembre 2000. Toutefois après l'échec du lancement d'OFEQ 4, Israël a lancé OFEQ 5 en mai 2002.

[55] HELIOS II-A sera lancé en 2004 et HELIOS II-B, vraisemblablement en 2005, avec des résolutions spatiales décimétriques dans le visible incluant un canal IR thermique, pour l'observation de nuit et la détection d'indices d'activité (Revol, 2001), avec une réduction de moitié des délais d'acquisition et de mise à disposition d'information alors que le nombre de prises de vues sera multiplié par trois (Faure, 2001).

les. Les images produites par HELIOS I de résolution métrique permettent soit de **suivre et de gérer les crises**, soit d'alimenter les dossiers des autorités gouvernementales et militaires, pour renforcer l'efficacité des actions de **prévention des crises**, ou pour vérifier l'application des traités de désarmement.

HELIOS participe activement à l'efficacité de l'indépendance nationale. En effet, aucun système satellitaire étranger, si performant soit-il, ne garantit cette indépendance de jugement puisque **la fiabilité des données** n'est pas assurée. Par ailleurs, un opérateur commercial ne garantirait ni l'exclusivité ni **la confidentialité des images** demandées même si, sur ce plan, des accords particuliers pouvaient être passés avec des opérateurs nationaux civils. Comme nous l'avons déjà souligné, l'un des grands avantages du satellite est sa **discrétio**n. HELIOS permet de disposer de renseignements sur des zones géographiques, partout dans le monde, sans que les gouvernements dont elles dépendent en soient avertis. À la différence d'un avion (avion américain abattu par la Chine en 2001), il n'existe aucun risque de voir l'équipage appréhendé.

HELIOS demeure actuellement un **fournisseur irremplaçable d'images** qui permet à la France de **peser dans les relations internationales**, pendant ou en dehors des périodes de crise (Faure, 2001). Plusieurs exemples précis peuvent être cités, notamment en période de crise comme en septembre 1996, lorsque les images HELIOS permirent de relativiser les affirmations des États-Unis relatives aux mouvements de troupes irakiennes vers le Kurdistan ou, au printemps 1999, à propos de la sélection des cibles pendant les opérations aériennes du Kosovo. Cet outil est d'autant plus précieux que dans les rares occasions où les États-Unis fournissent des images à l'appui de leurs affirmations, ils ne les laissent pas à leurs interlocuteurs, même les plus prestigieux : c'est la stratégie du « *for eyes only* ».

Après une longue période de prudence, ponctuée de concertations avec les pays maîtrisant la technologie de l'observation spatiale dont la France, la tendance est, depuis la fin des années 90, à **la libéralisation de l'offre commerciale**. Les équipements civils actuels dont les performances se rapprochent de celles des satellites militaires dépendent directement du gouvernement des Etats-Unis. Ce sont eux qui inspirent la doctrine de sécurité du fait de l'offre représentée par trois sociétés qu'ils contrôlent : *Space Imaging* (IKONOS), *Orbimage* (ORBVIEW) et *Earthwatch* (QUICKBIRD). La réglementation applicable est issue d'une norme établie le 31 juillet 2000, par la *National Oceanic and Atmosphere Administration* (NOAA) qui prévoit l'accès libre à une résolution de 50 centimètres en mode panchromatique et multispectral, sauf cas particulier relevant de la sécurité nationale. Le seul exemple connu de cette exception est l'interdiction de cession d'images d'Israël à une résolution inférieure à celle qu'on trouve sur le marché, en vertu d'un amendement voté par le Congrès Américain en 1996. Cette doctrine résulte, d'une part, de motivations économiques, puisqu'elle permet de conforter la compétitivité du marché des images satellitaires face à celui des images aériennes, davantage prisé par les acteurs économiques, et d'autre part de motivations stratégiques puisque **cette libéralisation dissuade de nombreux pays d'investir dans des systèmes satellitaires d'observation autonome**.

En dehors du satellite IKONOS-2, dual, les Etats-Unis disposent actuellement de deux satellites optiques Key Hole (de la génération KH-12) dont la résolution est estimée entre 15 et 20 cm et de trois satellites d'observation radar (de type Lacrosse) dont la résolution spatiale est elle aussi très élevée (Boucheron, 2001).

En France, la dualité est une constante et les systèmes civils (SPOT) et militaires (HELIOS) ont toujours collaboré[56] via le CNES. Les services militaires français ont commandé des images IKONOS-2, dès leur lancement, notamment sur les zones sensibles car ce sont les premières avec une résolution décimétrique (0.8 m). Les images HELIOS, de résolution spatiale métrique (c'est à dire comprise entre 1 et 2 mètres), leur permettent toutefois de corréler l'information et de valider l'intégrité des images IKONOS-2. L'armée américaine elle-même a largement utilisé les ressources SPOT (Boucheron, 2001).

Se priver de satellites d'observation militaire représente donc une sérieuse régression, tant au regard du rang international du pays, que du caractère opérationnel des forces. Il en est de même au niveau européen. Les satellites de reconnaissance, en complément d'autres moyens, répondent au besoin de disposer de systèmes appropriés de surveillance et de reconnaissance pour assurer **l'autonomie d'appréciation des Etats membres de l'Union européenne**.

Dans ce cadre, un document[57] précisant les « *besoins opérationnels communs pour un système global européen d'observation[58] par satellites à des fins de sécurité et de défense* » a été élaboré conjointement par les états-majors des Armées de la République Fédérale d'Allemagne, du Royaume d'Espagne et des Républiques Italienne et Française (2001). Ce rapport est la **première démarche concrète, et ambitieuse opérationnelle,** de nature à favoriser l'émergence d'une **Europe spatiale** à des fins de sécurité et de défense, dans le domaine de l'OT, mais aussi dans celui des télécommunications, de l'écoute électronique, de l'alerte avancée et de la surveillance de l'espace.

Dans cette démarche, « *la France devrait avoir un rôle d'impulsion décisif mais, malheureusement, les moyens alloués au programme spatial militaire ne lui permettent pas de jouer ce rôle* » (Revol, 2001). Cette situation est très dommageable. Elle n'est pas cohérente avec le caractère stratégique de la maîtrise de l'information. Elle ne permet pas de développer des programmes novateurs et ne permettra pas à la France de maintenir son rang de leader européen et d'exercer un effet d'entraînement. En effet, l'analyse de la répartition des budgets spatiaux militaires dans le monde est sans appel : Etats-Unis (94.8%), Europe (3.9%), Russie (1%) et reste du monde (0.3%).
Revol (2001) rappelle également que « *les enjeux sont considérables et les retombées sont aussi bien civiles que militaires* », ne serait-ce qu'en termes d'emplois, de recherche et de développement. Ainsi, le renouvellement des satellites obsolètes américains reviendraient à 57 milliards d'euros, le préprogramme de bouclier spatial (ou « Star Wars ») est estimé à 69 milliards (sans même parler de son intensification par l'équipe Bush). En comparaison, le budget total de la Défense en France avoisine les 29 milliards d'euros…. Revol estime que les prévisions budgétaires fixées pour 15 ans en 1996, seront revues à la baisse à hauteur de 40%.

En conclusion, il est clair que le renseignement par l'image occupe et occupera une importance stratégique essentielle dans l'avenir devant tous les systèmes de prévention, y compris nucléaire. Néanmoins, les moyens financiers ne resteront peut être pas à la hauteur et les systèmes futurs devraient être duaux. Dans ce contexte, l'image a également un enjeu sociétal important pour la société contemporaine.

[56] Dès 1986, la Défense a largement utilisé les produits SPOT et elle continue de la faire actuellement de manière plus réduite, notamment pour ses besoins cartographiques (Boucheron, 2001).
[57] Ce document a été approuvé par le chef d'état-major des Armées français le 5 septembre 2001 et transmis officiellement pour signature à l'inspecteur général de la Bundeswehr. Ce document recevra, dans les semaines à venir, le paraphe des chefs d'état-major de la République italienne et du Royaume d'Espagne avant d'être proposé à l'ensemble des partenaires de l'Union européenne.
[58] Un tel système s'appuierait sur la fédération au niveau des segments sol utilisateurs des différents systèmes nationaux ou bilatéraux en phase de faisabilité (ISHTAR), de définition (Sar Lupe, Cosmos-Skymed/Pléiades) ou de réalisation (Hélios II).

2.2.2.2.3 L'Observation de la Terre, un enjeu « sociétal » ?

Dans la relation de l'observation spatiale avec les besoins des utilisateurs, un des domaines privilégiés d'applications concerne les applications environnementales. Elles regroupent la surveillance de l'environnement, la climatologie, la prévision du temps, mais aussi l'agriculture et l'**Aménagement du territoire** (Revol, 2001).

La **connaissance de la Terre** et de **son environnement**, est un important chapitre de la recherche scientifique. C'est de cette recherche qu'a émergé une **prise de conscience** des altérations que l'activité humaine impose à l'environnement global. La perception de ce phénomène par le grand public tend à se focaliser sur deux aspects : la « **destruction** » de la couche d'ozone stratosphérique et **l'évolution du climat**, mais ces manifestations sont beaucoup plus diverses et traduisent l'atteinte d'un stade, dans l'évolution de la société technique, où émergent les interactions entre l'activité humaine et la planète. Il ne s'agit donc pas d'un problème temporaire mais d'une **détérioration durable** qui appellera dans les décennies qui viennent une vigilance et une action permanente.

Un des enjeux « sociétal » est de **développer un système global d'OT,** qui complète le système météorologique[59] et qui **réponde aux besoins de contrôle de l'environnement global.** L'édification d'un tel système pose un problème entièrement nouveau : comment promouvoir le développement, au niveau international, d'un système technique complexe et coûteux répondant à des enjeux, certes vitaux, mais qui n'apparaissent que lorsque le besoin d'une **gestion globale de la planète est reconnu**, au-delà de l'horizon des forces du marché et de l'horizon habituel des décisions politiques.

À l'approche du dixième anniversaire de la Conférence de Rio, l'Europe s'est engagée[60] à élaborer une stratégie qui intègre transversalement le **concept de développement durable** à tous les domaines politiques de l'Union Européenne (UE). Ce concept, véhiculé par le Rapport Brundtland (1987) vise à réconcilier le développement économique et social, la protection de l'environnement et la conservation des ressources naturelles. La définition la plus fréquemment citée du développement durable est celle qui figure dans ce rapport[61]. Il est défini comme « *le développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs* ». Pour donner une portée pratique au concept et en faire un catalyseur de changement, l'UE a décidé de se concentrer sur les principaux **défis au développement durable** qui touchent son territoire. En retenant comme critères de choix la gravité des problèmes, leur importance à long terme et leur dimension européenne, ces défis comprennent les changements climatiques, la pression croissante sur certaines ressources naturelles essentielles (eau, biodiversité), la pauvreté et l'exclusion sociale,

[59] La prévision du temps est aujourd'hui le seul domaine civil où l'observation spatiale a accédé à un statut pleinement opérationnel. Les images donnent en effet accès, aussi médiocre que soit leur résolution spatiale et spectrale, à une vision d'ensemble des grands systèmes météorologiques et à leur déplacement et un besoin puissant exprimé par des interlocuteurs solvables est identifié. Pour répondre à ces besoins, il n'existe en Europe qu'un seul système spatial météorologique qui est géré par EUMETSAT.

[60] Conclusion du Conseil européen sur l'environnement et le développement durable, Conseil européen d'Helsinki, 10-11 décembre 1999.

[61] De nombreuses autres définitions « opérationnelles » du développement durable ont été proposées depuis, mais aucune ne peut satisfaire simultanément les besoins légitimes de tous les individus, des peuples, des entreprises ou des organisations qui cherchent à le mettre en oeuvre. Cependant, quelle que soit la définition utilisée pour ce concept et la façon de le mettre en application, l'intégration en un tout opérationnel des dimensions sociales, économiques et environnementales du développement reste toujours le fondement pour l'atteinte d'un développement qui est durable.

le vieillissement de la population, les embouteillages et la pollution. Parallèlement à ces défis, l'importance croissante de la Politique Etrangère et de Sécurité Commune de l'UE a mis en exergue l'interaction entre la dimension humaine de la politique environnementale et les questions larges liées à la sécurité européenne, en termes de contexte géopolitique et de bien-être du citoyen.

Ces responsabilités imposent à l'UE de développer des capacités indépendantes d'observation, de surveillance et d'évaluation, à l'appui des politiques régionale, environnementale et de sécurité. L'Europe peut s'appuyer sur l'expérience acquise dans divers contextes de manière à concevoir une approche structurée de la collecte, de l'analyse, et de la diffusion des données où l'information satellitaire fournit une base solide et cruciale. Dans ce cadre, plusieurs initiatives de conception de systèmes spatiaux suffisamment concurrents et complémentaires, lesquels seront configurés pour fournir des services de suivi et d'information, sont actuellement en phase de définition.

L'initiative **GMES** (**Global Monitoring for Environment and Security**) « *Surveillance Mondiale pour l'Environnement et de la Sécurité* » fait le lien entre, d'une part, les exigences politiques de l'Europe et, d'autre part, les possibilités techniques et opérationnelles avancées qu'offrent les satellites d'observation. En définissant cette stratégie de développement durable, l'UE s'est fixée l'objectif ambitieux de mettre en place d'ici 2008 une capacité européenne indépendante de **surveillance globale de l'environnement et de la sécurité**. Le principal objectif de GMES est d'améliorer la cohérence et la pertinence des systèmes de surveillance et des programmes de développement, ainsi que de transformer les expériences en systèmes de routine opérationnels. Ceci nécessite d'une part, d'améliorer la **fourniture d'informations** utiles à l'utilisateur, le décideur politique et le citoyen ; et d'autre part, de **renforcer les activités de recherche** ainsi que le **développement d'applications** spécifiques à l'environnement **fondées sur les technologies de l'information**. Par conséquent, l'initiative GMES englobe de nombreuses approches et exploite pleinement les capacités de surveillance de l'OT. La contribution des sciences spatiales à cette initiative aura pour effet de renforcer (et non de remplacer) et de sécuriser les systèmes de surveillance grâce à une utilisation plus efficace de la technologie.

GMES concentre ses efforts sur les besoins spécifiques de champs d'application divers[62] et sur la prise en compte des données/informations dans le cadre commun de référence de l'infrastructure pour l'information spatiale en Europe (INSPIRE).

La définition des exigences européennes en matière d'informations environnementales et de sécurité dans le contexte de GMES devrait donner un élan politique fort pour rationaliser divers initiatives et projets satellitaires en Europe (ESA, nationaux, bilatéraux). En même temps, l'**identification des lacunes** et la **mobilisation des ressources** sont nécessaires pour lancer de nouvelles initiatives en rapport avec l'exploitation des informations satellitaires et imprimer un mouvement vers une coordination effective et un plan d'action global cohérent.

[62] Les champs d'application concerne (De Groof, 2003) : l'évolution de l'occupation des sols (en zones urbaines, côtières, pour les écosystèmes et paysages, pour les sites de protection de la nature… ; le stress environnemental (dû à la désertification, la dégradation des sols, l'érosion côtière, la pollution organique, la déversement des hydrocarbures) ; la surveillance mondiale de la végétation, des océans, de l'atmosphère ; le soutien à l'aide au développement régional ; les systèmes de gestion des risques, systèmes de gestion des crises et d'aide humanitaire (inondations, incendie de forêts, marées noires, stabilité) ; les outils de gestion de l'information (ESDI).

2.2.3 Conclusion

Les systèmes d'OT joueront un rôle de plus en plus important dans la SI. Même si les Etats-Unis ont acquis une avance technologique importante, « *il n'y a pas décrochage définitif* » (Boucheron, 2001). Afin d'assurer sa liberté d'action, l'Europe se doit de jouer un rôle dans la **définition et la conception** de systèmes performants, dans l'établissement de la réglementation et des futures normes. Les programmes Helios II (militaire) et Pléiades (dual), complété par le système italien Cosmo-Skymed, arrivent ainsi au bon moment.

En effet, l'espace apporte une nouvelle dimension à de nombreux domaines de la science et de la technologie, et contribue à une meilleure compréhension du monde dans lequel nous vivons.
En Aménagement du territoire et en Urbanisme, la collecte de données géographiques homogènes sur les territoires et le milieu urbain en particulier, adaptées aux besoins des utilisateurs n'est pas toujours aisée. Les données sont soit trop anciennes, soit trop lourdes à exploiter (trop détaillées), soit surtout peu adaptée au découpage du territoire, en particulier pour les nouvelles structures intercommunales. Or les données de l'OT, représentent, maintenant, et encore plus dans les temps à venir, une source inégalée de données géographiques à jour, sur de petits ou de grands territoires, des échelles locales aux échelles régionales.
De plus, les images satellites THR sont amenées à jouer un rôle opérationnel important, en complément d'autre sources de données, car elles permettent d'accéder à l'information pertinente permettant la conduite d'une politique d'aménagement orientée vers le Développement Durable.

2.3 CONCLUSION

La Société d'aujourd'hui et encore plus celle de demain repose en grande partie sur les NTIC. Une des bases de l'économie des NTIC est l'IG numérique, notamment à grande échelle, dont une grande partie provient de l'Etat. L'IG numérique produite par l'Etat est donc publique.
Il s'agit de disposer d'infrastructure nationale de données géographiques qui contienne les éléments d'une stratégie de diffusion des données géographiques s'appuyant sur des politiques, des règlements et des normes nationales. L'analyse des expériences des autres pays est intéressante et doit être prise en compte mais les contraintes politico-administratives n'étant pas les mêmes, un modèle organisationnel qui fonctionne bien ailleurs, n'est pas nécessairement une garantie. La solution n'est donc pas facile.

Il faut comprendre que la demande actuelle en IG numérique à grande échelle (RGE en France), dans le domaine de l'Aménagement du territoire et de l'Urbanisme, ne correspond qu'à la pointe d'un iceberg et qu'un **effort de prospective est nécessaire**. En effet, avec les NTIC, les pratiques des utilisateurs, mais aussi l'offre des producteurs se modifient car les coûts de collecte, de transfert, de stockage sont réduits. L'organisation de l'offre est sans doute l'opération la plus difficile parce qu'elle nécessite la participation de nombreux acteurs de tous les niveaux d'intervention, des grands utilisateurs publics aux entreprises privées (Rochon, 1999).

Les données images font partie intégrante des besoins des utilisateurs en IG numérique à grande échelle. En effet, les images satellites, représentent, maintenant et encore plus dans les temps à venir, une source inégalée de données géographiques à jour et homogènes sur un territoire.

Face aux enjeux de l'image (stratégique, politique et humain), il et nécessaire **d'évaluer les besoins en informations des utilisateurs**, d'analyser si les systèmes existants couvrent les besoins et si de nouveaux systèmes sont nécessaires. Sur la base de l'exemple de la météorologie, qui est un bon exemple de modèle de fonctionnement, il apparaît qu'à partir d'une base de services publics bien établis, des services privés se développeront ultérieurement. De plus, comme, les aménageurs et les urbanistes ne « mesurent » pas toujours ce que les images satellites peuvent leur apporter, il est indispensable d'identifier les **causes et les facteurs limitant** la diffusion et l'utilisation des images satellites dans les pratiques urbaines et de proposer des solutions.

A partir de ce constat, nous allons, dans la **deuxième partie de ce mémoire**, synthétiser la manière dont les besoins des utilisateurs actuels (notamment les collectivités locales) et potentiels sont exprimés et recensés dans la littérature française (Chapitre 3). Un état de l'art de l'offre actuelle en IG de type image est ensuite réalisé (Chapitre 4). Puis, l'adéquation entre la demande (chapitre 3) et l'offre (chapitre 4) est vérifiée au Chapitre 5.

2ème PARTIE

EVALUATION DE L'ADEQUATION ENTRE L'OFFRE ET LA DEMANDE EN IG ET EN DONNEES IMAGES

Chapitre 3 :

LES BESOINS DES UTILISATEURS EN MILIEU URBAIN : EVALUATION DE LA DEMANDE

SOMMAIRE

INTRODUCTION 109

3.1 ETAT DE L'ART DE LA DEMANDE DES UTILISATEURS : DES BESOINS NON FORMALISES ? 111

3.1.1 Des besoins spécifiques selon le type d'applications urbaines ? (H1) 111
3.1.2 Les SIG et leur utilité (H2) 113
3.1.3 Les données images et leur utilisation (H3 à 5) 118

3.2 UNE ENQUETE SUR L'UTILISATION DES DONNEES GEOGRAPHIQUES DANS DES APPLICATIONS URBAINES 119

3.2.1 Les données à collecter : la définition de mots-clés 120
3.2.2 Une enquête en trois étapes 120

3.3. L'ANALYSE ET L'INTERPRETATION DES RESULTATS 125

3.3.1 Approche analytique des résultats 125
3.3.2 Interprétation synthétique des résultats 143

3.4 CONCLUSION – FORMALISATION DES BESOINS ET IDENTIFICATION DES NICHES POTENTIELLES D'APPLICATION 157

Puissant A. and Weber C., 2001, *The use of image in Geographical Information Market : results of an inquiry on the needs of end-users in urban studies*, *in* Proceedings of the 7th EC-GI & GIS WORKSHOP, EGII – Managing the Mosaic, , 13-15 June 2001, Potsdam, Germany.

Puissant A. & Weber C., 2003a, Les images à Très haute Résolution Spatiale : une source d'information géographique en milieu urbain ? État des lieux et perspectives, *L'Espace Géographique*, n°4 (sous presse).

INTRODUCTION

Le chapitre précédent a démontré qu'avec l'utilisation croissante des NTIC, les pratiques urbaines des utilisateurs changent (cf. § 2.2.1) car de nombreuses sources de données deviennent accessibles via Internet (bouleversement technique). Si les données existantes ne répondent pas à leurs attentes, les utilisateurs peuvent intégrer et localiser eux-mêmes leur propre information. Ils deviennent alors producteurs de données, susceptibles d'être diffusées et échangées (bouleversement organisationnel). De plus, ces changements s'accompagnent de progrès technologiques qui modifient les pratiques urbaines, principalement avec les satellites de positionnement et de navigation qui permettent une localisation de plus en précise de tous les objets de la terre, et avec la multiplication des satellites THR effectifs (IKONOS, QUICKBIRD, ORBVIEW) ou annoncés (EROS, …), qui atteignent des résolutions proches de celles de la photographie aérienne. Ces possibilités nouvelles modifient radicalement les méthodes de travail des producteurs et des utilisateurs de l'IG. Face à cette « révolution numérique », un effort de prospective sur les besoins des utilisateurs est indispensable.

Par ailleurs, dans le cadre de l'objectif général de cette deuxième partie, afin de vérifier si les données et les produits actuels couvrent les besoins des utilisateurs en milieu urbain, les besoins des utilisateurs doivent être précisés. Dans ce contexte, cinq hypothèses de travail émises autour de trois thèmes majeurs sont précisées :

Thème 1 : Les utilisateurs et leurs applications en milieu urbain

Hypothèse de travail n°1 :
Les utilisateurs ont recours à des informations spécifiques en fonction de leurs applications (objets urbains, échelle d'utilisation, précision, mise à jour, …).

Thème 2 : L'utilité du SIG

Hypothèse de travail n°2 :
Les SIG sont utilisés comme unique outil d'administration et de structuration des données.

Thème 3 : L'utilisation de l'image dans les SIG pour répondre à des applications urbaines

Hypothèse de travail n°3 :
Les données « images » sont peu ou pas utilisées par les utilisateurs du milieu urbain

Hypothèse de travail n°4 :
Les utilisateurs utilisent les données images dans les SIG comme simple support de communication.

Hypothèse de travail n°5 :
Les obstacles à l'utilisation des données images dans les SIG sont liés à l'inadaptation de leur résolution spatiale et à leurs coûts.

Dans un premier temps, la **section 3.1** présente un état de l'art de la demande des utilisateurs afin de vérifier si les informations disponibles permettent de répondre aux questions soulevées par les hypothèses de travail. Plus précisément, le paragraphe 3.1.1 présente le résultat de l'état de l'art sur les utilisateurs en milieu urbain et leurs applications, le paragraphe 3.1.2 analyse l'utilisation des SIG dans les tâches urbaines et le paragraphe 3.1.3 analyse l'utilisation des données images (aériennes et satellites) dans des applications urbaines.

Dans un deuxième temps, la **section 3.2** présente l'enquête réalisée auprès des acteurs de l'Aménagement et de l'Urbanisme, afin de combler les carences d'informations (mises en évidence dans la section précédente) sur les besoins et les attentes des utilisateurs en milieu urbain. Les données collectées et la méthodologie de l'enquête (modes de collecte et traitements effectués) sont détaillés, respectivement aux paragraphes 3.2.1 et 3.2.2.

La **section 3.3** présente d'une part une approche analytique des résultats de l'enquête (§ 3.3.1), puis une interprétation synthétique des résultats (§ 3.3.2) qui permet de répondre aux hypothèses de travail.

Pour conclure, les besoins et les niches d'application potentielles des images satellites sont formalisés, avant leur confrontation avec l'offre, réalisée dans le chapitre 4.

3.1 ETAT DE L'ART DE LA DEMANDE DES UTILISATEURS : DES BESOINS NON FORMALISES ?

L'objectif de cette section est de vérifier si les informations disponibles dans la littérature, permettent de répondre aux questions soulevées par les hypothèses de travail. Le paragraphe 3.1.1 présente le résultat de l'état de l'art sur les besoins des utilisateurs en milieu urbain et leurs applications, le paragraphe 3.1.2 analyse l'utilisation des SIG et le paragraphe 3.1.3 celle des données images aériennes et satellites, dans les applications urbaines.

3.1.1 Des besoins spécifiques selon le type d'applications urbaines (H1)

Très peu d'études qui identifient et analysent les besoins des utilisateurs en termes d'applications en milieu urbain sont actuellement disponibles. Des rapports émanant des cabinets de consultants sont souvent « confidentiels » et payant. De plus, avec le développement rapide des nouvelles technologies (communication et spatiale), la réalisation d'un état des lieux à un temps *t* ne peut être exhaustive. Toutefois l'analyse d'un certain nombre d'études et de rapports récents, qui abordent cette notion de besoin, permet de préciser les **critères** pris en compte pour **caractériser la demande en milieu urbain** en termes d'applications, et selon le type d'utilisateurs.

Cette notion de besoin est ainsi abordée dans des documents (rapports/études), produits dans le cadre de réflexions :

- **européennes** : sur l'entrée de l'Europe dans la SI et la diffusion des données au sein des organismes publics (Livre vert, 1998) ;
- **nationales** : rapports réalisés, d'une part, à la demande du ministère (Lengagne, 1984, 1999) ou d'un organisme associé de type CNIG, AFIGEO (Livre Blanc, 1998), ou réalisés par des organismes privés de consultance (Ted Alitec&Siage, 1997), et d'autre part, en réaction (réponse) aux propositions émises dans ces différents rapports (européens ou nationaux), par des associations d'utilisateurs spécialisés (Association des Ingénieurs des Villes de France, AIVF ; Association Professionnelle des Consultants Indépendants en Géomatique, APCIG ; Syndicat Professionnel de la Géomatique, SPDG) ;
- **locales** : rapports internes préliminaires à la mise en place d'un SIG dans une collectivité locale (rapport interne des municipalités de Chambéry et Grenoble) ou mémoires de recherche d'universités ou de grandes écoles (Eckmann, 1997 ; Ravalet et Panet, 2001 ; Pornon, 1998).

L'analyse de l'ensemble de ces documents met en évidence une caractérisation de la demande, dans les **trois catégories d'utilisateurs** identifiés au chapitre 1 (cf. § 1.1.1.2), les techniciens, les aménageurs et les décideurs, complétées par une **quatrième catégorie** d'utilisateurs, les « administrateurs » de données. Chaque catégorie est ainsi différenciée selon (1) les applications ou tâches réalisées, (2) les données utilisées « en entrées » ou « input », et (3) les documents produits « en sortie » ou « output » (Figure 3.1).

Ces catégories peuvent être replacées dans la **pyramide de décision** de Chevalier (1990). A chaque catégorie correspond un **niveau de responsabilité**, associé à un besoin en données de base, qui se distingue aussi bien par le volume de données nécessaires, que le niveau de généralisation, de précision et de forme sous laquelle cette information doit être remise aux intéressés. Chaque niveau

est en interaction avec le niveau supérieur.

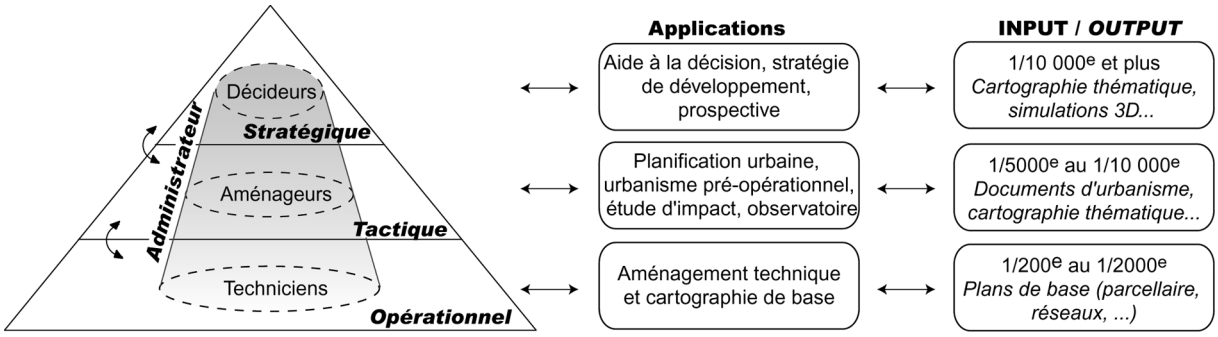


Figure 3.1 - La pyramide de décision des acteurs et des besoins associés (Puissant, 2000 : modifié de Chevalier, 1990).

Le **premier groupe** d'utilisateurs, à la base de la pyramide, qui correspond à des **techniciens** « gestionnaires du territoire », regroupe des organisations de droits publics (administrations et collectivités) ou privés (entreprises de type exploitants de réseaux, par exemple). Leurs activités comportent une forte composante géographique (experts en SIG). Ils constituent le cœur du marché de l'IG. Leurs applications nécessitent des **données de base à grande échelle** (du **1/200e au 1/10 000e**, issus de levés topographiques, de plans cadastraux, …), et une grande **précision** géométrique (entraînant la numérisation et le stockage de gros volumes d'informations). Les traitements fréquents mais de courte durée se font par l'intermédiaire de requêtes géographiques. Les **sorties** sont de type textuelle, numérique ou alphanumérique (surface de parcelle, liste des parcelles appartenant à une personne) ou encore des sorties cartographiques précises pour des plans de réseaux par exemple. Ce groupe d'utilisateurs peut être divisé en deux sous-groupes définis par les échelles d'applications spécifiques. En effet, les applications liées à **l'aménagement technique** (exploitants de réseaux, par exemple) demandent des données de base précises, du **1/200e au 1/500e**, tandis que la **cartographie de base** (topographie, espaces verts, …) requiert plutôt des données de l'ordre du **1/1000e et 1/2000e** (Galaup et Deboissezon, 1997).

Le **deuxième groupe** qui rassemble les **aménageurs** « analystes du territoire », correspond à des organismes dont le point commun est de chercher à connaître (par des observatoires), comprendre, analyser, prévoir le fonctionnement d'un territoire ou d'une de ses composantes. Il regroupe les **Agences d'Urbanisme** et **Bureaux d'Etudes en Aménagement**. Les applications concernent la planification urbaine, l'urbanisme pré-opérationnele, les études d'impact (étude de la possibilité d'implantation d'une école, d'une zone industrielle, préparer et aider la réhabilitation d'un quartier), les études d'ingénierie routière (semblables aux précédentes mais qui requièrent des fonctionnalités spécifiques en raison du domaine d'application particulier comme la construction de routes et autoroutes. Les données manipulées sont à la fois **multisources** et **multi-échelles. Elles proviennent** en partie du niveau opérationnel. A l'inverse du groupe G1, une grande précision n'est pas nécessaire. Par contre, des traitements de type analyse spatiale sont souvent requis. Les données utilisées ont des **échelles moyennes** (du **1/5000e au 1/10 000e**, suivant l'étendue du territoire concerné) et proviennent de documents cartographiques, de photographies aériennes, d'orthophotos, de MNT. Les sorties ne nécessitent pas de tracé précis (cartographies thématiques, simulations et visualisation 3D, …).

Le **troisième groupe** qui réunit les décideurs et les élus, sont demandeurs de « synthèses géographiques » (par exemple, pour cartographier les effets de mesures sociales, ou d'entreprises mesurant la pénétration du marché par département, quartier, …) en termes d'édition **thématique** (sup-

port de communication) et d'analyse de distribution des phénomènes, d'événements, d'objets ou de personnes, dans un **objectif de prise de décision**. Les données utilisées sont généralement des données cartographiques à petite et moyenne échelle du **1/10 000e au 1/1000 000e**. Une grande précision n'est pas nécessaire. Les traitements, consistent à habiller des cartes et à réaliser des superpositions thématiques, des scénarii d'aménagement (simulation 3D, …).

La **quatrième catégorie** d'utilisateurs, **transversale** aux trois autres, correspond aux personnes chargées de l'**administration et de la gestion** quotidienne des **données** intégrées **dans un SIG**. Leur activité concerne l'archivage, la mise en forme, le stockage, … des données (géographiques ou non) manipulées par tous les autres niveaux de responsabilité. En règle générale, l'objectif essentiel est de faciliter l'accès et l'utilisation aux données, dans différents services d'une administration ou d'une collectivité territoriale. Ces « administrateurs » de données ont besoin de données normalisées pour faciliter leur intégration dans un SIG.

Toute typologie reste réductrice car la distinction entre, par exemple « les gestionnaires » et « les aménageurs » laisse supposer des cloisons entre les catégories, alors qu'il ne s'agit que d'une distinction entre type d'utilisations plutôt qu'entre type d'utilisateurs. De plus, des services distincts d'une même organisation peuvent aussi se retrouver dans différents types d'utilisateurs. Les meilleurs exemples sont représentés par les collectivités territoriales.

Finalement, les informations disponibles dans la littérature permettent de vérifier en partie l'**hypothèse de travail n°1** et d'affirmer que « les utilisateurs ont recours à des informations spécifiques en fonction de leurs applications ». Toutefois, elles ne sont pas suffisantes car elles ne permettent pas de préciser les besoins des utilisateurs en termes d'**objets urbains utiles**, et **manquent de précision**. Ainsi, les utilisateurs ont besoin de données mises à jour régulièrement (selon quelles fréquences ?), d'une petite ou grande précision (en termes de centimètres, mètres), de données de bonne qualité (selon quels critères ?, …).

3.1.2 Les SIG et leur utilité (H2)

En France, de nombreuses études tentent régulièrement de décrire l'état des lieux de l'utilisation des SIG, en terme de logiciel. La plupart de ces études analysent ainsi la diffusion des SIG dans les organismes, tandis que très peu abordent leur utilisation réelle en terme de fonctionnalités utilisées. Dans ce contexte, le paragraphe 3.1.2.1 présente l'état des lieux de la diffusion des SIG en France, et le paragraphe 3.1.2.2, les fonctionnalités des SIG les plus utilisées, parmi les acteurs de l'Aménagement du territoire et de l'Urbanisme.

3.1.2.1 La diffusion des SIG en France

Les informations provenant de l'Observatoire Géomatique (1998 et 2000[63]) réalisés par la Société IETI Consultants, de l'Annuaire 1998 et 1999 des SIG du Ministère de l'Equipement[64], des Transports et du Logement, et de nos propres recherches (sites Internet des organismes) sont analysés. Ces éléments n'indiquent que des **tendances sur la situation des acteurs français de l'Aménagement du territoire et de l'Urbanisme, en France en 2000**. Les tendances relevées en

[63] La mise à jour de cet observatoire est réalisée annuellement depuis 1994. Il est relativement exhaustif, mais les sources ne sont pas toujours très sûres (Roche, 1997).
[64] Cet annuaire, réalisé par le CERTU, est mis à jour annuellement, depuis 1997.

2000, sont mises à jour par les données issues de l'Observatoire Géomatique 2002 (Pornon, 2002). Un certain recul doit guider leur interprétation car l'ensemble des utilisateurs SIG du pays ne sont pas intégrés. De plus, il est plus facile d'observer la situation du secteur public que du secteur privé.

3.1.2.1.1 Situation dans les collectivités territoriales et les EPCI

Les informations disponibles montrent qu'il existe un lien entre la taille des communes et la présence d'un SIG. Les **villes de plus de 100 000 habitants** (intercommunalités comprises) sont équipées de façon quasi systématique (77% des villes en 1999, selon le rapport du Ministère, 1999). Ce chiffre décroît rapidement avec la taille des villes : environ 64% des villes de taille comprise **entre 50 000 et 100 000 habitants** et 16% des **villes entre 10 000 et 50 000habitants** sont équipées. Si l'on ne tient pas compte des 17 000 intercommunalités très faiblement équipées en SIG, et que l'on considère les intercommunalités plus structurées (CC, CA, CU et SAN), le taux d'équipement grimpe à 10% en 2002. La Figure 3.2 montrent que l'équipement en SIG entre 1998 et 2000 est le plus important pour les CC et les SIVOM. Par contre, il est moins élevé pour les CU et les SAN. Ce secteur étant en constante évolution, l'enjeu pour la décennie à venir est de permettre aux intercommunalités et aux villes moyennes et petites de s'équiper en SIG utiles à leurs besoins (Pornon, 2002).

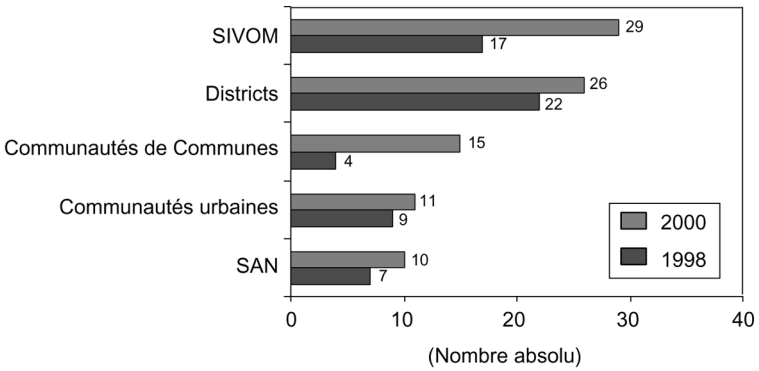


Figure 3.2 - Evolution du nombre de SIG dans les collectivités territoriales entre 1998 et 2000 (IETI, 1998 à 2002).

A l'échelon supérieur, près de 40% des **Conseils Généraux** sont équipés en 1996, 60% en 1998 et 65% en 2000 (IETI Consultants). La progression continue en 2002 (70%). Ces chiffres indiquent une progression importante depuis le début des années 90 (Figure 3.3). Miellet (1996) précise que ces chiffres cachent des réalités différentes car très peu des CG sont équipés de système transversal, véritablement multi-utilisateurs ; les autres ne disposent souvent que de petits outils SIG isolés, dédiés à une tâche particulière et souvent développés en interne par des personnes « sensibles » à ces techniques.

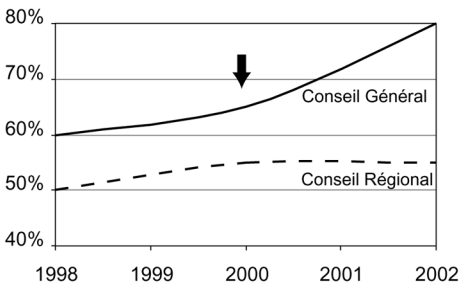


Figure 3.3 - Evolution du nombre de SIG dans les CG et CR entre 1998 et 2000 (IETI, 1998 à 2002).

Les principales applications couvrent les domaines d'applications privilégiés des départements (gestion des réseaux routiers, transport scolaire, …). Seul 50% des **CR** sont équipés. Ce chiffre, constant depuis 1996, traduit la relative jeunesse des projets de SIG régionaux dans les domaines d'intervention orientés vers des actions de planification, et de coordination. La situation des collectivités territoriales en 2002 est présentée en Annexe 3.1 (carte 1 à 4).

3.1.2.1.2 Situation dans les services déconcentrés de l'Etat

En 1998, vingt-cinq **DDE** n'étaient pas équipées, alors qu'en 2000, une seule ne l'était pas. L'annuaire du METL recense le nombre de « sites » SIG c'est-à-dire le nombre d'implantation au sein du service d'aménagement d'une DDE. Ils indiquent que depuis ces trois dernières années, les DDE ont densifié leurs sites (plus de la moitié, environ 60%). Les mieux équipées sont localisées en région parisienne, PACA, Languedoc-Roussillon, Rhône-Alpes, et dans l'Est de la France. Dans une moindre mesure, le Nord, la Bretagne et quelques département de l'Ouest sont équipés (Annexe 3.1).

Les **CETE** sont tous équipés en SIG le **début des années 90**. Ils ont commencé à s'équiper notamment pour des études liées l'environnement, et à la conception routière.
L'annuaire nous renseigne également sur l'état d'avancement des activités SIG et distingue pour chaque type d'organismes interrogés, les SIG opérationnels, en cours de développement, prévu ou soldé. Dans les CETE, 50% des postes SIG sont opérationnels contre 38% dans les DDE. Cette différence s'explique par une activité SIG plus ancienne dans les CETE et des obligations de rendus différents.

Sur les vingt-deux **DIREN**, une seule n'est pas équipée (Basse-Normandie). Elles se sont équipées au milieu des années 90, pour des applicatifs liés à la gestion environnementale du patrimoine, …
Si aucune information n'est disponible sur l'équipement des DRIRE, avant 2002, toutes les **DRIRE** sont équipées en 2002. On peut supposer que la progression est la même que pour les DIREN (politique incitative d'équipements).

3.1.2.1.3 Situation dans les établissements associatifs et privés (Agences d'Urbanisme Gestionnaire des réseaux, , Bureaux d'Etudes, …)

Plus de 95% des **Agences d'Urbanisme** sont actuellement équipées en SIG ; seules celles d'Angers et de Nouméa ne seraient apparemment pas équipées (en 2000). Dans plus de la moitié des cas, un pôle SIG existe (Etude confidentielle IGN, 2000).

Pour les **gestionnaires de réseaux**, il n'existe pas de statistiques précises. Les organismes équipés sont des gestionnaires de réseaux d'eau (eau potable et assainissement), de gaz et d'électricité (dont EDF/GDF) et de Telecom. Dans certaines CU, la mise en place du SIG s'est effectuée en partenariat avec les gestionnaires de réseaux locaux, comme par exemple à Strasbourg (Hugel, 2002). Pour le reste, une relance des projets SIG est amorcée chez des grands exploitants réseaux (EDF/GDF notamment). Celle-ci pourrait créer un « appel d'air » chez leurs homologues (Pornon, 2002). En effet, la tendance générale est que la plupart des gestionnaires de réseaux sont équipés ou sont en cours de réflexion afin de s'équiper dans de brefs délais. Souvent, des conventions existent avec les collectivités pour l'échange des données numériques à jour (Lyon, Bordeaux).

Pour les **bureaux d'études**, il est difficile d'obtenir des estimations sur l'équipement en SIG dans les domaines du géomarketing, du transport, du patrimoine, etc. Signalons simplement que la satisfaction des besoins de ce type d'organismes passe plus **par la commande de prestations**, que par l'équipement en outils (Pornon, 2002). En effet, ces dernières années, de nombreux bureaux d'études et sociétés spécialisées dans les SIG se sont multipliés. Il s'agit de sociétés de consultants, ou de services, etc. La plupart sont recensées dans l'annuaire du secteur de l'IG (www.cnig.fr), au même titre que les organismes professionnels, les éditeurs de cartes, ou de logiciels.

A titre d'**exemple**, la Société « Générale d'Infographie » (http://www.generale-infographie.fr) a réalisé ces dernières années de nombreux projets SIG pour le Syndicat des Eaux de l'Île-de-France, la Compagnie des Eaux de Paris, les Compagnies Générales des Eaux de Lyon, Toulouse, Caen, Rouen, Rennes,..., la Direction des Services d'Eau et de l'Assainissement du Val-de-Marne, le Service des Eaux et d'Assainissement du Bas-Rhin, la Société des Eaux de Versailles et de Saint-Cloud, etc. Il apparaît que les gestionnaires de réseaux ont beaucoup plus tendance à s'adresser à un bureau d'étude spécialisé pour la mise en place de leur SIG, que les collectivités territoriales. A titre d'exemples, les applications aux réseaux représentent 30% de l'activité de la société, les collectivités locales 14%, l'environnement, 12%, les télécommunications, 14%, le ministère de la Défense, 15%, l'industrie, 11% et divers organismes tels que la RATP, … (3%).

En conclusion, les bases de données disponibles donnent une **indication sur le taux d'équipement** en SIG des différents acteurs de l'Aménagement et de l'Urbanisme, et une information sur le **taux de pénétration du marché** des SIG. Elles ne sont **pas complètement exhaustives**, et passent souvent sous silence un certain nombre d'informations extrêmement précieuses pour ce type d'analyse. Par exemple, la dimension temporelle des équipements (depuis quand les organismes sont-ils équipés ?), des informations sur l'état actuel d'utilisation (système réellement opérationnel ou non ?), sur le « niveau d'utilisation » (nature précise des utilisations : cartographie, analyse spatiale, …) et sur les utilisateurs (quels services ?), …, sont rarement mentionnés. Les résultats sont nécessairement partiels et très vite obsolètes, car le secteur est en constante évolution.

3.1.2.2 Les niveaux d'utilisation du SIG en France

L'analyse de l'**utilisation des SIG** par les acteurs fait l'objet de peu de publications (Pornon, 1993 ; Roche, 1997). Depuis leur apparition, l'engouement de nombreux organismes à l'égard des SIG (en particulier les collectivités locales) laissent supposer que leurs usages, comme outil d'analyse spatiale et de simulation, destinées à optimiser les prises de décision des élus, sont une réussite et répondent aux besoins des utilisateurs (Didier, 1990 ; Theriault, 2001). Toutefois, les différents auteurs soulignent la sous-utilisation des SIG dans différents organismes.

Les SIG demeurent, encore aujourd'hui, des **outils de techniciens** et dans une moindre mesure **de thématiciens** ; ils sont souvent **hors de portée de personnes non-spécialistes**, notamment celles qui prennent les décisions. Mises à part ces difficultés techniques de l'outil SIG, plusieurs raisons peuvent expliquer leur sous utilisation : des limitations liées aux données et une faiblesse des outils en termes d'accessibilité. Les données administrées le plus souvent de manière descriptive et géométrique, ne peuvent couvrir le caractère multicritère des activités d'aménagement. Des données à caractères socio-économiques sont souvent absentes. Les systèmes actuels sont donc le plus souvent dédiés à des activités techniques afin de fournir de l'information au niveau opérationnel (Laaribi *et al.*, 1993). Ils restent souvent uniquement utilisés pour stocker et cartographier en couches superposables des données de base. Seuls quelques organismes utilisent toutes les possibilités de représentation et d'analyse spatiale (CU de Lyon, de Strasbourg, ...).

L'enquête, réalisée par Roche (1997) a permis d'opposer certaines collectivités locales selon les utilisateurs principaux. Dans les **plus grandes villes** (plus de 100 000 habitants) les aménageurs deviennent des utilisateurs de plus en plus importants, les techniciens utilisent de façon quasi permanente les outils SIG, et les élus (voire les administratifs) n'utilisent quasiment jamais les outils SIG (du moins de façon directe). Les applications de « gestion opérationnelle » et les « études d'aménagement » constituent, à part égale, les principales applications. Par contre, dans **les villes moyennes** (entre 10 000 et 50 000 habitants), les applications de « gestion opérationnelle » sont beaucoup plus importantes que les « études d'aménagement ». Dans **les plus petites villes** (inférieures à 10 000 habitants), les administratifs utilisent directement et fréquemment l'outil SIG car la taille et le budget de la structure ne permet pas d'engager un technicien spécialisé.

La Figure 3.4 présente les relations existants entre quelques exemples d'applications urbaines, avec les fonctions des SIG les plus utilisées.

Applications urbaines	**Exemples de données**	**Fonctions de caractère général assumées par les SIG**						
		Mise à jour fichiers géographiques	Mise à jour fichiers statistiques	Visualisation Graphique (dessin)	Alimentation de rapports statistiques	Outil d'étude en Aménagement	Outil de gestion du territoire	Outil d'aide à la prise de décision
Maîtrise administrative	Levés des limites	■	■	■				
Exploitation des ressources naturelles	Géophysique, topographie, géologie, végétation	■	■	▒		■		
Suivi de la fiscalité et de la propriété	Levés cadastraux, enregistrement des mutations	■	■	■	▒			
Utilisation du sol	Autorisations d'occupation du sol, servitudes					■		
Zonage de l'utilisation du sol	POS, Documents de zonage	■	■	▒		■		
Infrastructures et constructions	Levés de Génie Civil, Géomorphologie			■		▒		
Construction et gestion des réseaux	Etat des lieux, localisation, profondeur, date de pose	■	■	■		▒		
Améliorations de la topométrie	Levés d'utilisation du sol	▒	▒	▒	■	▒	■	■
Inventaires statistiques	Population, Logement, Données sanitaires...			▒	■	■		■
Surveillance des risques	Périmètres, Statistiques, Incendies, Délits			▒	▒	▒	■	■
Gestion des ressources	Périmètres, Statistiques, Incendies, Délits	■	■	■		■	■	
Surveillance de l'Environnement	Gibier, Végétation, Air Eau, Sols ...	■	■	▒	■	■		■

■ Importante fonctionalité ▒ Fonctionalité secondaire

Figure 3.4 - Relations entre les applications urbaines et les fonctions du SIG (modifié de Dandermond, 1993).

Néanmoins de nombreux facteurs limitent encore la diffusion et l'utilisation quotidienne de l'outil SIG. Les **principales contraintes** d'utilisation sont, en premier lieu, liées aux données : qualité (en termes d'échelle, de précision, d'exhaustivité, …), acquisitions, échanges et disponibilité des données. Ensuite, des **contraintes techniques** (problèmes d'interface, disponibilité d'applications métiers), **sociale**s (formation, conflits de pouvoir) et **économiques** sont aussi des problèmes récurrents

dans l'utilisation des SIG (Sureau *et al.*, 2001). Il est par ailleurs souvent difficile de faire admettre aux utilisateurs que leurs méthodes (pratiques) sont parfois « dépassées » et pourraient être améliorées par l'utilisation du SIG (automatisation de certaines procédures). Des contraintes supplémentaires liées au manque d'implication, de sensibilisation, et de connaissance des utilisateurs ne favorisent pas l'utilisation des SIG.

En conclusion, l'analyse de la diffusion des SIG parmi les acteurs de l'Aménagement et de l'Urbanisme et de leur niveau d'utilisation permet de **nuancer l'hypothèse de travail n°2** et d'affirmer que si la principale utilisation du SIG reste l'administration des données (archivage, stockage, mise à jour), des changements sont en cours, avec une **diversification** et **multiplication** des champs d'application des SIG (SIG multi-tâches) et une utilisation de plus en plus thématique. Toutefois ces informations restent vagues quant à l'utilisation concrète des fonctions SIG tel que l'analyse spatiale (traitements effectués selon le mode vecteur ou raster). Des informations complémentaires dans ce domaine permettraient de préciser le niveau « réel » d'utilisation des fonctions du SIG.

3.1.3 Les données images et leur utilisation : état de l'art de la demande (H3 à H5)

Rare sont les études qui analysent uniquement la demande des utilisateurs en données images (aériennes ou satellites). A l'**échelle européenne**, seul un rapport d'étude, réalisé à la demande du Centre of Earth Observation (CEO) sur « *l'identification des tâches et des besoins des utilisateurs dans des villes européennes* » (Galaup et Deboissezon, 1997), analyse l'utilisation des images satellites par plusieurs organismes dans différentes villes européennes. Cette étude précise ainsi le type de produits images actuellement utilisé selon les catégories d'utilisateurs et d'applications définies ci-dessus (Tableau 3.1). Les photographies aériennes analogiques et numériques (orthophotographies) sont actuellement les produits images les plus utilisés pour les applications du 1/200e au 1/10 000e. Les images satellites HR de type LANDSAT et SPOT sont utilisées uniquement dans des applications de prospective urbaine à des échelles du 1/25 000e et plus.

Tableau 3.1 – Données images actuellement utilisées dans des applications urbaines.

		Images utilisées actuellement	
Applications	**Echelles**	**Résolution**	**Images**
Niveau opérationnel :			
- Aménagement technique	1/200e au 1/500e	20 cm	orthophotographies
- Cartographie de base	1/1000e au 1/2000e	20 à 50 cm	orthophotographies
Niveau tactique : Planification du territoire	1/5000e au 1/10 000e	1 à 5 m	Photographies aériennes analogiques et orthophotographies
Niveau stratégique :			
Prospective	1/10 000e au 1/1000 000e	≥ 5 m 10 à 30 m	Images satellites HR (LANDSAT, SPOT)

A l'**échelle nationale**, aucune étude n'existe. Seules quelques informations sur la demande des utilisateurs en termes de produits orthophotographiques, dans le cadre de la mise en place du RGE, sont disponibles. Pour rappel, elles font parties des données de base demandées sur tout le territoire avec une précision métrique (50 cm de résolution spatiale), en zones rurales, et décimétriques en zones urbaines (25 cm de résolution). Pour les images satellites, aucune information sur les besoins des utilisateurs en termes de caractéristiques de « produit-système » (images satellites avec ses caractéristiques de résolution spatiale, spectrale, temporelle, …), ou en termes de produits à valeur ajoutée (cf. chapitre 4) directement utilisables dans des applications urbaines, ne sont disponibles.

Ces informations permettent d'**infirmer l'hypothèse de travail n°3** car les données « images » sont utilisées dans des applications urbaines (uniquement des orthophotographies) à des échelles du 1/200e au 10 000e. Par contre, les images satellites ne sont utilisées que par une minorité d'utilisateurs à des échelles du 1/25 000e et plus (analyse des changements d'occupation des sols). Les informations disponibles ne sont cependant **pas suffisantes** pour vérifier les hypothèses de travail n°4 et 5, et définir de nouveaux capteurs satellites ou de nouveaux produits. En effet, les producteurs d'images ont besoin de connaître très précisément les **objets urbains utiles** avec leurs caractéristiques « système » de résolution spatiale (échelle d'utilisation), spectrale (couleur), temporelle (mise à jour), et de restitution 3D (Stéréoscopie), en fonction de leurs applications (y compris les délais de livraison). Ils ont également besoin d'identifier les **freins et les facteurs bloquant** à leur utilisation afin de compléter leur offre.

En conclusion, les informations disponibles dans la littérature en termes (1) d'applications et d'objets urbains utiles, (2) de niveau d'utilisation des SIG, et en particulier (3) en termes de caractéristiques d'images brutes et de produits à valeur ajoutée, ne sont pas suffisants pour dresser un état de l'art complet de la demande des utilisateurs et pour répondre à l'objectif pratique de cette recherche et définir les caractéristiques de produits « systèmes » et à valeurs ajoutées, adaptés aux applications urbaines. Pour pallier ce manque d'informations indispensable à l'identification de la demande, une collecte d'informations est nécessaire. **Une enquête** a donc été réalisée **auprès des acteurs de l'Aménagement du territoire et de l'Urbanisme**.

3.2 UNE ENQUETE SUR L'UTILISATION DES DONNEES GEOGRAPHIQUES DANS DES APPLICATIONS URBAINES

Quel que soit le domaine d'application, **faire préciser aux utilisateurs leurs besoins** n'est **pas un exercice facile** car cela demande de borner clairement le domaine d'application, de formaliser les données utiles, les manipulations effectuées pour produire l'information et le produit attendu en sortie pour répondre à une application ou à une catégorie d'applications. Il s'agit aussi de formaliser les besoins, en termes d'objets urbains et d'attributs (caractéristiques réellement utiles), si possible en référence aux nomenclatures et dictionnaires des données existants. Le plus souvent, les utilisateurs ne se sont jamais explicitement posés la question de connaître ce dont ils ont réellement besoin avant de se lancer dans une application ou ne savent pas exactement ce qu'ils veulent car les limites entre chaque application ne sont pas toujours nettes. Ce n'est que très récemment que ce type d'enquête est pratiqué dans les collectivités territoriales, lors de la mise en place d'un SIG, par exemple.

Dans ce contexte, puisque la recherche documentaire n'a pas permis de recenser les besoins et que l'observation directe ou indirecte ne serait pas adaptée, compte-tenu du caractère particulier des informations recherchées, leur collecte est effectuée par une enquête (questionnaire et entretiens), seul moyen de production verbale de l'information (Blanchet *et al.*, 1992). Les informations à collecter sont répertoriées (§ 3.2.1), avant de présenter l'enquête (§ 3.2.2).

3.2.1 Les données à collecter : la définition de mots-clés

La définition des informations à collecter est une phase déterminante car la quantité d'informations, sa nature, et son degré d'accessibilité conditionnent le succès ou l'échec de l'effort de vérification (Mace, 1988). Il faut procéder de manière méthodique et ne recueillir que les faits pertinents. Dans ce cadre, des « mots-clés » c'est-à-dire des « thèmes » pour lesquels les informations sont recherchées, on été définis. En effet, ils permettent de rendre les hypothèses de travail opératoires et de classifier les observations réalisées.

Quatre mots-clés ou **thèmes utiles** pour vérifier nos hypothèses ont été identifiées et ont permis de sérier les données à collecter (Tableau 3.2).

Tableau 3.2 - Thèmes et données à collecter.

	Mots-clés	Données a collecter
Hypothèse n°1	Applications	Exemples d'applications Sources de données pour répondre à ces applications Utilité du SIG pour répondre à ces applications (niveau d'utilisation) Besoin de nomenclature de référence Problèmes rencontrés lors de leur utilisation (nomenclature)
	Objets urbains et Attributs	Besoins en objets ou zones à identifier pour récolter les informations Caractéristiques de ces objets ou zones (précision géométrique, échelle, fréquence de mise à jour)
Hypothèse n°2	SIG	Présence d'un SIG Ancienneté de l'organisme dans la pratique des SIG Connaissance des logiciels utilisés, Niveau d'équipement en termes de bases de données et de couches d'informations (produites ou achetées) intégrées dans le SIG.
Hypothèses n°3 – 4 - 5	Images (orthophoto, images satellites) et Utilisations	Présence d'une image et les raisons de l'acquisition Raisons de la non utilisation d'une image (freins à l'utilisation) Producteur de cette image Caractéristiques (taille du pixel, mise à jour attendue, date de la 1ère acquisition, couleurs , étendue de la prise de vue, …) Utilisations de l'image Informations produites à partir de l'image Difficultés rencontrées lors de l'utilisation Attentes (en terme de caractéristiques « systèmes » des images) Type de produit le plus utile (produit brut ou à valeur ajoutée)

3.2.2 Une enquête en trois étapes

L'un des objectifs méthodologiques de cette enquête est de confronter les hypothèses de travail avec « la réalité terrain », de façon à les réajuster pour les rendre plus représentatives de la réalité observée. L'autre objectif méthodologique tient de l'exploration, de la volonté de mieux comprendre des phénomènes jusqu'à présent peu explorés.

Dans ce cadre, notre démarche s'inscrit dans une **démarche** de recherche à la fois **qualitative** et **quantitative**. En effet, pour la vérification des cinq hypothèses (excepté pour l'hypothèse n°2), les acteurs de l'Aménagement et de l'Urbanisme interrogés, ne sont pas uniquement réduits à des variables, comme dans une démarche quantitative ; les données recueillies servent à améliorer la compréhension d'un phénomène (l'utilisation des données images dans des applications urbaines).

Elles s'intéressent aux sujets dans toute leur complexité, y compris le contexte (notamment organisationnel) dans lequel ils évoluent (démarche inductive). Les **résultats** issus de la **démarche quantitative** conduisent à une généralisation statistique (sur le logiciel SIG), qui correspond à une **tendance observée** ; tandis que les résultats issus de la démarche qualitative conduisent à une tentative de **généralisation du comportement des acteurs** (par rapport aux applications, aux objets urbains utiles et à l'utilisation du SIG et des données images).

Dans un premier temps, le paragraphe 3.2.2.1 présente les modes de collecte utilisés et dans un deuxième temps, le paragraphe 3.2.2.2 précise les traitements effectués.

3.2.2.1 Les modes de collecte

Dans un premier temps, les principales sources utilisées sont des **enquêtes par questionnaire** auprès des différents acteurs de références (cf. § 1.4.1) et des **documents écrits** (rapports d'activité, site Internet des organismes). Deux principes ont été appliqués : l'utilisation de plusieurs sources d'informations de façon à disposer de moyens de contrôle et la mise en place d'une base de données regroupant tous les organismes interrogés. Dans un deuxième temps, un **atelier de réflexion**, rassemblant des utilisateurs de l'IG, a permis de débattre sur les besoins et de préciser certains points de l'enquête. Suite à ce débat, nos données ont été complétées et enrichies par **une enquête par entretien**.

3.2.2.1.1 Un questionnaire comme premier outil de collecte de données

Une procédure de questionnaire par « carnet », papier et électronique, a été choisie. Plus proche de l'objectivation des pratiques, elle ressemble à l'observation directe à ceci près que c'est à la personne enquêtée, d'être pour une période déterminée, son propre observateur (De Singly, 1992). Son objectif est de mettre en relation les pratiques des professionnels de l'aménagement et les éléments discriminants de ces pratiques (objets utiles, échelle d'utilisation, ….) et de comprendre comment l'IG est utilisée et véhiculée dans les procédures d'aménagement, en particulier l'IG de type image.

Le questionnaire est articulé en 5 parties avec les objectifs suivants :

- connaître la structure de l'organisme interrogé ;
- connaître les activités de l'organisme en matière de données localisées (SIG) : ancienneté de l'activité, logiciels utilisés, … ;
- obtenir des informations sur les applications, les tâches des utilisateurs, les objets urbains utiles et leurs caractéristiques (échelle, précision, répétitivité) ;
- recenser les données utilisées en entrée et les documents produits en sortie avec leurs caractéristiques ;
- identifier les applications où les images satellites actuelles sont utilisées et préciser les raisons de la non-utilisation de ce type de source de données.

Des questions fermées limitant le choix des réponses, ont été utilisées lorsque l'objectif était de tester une hypothèse, et des questions ouvertes permettant à chacun de s'exprimer librement sur le questionnement ont été choisies, lorsque l'objectif était de comprendre un phénomène (De Singly, 1992). Un exemple de questionnaire, avec le protocole de l'enquête, est présenté à l'Annexe 3.2.

Le questionnaire a été adressé, par courrier et par messagerie[65], auprès de **plus de 200 organismes français**, et **150 organismes européens** (23 pays d'Europe occidentale et orientale) à partir de listes fournies par des sociétés privées de consultant en SIG (IETI, 2001), par le Ministère de l'Equipement, du Transport et du Logement (Georget, 2000), par la Fédération Nationale des Agences d'Urbanisme (FNAU), et auprès des collectivités territoriales (échantillon raisonné).
La version finale du questionnaire (envoyée entre juin et octobre 1999) a intégré les remarques (forme, vocabulaire) formulées à partir d'un jeu de questionnaires utilisés en pré-test. Celui-ci a été réalisé auprès d'une dizaine d'acteurs locaux (mai 1999).

Trente trois questionnaires ont été complétés (25 « français » et 8 « européens »), soit **un taux de réponses de 9 %.** A titre de comparaison, l'enquête similaire réalisée en 1997 par la société SCOT (Galaup et De Boizesson, 1997) a obtenu 6 % de réponses.

Ce faible taux de réponse s'explique par une série de **difficultés d'ordre méthodologique**, liées au choix des questions, mais également aux choix des destinataires :

(1) l'enquête se voulant assez large afin de dresser un bilan global de la situation française et européenne, certaines questions se sont avérées trop générales et quelque fois difficiles à comprendre pour certains répondants ;
(2) la manque d'un « langage commun » entre les différents utilisateurs et entre les pays est apparu de manière significative ;
(3) les questions ouvertes ont parfois été perçue comme insuffisamment explicites. La solution aurait été de donner des exemples pour que leur interprétation ne suscite pas trop de doute, mais le risque que les répondants limitent leurs réponses aux exemples proposés, est apparu comme un biais trop important ;
(4) les organismes identiques ne sont pas forcément structurés en des services de mêmes noms. De plus, les destinataires (des chargés d'étude en aménagement et urbanisme) ont souvent transféré le questionnaire au service en charge de l'administration des données (service IG ou géomatique, s'il existe) (phénomène ni voulu, ni souhaité au départ) car le questionnaire apparaissait comme trop « technique » (essentiellement pour les questions relatives au SIG).

Il est nécessaire de garder à l'esprit ces difficultés pour l'interprétation des résultats. En effet, rappelons que ce type d'enquête par questionnaire demande aux individus interrogés un fort engagement personnel, qui dépend de l'expérience de l'individu.

3.2.2.1.2 L'organisation d'un atelier de réflexion

Afin de pallier à ces difficultés et dans le contexte des réflexions en cours, durant cette période (sortie du rapport Lengagne en septembre 1999), un atelier de réflexion[66] intitulé **« Quelles échelles pour quels besoins : l'utilité de l'IG à grande échelle pour l'étude du milieu urbain »** a été organisé (Annexe 3.3). L'objectif de cet atelier était de confronter les démarches individuelles des utilisateurs (données, documents, traitements, produits, …), les problèmes rencontrés, ..., afin de **faire émerger des besoins précis** (avec pour objectif de compléter notre enquête papier) et de **véri-**

[65] Le questionnaire a été intégré sur le site du Laboratoire Image et Ville, permettant aux utilisateurs d'y répondre directement (http://imaville.u-strasbg.fr/intro2.hlml). Ceci a permis une large diffusion du questionnaire sur des forums de discussions dédiés à l'IG (liste Géorézo, Cassini, Infogeo, …). Ceux-ci ne sont toutefois pas comptabilisés car le nombre de personnes inscrites ont évolué durant la période de l'enquête.
[66] Cet atelier de réflexion, organisé le 30 janvier 2000, a été un des premiers « lieu de discussion » suite au Rapport Lengagne.

fier la pertinence des données disponibles sur le marché (les avantages et les limites).

Cette journée a rassemblé une quarantaine d'utilisateurs (IAURIF, CUS, SDAU, ADEUS, …) et de personnes extérieures de l'ENSAIS, du CNES, du CNIG …, ainsi que quelques étudiants. Elle a fait l'objet d'un article dans la revue « SIG-La-Lettre » (février 2000) (Annexe 3.4) et d'un cd-room reprenant les divers exposés avec un compte-rendu de la journée.

Suite aux premiers résultats de l'enquête et aux divers débats, nous avons décidé de compléter l'enquête par des entretiens auprès des collectivités locales (CU et villes de différentes tailles), sous-représentées dans le questionnaire.

3.2.2.1.3 Des entretiens comme deuxième outils de collecte des données

Comme nous l'avons signalé dans le chapitre précédent, le développement du secteur de l'IG en France, tient beaucoup plus des collectivités locales. En effet, celles qui disposent d'un SIG depuis longtemps (CU et communes les plus importantes en population) jouent un rôle important en tant que producteur de données et utilisateur de l'IG à grande échelle ; et elles utilisent, depuis plusieurs années, les orthophotographies comme données de base.
Vingt-cinq entretiens ont été menés (de février 2000 à octobre 2000), auprès des chefs de service ou des chargés d'études, en charge des SIG, de CU (6), de villes de plus de 100 000 habitants (10), de villes entre 50 000 et 100 000 habitants (3) (en France et dans les pays voisins), mais aussi auprès d'organismes associatifs (deux Agences d'urbanisme). Ils ont été conduits à partir d'une grille d'entretien présentée en Annexe 3.5, basée sur les mêmes thèmes que le questionnaire, mais avec des questions ouvertes supplémentaires, centrées sur l'utilisation des orthophotographies.

En combinant les modes de collecte, 58 réponses ont été obtenues soit un **taux de réponse de 15 %** ; ce faible taux apparaît toutefois suffisant pour des traitements statistiques. Les personnes interrogées sont des chargés d'étude (30%) et des personnes identifiées comme responsable de l'administration des données (70%). Dans la suite de ce travail, les résultats France/Europe seront attribués à la France car environ 80% des réponses proviennent d'organismes français (cf. 3.3.1.1).

3.2.2.2 Le traitement des données

Les données recueillies ont été saisies dans une base de données. Un **codage** des réponses a été effectué sur l'ensemble des **questions fermées** des enquêtes (questionnaire et entretien). Les **questions ouvertes** ont fait l'objet d'une **analyse de contenu**. Cette méthode d'analyse consiste à établir une grille de lecture pour ensuite traduire les réponses sous forme d'une ou plusieurs questions fermées *a posteriori* (Moscarola, 1990). Ce travail suppose une première analyse de toutes les réponses visant à déterminer les contenus que l'on souhaite coder. Dans un premier temps, les mots-clés (et leurs synonymes) des questions ouvertes ont été sélectionnés, selon leur fréquence d'apparition dans les réponses. Puis, ceux-ci ont fait l'objet d'un codage, comme pour les réponses fermées où les **questions** sont les **variables** et les **réponses, les modalités**. Ces réponses (codées) sont ensuite exploitées statistiquement par des méthodes d'analyse et de structuration de données. Les traitements et les tests ont été réalisés sous le logiciel MODALISA (version 4.0).

Dans un premier temps, des **statistiques descriptives**[67] (« tri-à-plat » et « tri-croisé » et tableau de contingence), ont été effectués.
Dans un deuxième temps, des **Analyses Factorielles de Correspondances Simples** (AFCS) ont été réalisée afin de visualiser et d'explorer les liens de dépendance entre des variables « à expliquer » et un ensemble de variables dites « explicatives ». Les analyses factorielles constituent une aide à la synthèse des données. Elle consiste, à partir d'une analyse des relations entre variables d'origine (identifiées par les tri-croisés), à dégager un nombre réduit de variables nouvelles significatives appelées « facteurs ». Ces derniers sont extraits de manière à éliminer les redondances contenues dans la matrice d'origine. Ils décrivent, à peu de chose près la même situation que les variables de départ, soit en reproduisant au mieux les relations entre variables, soit en restituant la plus grande part plausible de la variation contenue dans la matrice de départ. S'il s'agit d'une **technique descriptive**, les résultats peuvent être utilisés dans une optique explicative (Beguin, 1979).

Les résultats sont présentés dans un graphique appelé « **mapping** », dont les axes sont les facteurs et les points sont les projections sur le plan principal de la position, dans l'espace des modalités, des variables et des modalités des diverses variables retenues pour les expliquer. C'est la proximité entre les modalités qui peut être interprétée en terme de liaison entre les variables. Ce graphique ne suffit cependant pas pour une interprétation correcte des résultats. D'autres critères sont utilisés lors de cette interprétation. Tout d'abord, la **contribution absolue** exprime la part prise par chaque modalité dans la constitution du facteur. L'inconvénient est que celle-ci dépend de la masse de la modalité (fréquence). C'est pourquoi, la **contribution relative** est interprétée et mesure la part de la variance de la modalité dont le facteur rend compte (Beguin, 1979).

Ces **méthodes** qui restent avant tout **descriptive**s (tris et analyse factorielle), doivent être complétées par la recherche de la structure sur l'ensemble des données recueillies. L'identification de **profils d'utilisateurs** nous est apparue intéressante dans le cadre de notre recherche. Des **méthodes de classification** sont alors appliquées. Il existe de nombreuses méthodes, mais le principe fondamental est presque toujours le même : en s'aidant des variables observées, un indicateur de proximité (ou de ressemblance) entre deux individus (ici des organismes) est construit, puis des groupes sont constitués de telle sorte que deux individus placés dans un même groupe soient très ressemblants. Une méthode de classification de type « **ascendante hiérarchique** » a été appliquée. Une méthode est hiérarchique lorsque les classes, existant à une étape quelconque de la procédure, sont regroupées (ou divisées) lors de l'étape suivante en un nombre de classes plus petit, de sorte qu'un arbre ou dendogramme est obtenu. Les « sauts brusques » sont alors privilégiés pour le choix du nombre de groupes parce « *qu'on estime que l'étape suivante apporte un changement trop important pour un seul groupe de plus ou de moins* » (Beguin, 1979). Ce type de classification est souvent utilisé en sciences géographiques car il évite l'inconvénient des classifications descendantes, qui tolèrent que des individus peu similaires à d'autres, aient une forte influence sur les divisions qui s'opèrent (Bijnen, 1973).

[67] Les tris-à-plat donnent la liste des modalités (réponses aux questions), avec le nombre d'enquêtés ayant choisi cette réponse et les tris-croisés analysent la nature de la relation entre deux variables (deux questions). Lorsque les deux variables sont qualitatives, un « tableau de contingence » est constitué. Celui-ci indique l'effectif d'individus possédant simultanément telle modalité de l'une des variables et telle modalité de l'autre. Au delà de la simple mise au regard de ces différents effectifs, l'hypothèse d'indépendance entre les deux variables (H_0) est testée, en effectuant le test du « Chi-carré » ($\chi 2$) (Beguin, 1979). La valeur du test obtenue (χ^2_o) est comparée à une valeur théorique (χ^2_a), pour un seuil d'erreur (α) choisi (généralement de 5% ou de 1%) et pour un nombre de degré de liberté (n-1 où n est le nombre d'individus). L'hypothèse d'indépendance est rejetée lorsque la valeur observée (calculée) est supérieur à la valeur théorique ($\chi^2_o > \chi^2_a$). Le rejet de l'hypothèse (RH0) permet d'affirmer, avec un risque d'erreur inférieur à 0.05 ou 0.01, que les deux variables sont dépendantes l'une de l'autre. Par contre, si l'hypothèse est acceptée (AH0), le test n'a pas pu monter qu'il existait un lien entre les deux variables. Cette hypothèse est affirmée avec 95% de chance de réussite.

3.3 L'ANALYSE ET L'INTERPRETATION DES DONNEES

3.3.1 Approche analytique des résultats

Les caractéristiques des organismes enquêtés sont présentées dans un premier temps (§ 3.3.1.1), avant de d'analyser la place des SIG (§ 3.3.1.2) et de l'image dans les pratiques d'aménagement (§ 3.3.1.3). Le cadre d'utilisation, dans les applications urbaines, de l'IG en général et des données de type « image » en particulier est défini. Les besoins exprimés par les utilisateurs sont ensuite formalisés. Les principaux résultats de l'enquête sont précisés de manière analytique en suivant les mots-clés définis au tableau 3.2.

3.3.1.1 La répartition des organismes enquêtés

Les organismes (français et européens) ayant répondu ont été regroupés en sept catégories pour faciliter la lisibilité des résultats. Seuls les entités communales (« villes» dans la légende) n'ont pas été regroupés afin de vérifier si la taille des villes était un critère de différenciation des organismes. Ces catégories regroupent :

- les Conseils Régionaux et Généraux (CR et CG),
- les Intercommunalités (CU et Communauté d'Agglomération),
- les Villes de plus de 100 000 habitants,
- les Villes entre 50 000 et 100 000 habitants,
- les Services Déconcentrés de l'Etat (DDE, DIREN, CETE),
- les Associations (Agences d'Urbanisme),
- les organismes classés dans la catégorie « Autre » (gestionnaires privés de réseaux, bureaux d'études, …).

Plus de 60% des réponses (Figure 3.5) provient des collectivités territoriales décentralisées (Villes, CU, CR, CG).

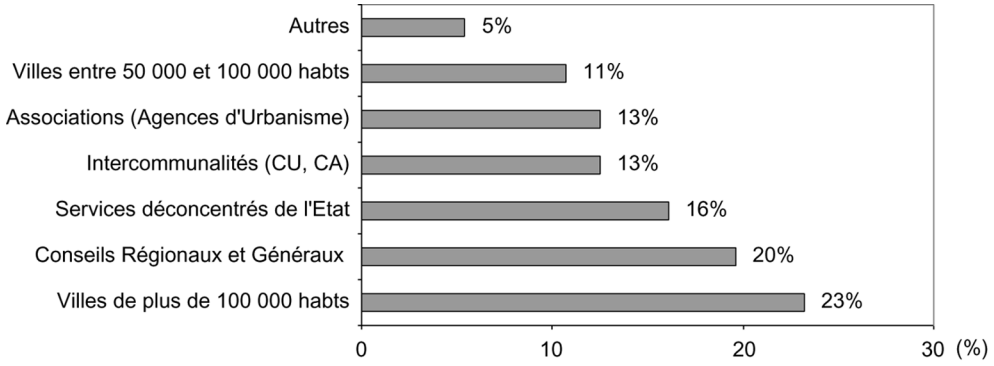


Figure 3.5 - Types d'organismes enquêtés (France et pays d'Europe compris).

La figure 3.6 indique la proportion des organismes interrogés selon leur origine géographique. L'ensemble du territoire français est représenté, avec une prédominance des réponses en Alsace (proximité géographique de l'organisme enquêteur). Un cinquième du total des réponses provient

d'organismes de sept pays d'Europe[68]. Néanmoins, le faible taux de réponses de ces pays ne permet pas de traiter les informations séparément (la situation française et le reste de l'Europe). Les résultats présentés ci-dessous prennent en compte simultanément ces deux groupes.

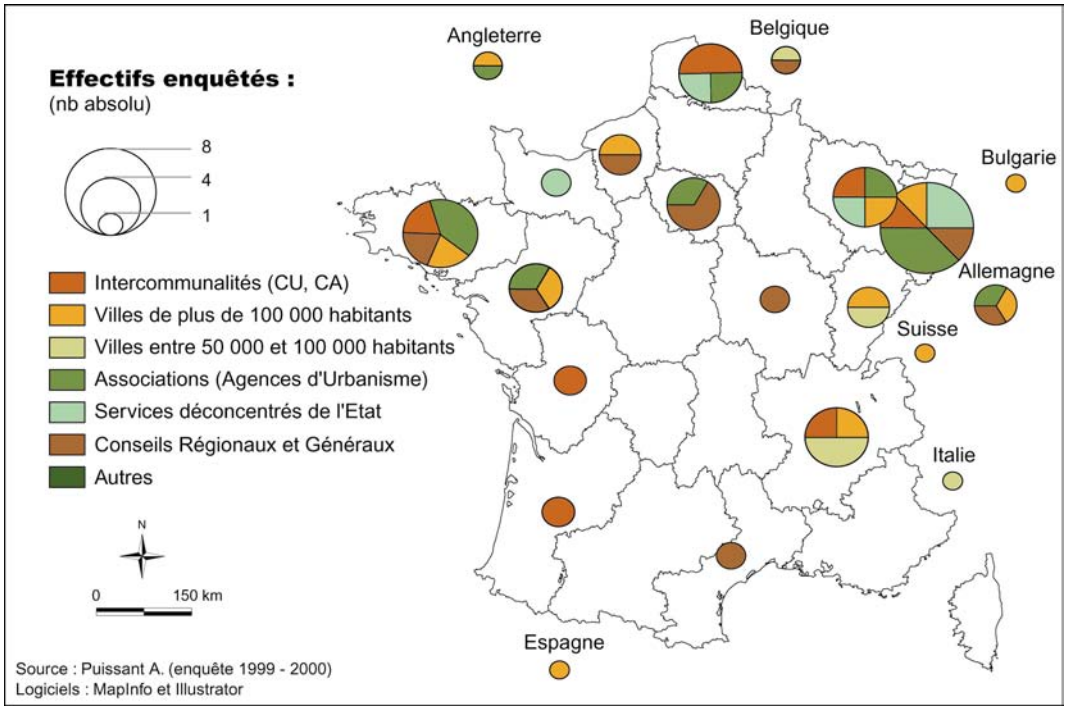


Figure 3.6 - Proportion des organismes interrogés selon leur origine géographique ***(C)***.

3.3.1.2 L'équipement en SIG des organismes interrogés ?

L'objectif est d'évaluer l'ancienneté de la pratique SIG dans les organismes, par la connaissance des logiciels utilisés, et de déterminer le niveau d'équipement en termes de bases de données et de couches d'informations intégrées dans le SIG. Tous les organismes interrogés ont un SIG opérationnel, sauf la ville de Grenoble qui à la date de l'enquête (juin 2000) était dans la phase de réflexion, la société privée Transfer (spécialisée dans la mise en réseau de systèmes informatiques, spécialement dans les liaisons radio haute fréquence en Alsace) et un organisme allemand (Direction Régionale de la Circulation de Bayern).

3.3.1.2.1 Un classement des organismes selon l'ancienneté de leur activité SIG

Parmi les organismes qui disposent d'un SIG, 47% d'entre eux ont un SIG opérationnel depuis plus de 5 ans, 43% l'ont acquis dans les 5 dernières années (entre 1 et 5 ans), et 9% ont un SIG depuis moins d'un 1 an (à la date de fin 2000). Les organismes équipés d'un SIG depuis plus de 5 ans sont, pour plus de la moitié, des CU et des villes de plus de 100 000 habitants ; ceux équipés depuis moins de 5 ans sont en majorité des CG, CR et des Services Déconcentrés de l'Etat. Enfin, les organismes de type Associations (Agences d'Urbanisme) sont les derniers à s'être équipés en SIG (Figure 3.7).

[68] *Suisse* (ville de Genève), *Espagne* (ville de Barcelone), *Italie* (ville de Padoue), *Bulgarie* (ville de Bourgas), *Belgique* (Ministère Wallon de l'Equipement et des Transports, ville de Mons), *Angleterre* (ville de Birmingham, agence de l'environnement du Cheshire), *Allemagne* (villes de Leipzig et de Dresde, Direction Régionale de la Circulation de Bayern).

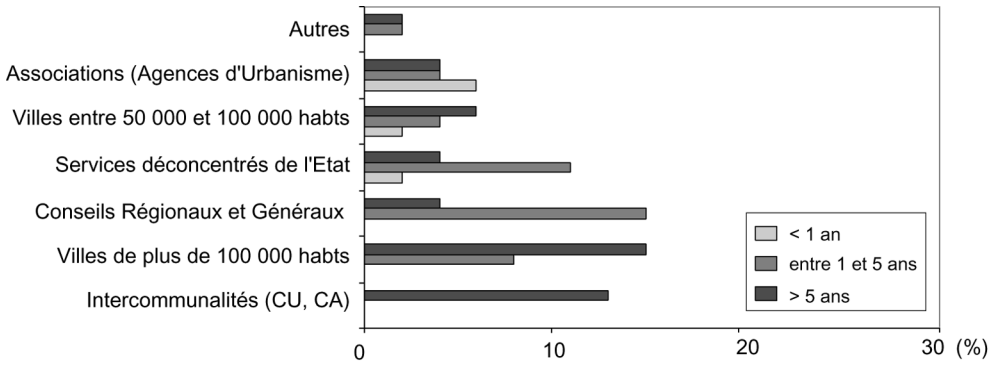


Figure 3.7 - Ancienneté des SIG par type d'organismes (Enquête 2000).

3.3.1.2.2 L'utilisation de plusieurs logiciels ?

Les trois logiciels SIG utilisés (un organisme peut posséder plusieurs logiciels), sont par ordre croissant MapInfo (40%), Arcview (30%), et Géocity (10%) ; viennent ensuite, à moins de 10%, Géoconcept, STAR et APIC.

L'utilisation de **MapInfo** par les Services de l'Etat est liée à la politique de diffusion du Ministère de l'Equipement en France ; néanmoins, les tâches des organismes nécessitent des outils complémentaires de dessin (Autocad) ou de gestion de données (SGBD). Cette tendance rejoint les conclusions du METL sur la diffusion des SIG en France dans les services de l'Etat (Georget, 2000).
Cette prédominance de MapInfo traduit également la tendance à ne pas utiliser le SIG comme véritable outil d'analyse mais uniquement comme outil de cartographie. Dès lors, il est surtout utilisé pour des applications nationales sur le trafic, la sécurité routière et la gestion des routes ainsi que pour la cartographie thématique.

Les utilisateurs d'**ArcInfo** et **Arcview** sont impliqués dans des applications plus spécifiques (risques naturels, environnement, aménagement, Annuaire SIG, 1998). Ces logiciels sont utilisés en majorité par les organismes responsables de ces applications (8% des villes de plus de 100 000 habitants, 5% des CU, des CG et CR et des Agences d'Urbanisme). Le choix d'Arcview démontre, pour certains organismes, une volonté d'utilisation « complète » de toutes les fonctions du SIG.

L'utilisation de **Géoconcept** traduit le poids de partenariats locaux. Il est utilisé par les villes, quelle que soit leur taille, et par quelques Agences d'Urbanismes. Les logiciels fonctionnant sous stations de travail (**Géocity, APIC et STAR** : logiciels précurseurs dans ce domaine) sont révélateurs de l'utilisation « pionnière » des SIG dans les années 80 par les collectivités locales de grande taille (communautés urbaines de Lyon et Strasbourg). Néanmoins, la majorité des CU et villes possèdent aujourd'hui conjointement Arcview (16%) et Mapinfo (13%) (Figure 3.8).

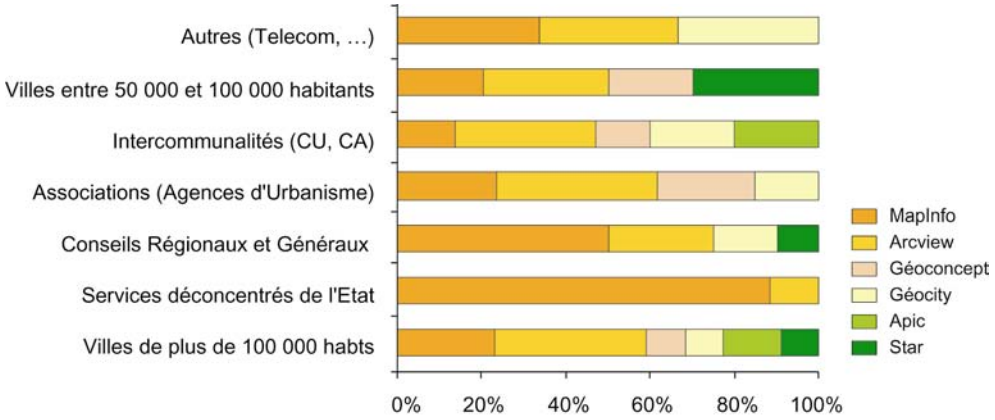


Figure 3.8 - Logiciels SIG utilisés par types d'organismes interrogés (Enquête, 2000) ***(C)***.

3.3.1.2.3 Un lien de dépendance entre types d'organismes, ancienneté du SIG et logiciel utilisé ?

L'hypothèse d'un lien de dépendance entre le « type d'organisme », « l'ancienneté du SIG » , et le(s) « logiciel(s) utilisé(s) », a été testée à l'aide d'une AFCS. Peut-on, en effet, identifier des **groupes d'utilisateurs SIG** selon cette dépendance ? Le pourcentage d'information restitué par les trois axes factoriels atteint 56%. Le **facteur 1** (**24% de l'information**) opposent :

- une première catégorie d'utilisateurs (**Groupe 1**) qui regroupe les CU et les villes, quelle que soit leur taille, avec un SIG depuis plus de 5 ans et les logiciels SIG de type Géocity, Apic, Star et Arcview ;
- et une deuxième catégorie d'utilisateurs (**Groupe 2**) qui rassemble les Services déconcentrés de l'Etat, les CR et CG, ayant un SIG depuis moins de 5 ans et utilisant principalement MapInfo) ;

Le **facteur 2** (**18% de l'information**) isole une troisième catégorie d'utilisateurs (**Groupe 3**) qui regroupe les Agences d'Urbanisme , possédant un SIG depuis moins d'un an, et utilisant principalement Géoconcept.

Le **facteur 3** (**14% de l'information**) permettrait d'identifier une quatrième catégorie d'utilisateurs, qui rassemble les villes de plus de 50 000 habitants qui utilisent le logiciel STAR (par exemple, Besançon, et des organismes belges[69]). Ces résultats sont néanmoins à nuancer en raison de la faible représentativité des organismes sur ce facteur. Une **classification hiérarchique ascendante** effectuée sur les deux premiers facteurs confirme cette structuration en trois grands groupes (Annexe 3.6).

3.3.1.2.4 Une structure SIG minimale selon le type d'organismes ?

Les couches d'information disponibles dans les SIG des organismes interrogés ont été relevées pour : (1) identifier la « **structure SIG minimale** » (en terme de couche d'information) commune à tous les organismes, (2) relever les couches d'information (d'origine publique ou privée) les plus utilisés, et (3) déterminer des groupes d'utilisateurs, ayant des couches d'informations « communes» . Les données des enquêtes ont été complétées en consultant des documents écrits car les interlocuteurs oublient souvent de citer une couche d'information. Onze couches « réellement » intégrées dans le SIG ont été prises en compte dans l'analyse. Les résultats sont présentés dans le Tableau 3.3.

[69] Le logiciel STAR est développé par une société belge, Star Informatic.

Tableau 3.3 - Couches d'information intégrées dans le SIG et pourcentage d'organismes qui en dispose.

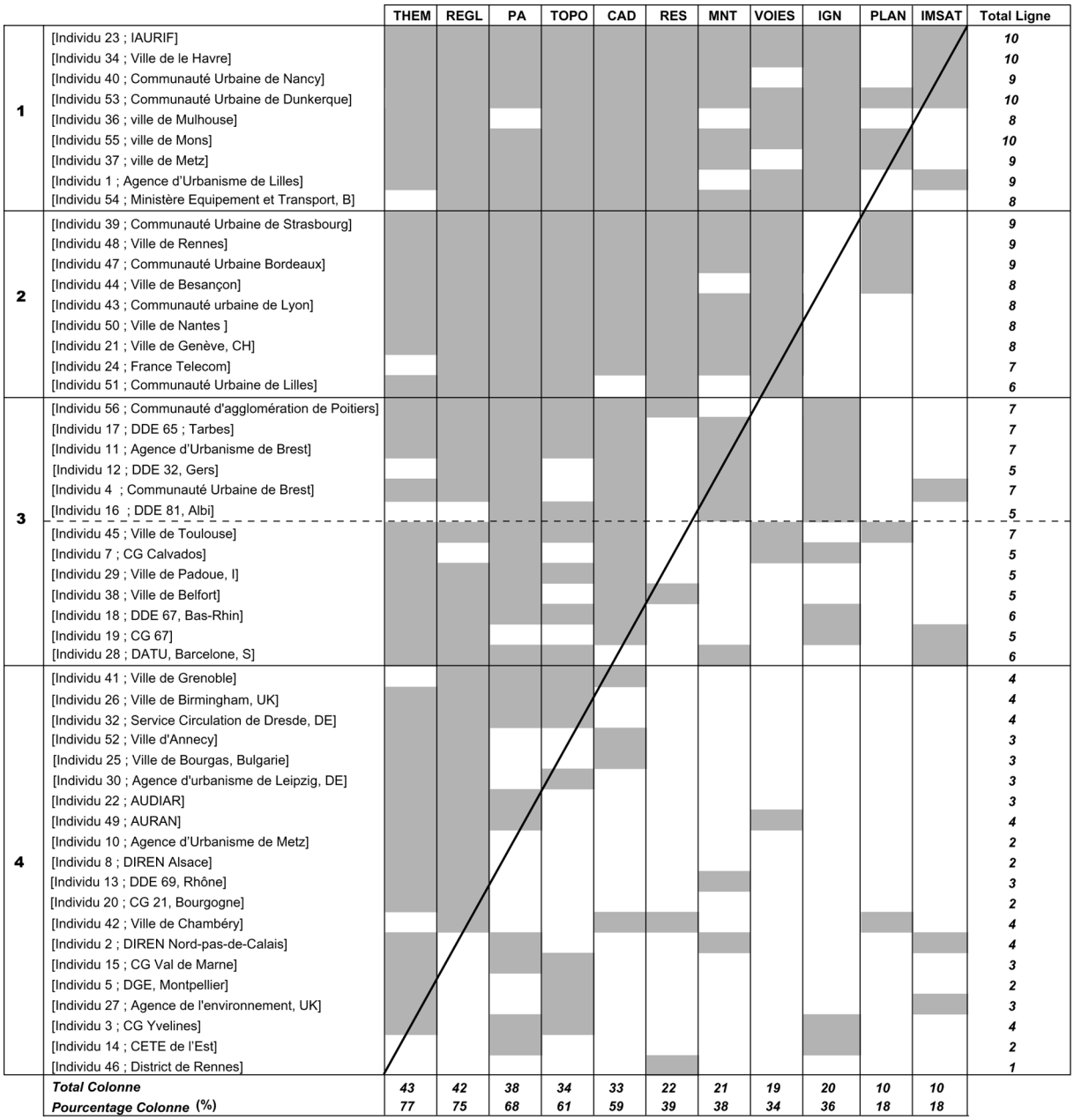
	Nom de la couche	Exemples	%
1. THEM	Carte thématique	Cartes d'occupation des sols, des espaces verts, du mobilier urbain, …	77
2. REGL	Document réglementaire	PLU, Schéma Directeur, Plan d'Alignement, Plan de Prévention des Risques (PPR), …	75
3. PA	Photographie aérienne	Photographies géoréférencées et/ou orthorectifiées	68
4. TOPO	Plan topographique	/	61
5. CAD	Plan cadastral numérisé	/	59
6. RES	Plan de réseaux	Plans des réseaux d'assainissement, d'eau potable, d'éclairage public, d'électricité, de gaz, …	39
7. VOIES	Filaire de voies	Schéma des tronçons de rue avec les sens de circulation, …	34
8. MNT	Modèle numérique de terrain	/	38
9. IGN	Base de données IGN (ou publiques de type IFEN, …)	BDTOPO®, BDCARTO®, BDALTI®, SCANS, …	36
10. PLAN	Plan de ville	Plans à petites échelles de la ville ou de l'agglomération	18
11. IMSAT	Image satellite	Images SPOT ou LANDSAT le plus souvent	18

La **structure SIG minimale**, en terme de couches d'informations, est constituée majoritairement de **données de base** (§ 1.3.2.2.1) : photographies aériennes (3), topographie (4), cadastre (5), limites administratives et toponymie (9).

La **méthode du scalogramme** a été appliquée pour déterminer graphiquement une typologie des o**rganismes** qui possèdent la même structure SIG minimale. Cette méthode permet de dégager des groupes à partir de plusieurs critères qualitatifs (Cauvin, 1972 ; Rouquette et Guimelli, 1979). A partir d'une matrice regroupant l'ensemble des variables et des modalités, le principe est de permuter les lignes et les colonnes pour obtenir un tableau simplifié, avec une structure diagonale, où les lignes qui ont des profils similaires sont regroupées. La matrice structurée est décomposée en classes qui correspondent à des groupes homogènes ; dans notre cas, des **groupes d'organismes qui possèdent le même type de couches d'informations**. Les groupes sont séparés en traçant des traits selon les lignes ou selon les colonnes. La matrice structurée (Figure 3.9) permet de différencier quatre groupes :

- les **groupes 1 et 2** rassemblent principalement des **CU** (5) et **des villes de plus de 100 000 habitants** (7), dont la structure SIG minimale regroupe les couches THEM, REGL, PA, TOPO, CAD, RES, VOIES et MNT. La différenciation des deux groupes s'opère sur les couches IGN et IMSAT : le groupe 1 a acquis des données IGN depuis plus de cinq années et la moitié a intégré une image satellite dans leur système d'information, alors que le groupe 2 ne possède ni données IGN, ni images satellites. Le nombre de couches disponibles dépend de l'ancienneté de la mise en place du SIG ; la présence d'images dépend très souvent du degré de sensibilisation et d'ouverture de la personne responsable du SIG envers cette dernière.
- le **troisième groupe** rassemble des **CU** et des **villes inférieures à 50 000 habitants,** qui ont mis en place leur activité SIG au début des années 90, et des **services déconcentrés de l'Etat** (dont l'équipement a aussi débuté dans les années 90). La structure SIG minimale est constituée des couches THEM, REGL, PA, TOPO et CAD. Ce groupe peut être subdivisé en deux sous-groupes (les services déconcentrés de l'Etat et les CG) selon la présence/absence de bases de données IGN. De nouveau, la politique du Ministère de l'Equipement et de l'Aménagement du territoire qui favorise l'utilisation des données publiques de l'IGN dans les services, est mise en évidence.

- le **quatrième groupe**, assez hétérogène, se différencie surtout par une structure SIG restreinte, constituée presque uniquement des couches THEM et REG. En moyenne, les organismes de ce groupe ne disposent que de trois à quatre couches d'information. Le groupe rassemble des **villes de petite taille**, des **Agences d'Urbanisme**, des **CR** et des **CG**. Les organismes de ce groupe, d'après notre enquête, sont en phase d'élaboration ou de transformation rapide de leur SIG.



		THEM	REGL	PA	TOPO	CAD	RES	MNT	VOIES	IGN	PLAN	IMSAT	Total Ligne
1	[Individu 23 ; IAURIF]	■	■	■	■	■	■	■	■	■		■	10
	[Individu 34 ; Ville de le Havre]	■	■	■	■	■	■	■		■		■	10
	[Individu 40 ; Communauté Urbaine de Nancy]	■	■	■	■	■	■	■		■	■	■	9
	[Individu 53 ; Communauté Urbaine de Dunkerque]	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		10
	[Individu 36 ; ville de Mulhouse]	■	■		■	■	■		■	■		■	8
	[Individu 55 ; ville de Mons]	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		10
	[Individu 37 ; ville de Metz]	■	■	■	■	■	■		■	■	■	■	9
	[Individu 1 ; Agence d'Urbanisme de Lilles]	■	■	■	■	■	■		■	■		■	9
	[Individu 54 ; Ministère Equipement et Transport, B]		■	■	■	■	■	■	■	■			8
2	[Individu 39 ; Communauté Urbaine de Strasbourg]	■	■	■	■	■	■	■	■		■		9
	[Individu 48 ; Ville de Rennes]	■	■	■	■	■	■	■	■		■		9
	[Individu 47 ; Communauté Urbaine Bordeaux]	■	■	■	■	■	■	■	■		■		9
	[Individu 44 ; Ville de Besançon]	■	■	■	■	■	■		■		■		8
	[Individu 43 ; Communauté urbaine de Lyon]	■	■	■	■	■	■	■	■				8
	[Individu 50 ; Ville de Nantes]	■	■	■	■	■	■	■	■				8
	[Individu 21 ; Ville de Genève, CH]	■	■	■	■	■	■	■	■				8
	[Individu 24 ; France Telecom]		■	■	■	■	■	■	■				7
	[Individu 51 ; Communauté Urbaine de Lilles]	■	■	■	■		■		■				6
3	[Individu 56 ; Communauté d'agglomération de Poitiers]	■	■	■	■	■	■			■			7
	[Individu 17 ; DDE 65 ; Tarbes]	■	■	■	■	■		■		■			7
	[Individu 11 ; Agence d'Urbanisme de Brest]	■	■	■	■	■		■		■			7
	[Individu 12 ; DDE 32, Gers]		■	■		■		■		■			5
	[Individu 4 ; Communauté Urbaine de Brest]	■	■	■	■	■		■		■		■	7
	[Individu 16 ; DDE 81, Albi]			■	■	■		■		■			5
	[Individu 45 ; Ville de Toulouse]	■	■	■	■	■			■		■		7
	[Individu 7 ; CG Calvados]	■		■	■	■			■	■	■		5
	[Individu 29 ; Ville de Padoue, I]	■	■	■	■	■							5
	[Individu 38 ; Ville de Belfort]	■	■	■		■	■						5
	[Individu 18 ; DDE 67, Bas-Rhin]	■	■	■	■	■				■			6
	[Individu 19 ; CG 67]	■	■			■						■	5
	[Individu 28 ; DATU, Barcelone, S]	■	■	■	■			■					6
4	[Individu 41 ; Ville de Grenoble]		■	■	■	■							4
	[Individu 26 ; Ville de Birmingham, UK]	■	■	■	■								4
	[Individu 32 ; Service Circulation de Dresde, DE]	■	■	■									4
	[Individu 52 ; Ville d'Annecy]	■	■			■							3
	[Individu 25 ; Ville de Bourgas, Bulgarie]	■	■										3
	[Individu 30 ; Agence d'urbanisme de Leipzig, DE]	■	■		■								3
	[Individu 22 ; AUDIAR]	■	■	■									3
	[Individu 49 ; AURAN]	■	■	■					■				4
	[Individu 10 ; Agence d'Urbanisme de Metz]	■	■										2
	[Individu 8 ; DIREN Alsace]	■	■										2
	[Individu 13 ; DDE 69, Rhône]	■	■					■					3
	[Individu 20 ; CG 21, Bourgogne]	■	■										2
	[Individu 42 ; Ville de Chambéry]		■			■	■				■		4
	[Individu 2 ; DIREN Nord-pas-de-Calais]	■		■				■				■	4
	[Individu 15 ; CG Val de Marne]	■		■	■								3
	[Individu 5 ; DGE, Montpellier]	■											2
	[Individu 27 ; Agence de l'environnement, UK]	■										■	3
	[Individu 3 ; CG Yvelines]	■		■	■					■			4
	[Individu 14 ; CETE de l'Est]			■						■			2
	[Individu 46 ; District de Rennes]						■						1
	Total Colonne	***43***	***42***	***38***	***34***	***33***	***22***	***21***	***19***	***20***	***10***	***10***	
	Pourcentage Colonne (%)	***77***	***75***	***68***	***61***	***59***	***39***	***38***	***34***	***36***	***18***	***18***	

THEM Carte thématique
REGL Document réglementaire
PA Photographie aérienne
TOPO Plan topographique
CAD Plan cadastral numérisé
RES Plan de réseaux
VOIES Filaire de voies
MNT Modèle numérique de terrain
IGN Bases de données IGN (ou publiques)
PLAN Plan de ville
IMSAT Image satellite

Figure 3.9 – Scalogramme (Enquête, 2000).

3.3.1.3 Des applications différentes à partir de couches d'informations et d'objets urbains identiques ?

L'objectif est d'identifier les applications des utilisateurs, de valider les niveaux de responsabilité identifiés précédemment (§ 3.1.1), et de définir les caractéristiques des objets urbains manipulés, en en termes d'échelle, de précision géométrique, et de mise à jour. Quels sont ces objets et leurs caractéristiques ? Sont-elles différentes pour chaque type applications ? Enfin, existe-t-il des listes de référence d'objets urbains ?

3.3.1.3.1 Des applications selon le niveau de responsabilités ?

L'analyse comparée des réponses relatives aux applications (ou tâches) confirme leur différenciation en catégories, représentées dans le schéma structurel de la figure 3.1 selon les niveaux de responsabilité :

- le **niveau opérationnel** (gestion des données foncières, de réseaux, des alignements, du mobilier urbain, etc) rassemble **66% des applications ;**
- les applications du **niveau tactique** représentent **plus de 70% des applications**, dont la moitié correspond aux applications de type « urbanisme réglementaire » (gestion des alignements, des permis de construire), un tiers à la « constitution d'observatoire » (états des lieux et suivis de phénomène et d'objets), et un quart à des « études ponctuelles » (étude d'impact, d'aménagement de quartier, ingénierie routière ;
- le **niveau stratégique** (simulation, cartographie de synthèse) rassemble **41% des applications** ;
- enfin ,un **niveau « transversal »** d'administration des données représente **59% des applications** . Ces applications correspondent à la collecte, l'archivage, la structuration, la mise en place et le suivi des échanges de données.

Des exemples d'applications, selon les quatre groupes, sont détaillés au Tableau 3.4. Signalons qu'il a été souvent difficile aux utilisateurs de préciser leurs tâches, car, dans les services, les tâches sont exprimées sous la forme de lignes directrices ou d'objectifs à atteindre. Il n'existe **ni « liste normée » , ni de liste exhaustive** de l'ensemble des applications réalisées par un organisme au jour le jour. La consultation de documents écrits et les interviews ont permis de les formaliser.

Tableau 3.4 - Exemples d'applications selon les différents niveaux de responsabilité.

Catégories d'application	Exemples de tâches (réalisable dans un SIG)
	Gestion des alignements
	Gestion du foncier
	Gestion du domaine public (bâtiment, mobilier urbain, …)
GROUPE 1	Gestion du cadastre et des informations de la DGI
= *Niveau opérationnel*	Gestion des informations INSEE
	Gestion des servitudes d'utilité publiques (assainissement, eau potable, éclairage public, …)
Gestion du territoire	Gestion du réseau routier
	Gestion des autorisations des occupations du sol
Production de plans de base	Gestion du PLU
du 1/200e au 1/2000e	Gestion des bassins versants
	Gestion des espaces végétalisés en zone urbaine
	Gestion des profils en long
	Gestion du canevas (géodésie)
	Gestion des risques technologiques majeurs et mineurs
	…
GROUPE 2	1. La domanialité :
= *Niveau tactique*	Gérer la domanialité des voies communautaires
	Produire des plans et cartes thématiques sur les voies communautaires
Urbanisme réglementaire	2. Les alignements de voirie :

(planification urbaine) Production de cartes du 1/2000e au 1/5000e	Délivrer les alignements Calculer les surfaces touchées Prévoir et créer les réserves en voirie du PLU Aider à l'instruction des permis de construire 3. Le droit des sols : constituer un atlas 4. Les servitudes d'utilité publique : Aider à l'instruction de permis de construire et des dossiers d'application du droit des sols Produire des documents graphiques du dossier PLU 5. Le PLU : Réalisation ou révision de PLU Réalisations de plans de zonage, de servitudes d'utilité publique dans le cadre d'un PLU Réalisation des traitements statistiques sur le PLU …
GROUPE 3 = ***Niveau tactique*** **Observatoire :** **Etats des lieux, inventaires et suivi de leur évolution** Production de cartes du 1/2000e au 1/50 000e	Observatoire des évolutions sociales Observatoire du patrimoine végétal (localisation des arbres d'alignement et rattachement de leurs caractéristiques : essence, volume, …) Observatoire du patrimoine bâti et paysager Observatoire du logement Observatoire des zones d'activités Observatoire des déplacements Observatoire de l'immobilier d'entreprise Observatoire de la sécurité Observatoire de l'environnement (mise en oeuvre d'un atlas de l'environnement) Observatoire du stationnement Observatoire des copropriétés Mise en oeuvre d'un schéma régional des espaces naturels et ruraux …
GROUPE 3 = ***Niveau tactique*** **Etudes ponctuelles** Production de cartes du 1/2000e au 1/25 000e	Elaboration d'un projet d'Aménagement du territoire Mise en place de PPR Etudes d'impact Aménagement du réseau de voies de circulation principale Création ou révision d'un schéma de développement (et d'urbanisme commercial) Recherche de localisation optimale d'une infrastructure, de mobilier urbain Etude d'accessibilité à un bien (espaces verts publics) ou à un service public (poste) Création/Planification de modifications dans le plan de circulation (lignes de délimitation des voies, nombre et largeur des voies pour les voitures, bus et vélos) Définition d'un plan d'aménagement d'une place, d'un quartier Gestion d'événement exceptionnel (manifestations, défilés, …) Aménagement du réseau de voies de circulation principale Aménagement des sections transversales des routes, des trottoirs, des zones de stationnement, des espaces verts Etude d'un schéma directeur de développement autour de la mise à 2x2 voies d'une infrastructure routière Etudes d'infrastructure des transports Calcul d'un coefficient de ruissellement …
GROUPE 4 = ***Niveau stratégique*** **Prospective** Scénario / simulation Cartographie de synthèse Production de cartes du 1/10 000e au 1/1000 000e	Prévision / simulation de la circulation Simulation de la propagation du bruit, des polluants atmosphériques Simulation de la propagation des ondes/Installation d'antennes mobiles Prévision / Simulation d'implantation d'un projet d'aménagement Scénarii d'aménagement des espaces verts en zone urbaine Carte des lycées, des infrastructures publiques, … Carte de synthèse des musées, des cinémas, … Carte des résultats des dernières élections Carte des possibilités d'investissement dans la ville Carte des accidents Classement des infrastructures de transports terrestres par rapport au bruit Plan de sécurité Favoriser l'activité privée dans le quartier des affaires et la combiner avec d'autres fonctions tels que les loisirs et la culture, … …
GROUPE 5 = ***Niveau transversal*** **Administration des données**	Collecte de données à intégrer dans le SIG Mise en place et suivi des échanges de données localisées Diffusion interne et externe de l'information, de la formation, du recensement des données existantes, de l'aide technique auprès des utilisateurs Création d'applicatifs SIG Gestion du parc informatique …

3.3.1.3.2 Des listes normalisées d'objets urbains ?

Les objets urbains, très souvent manipulés simultanément dans plusieurs couches d'information par l'ensemble des utilisateurs d'un organisme, sont rassemblés dans un **dictionnaire de données**. Ces métadonnées regroupent leurs « caractéristiques » (mode de création, précision géométrique, échelle d'utilisation recommandée, date de la dernière mise à jour, …). Indispensables pour toute utilisation multi-utilisateurs, elles offrent l'information auxiliaire nécessaire pour comprendre, localiser et trouver la donnée associée (http://ceo.gelos.org/free/TWG/MI_definitions.html).

Afin de vérifier s'il existe des listes « normalisées » d'objets urbains par types d'applications, les **dictionnaires de données** de plusieurs organismes (villes de différentes tailles)[70] ont été analysés. Il n'existe aucune **règle uniforme de construction**, ni de **véritable standardisation** dans le « listage » des objets urbains, malgré la mise en place de normes (norme française EDIGéO, normes internationales ISO 211). A titre d'exemple, en France, la norme EDIGéO, mise en place en 1994 (www.cnig.fr), devrait à terme faciliter les échanges et la mise en commun de données. Le Service du Cadastre a adopté la norme pour la mise en œuvre du plan cadastral informatisé et l'IGN propose ses bases de données numériques dans ce format. Un des freins à son utilisation réside dans le format informatique de diffusion, très particulier, qui n'est actuellement pas reconnu de manière satisfaisante par les logiciels les plus utilisés. Néanmoins, si le format EDIGéO n'est pas encore intégré dans les versions standards des logiciels, la plupart d'entre eux proposent des modules de conversion. Des logiciels spécifiques de conversion sont également disponibles. Ces interfaces restent malgré tout lourdes à gérer, en terme de manipulation informatique et de coût. Ceci explique que la norme n'est pas encore utilisée dans les collectivités locales françaises (Enquête, 2000).

Ainsi, chaque acteur structure son dictionnaire selon ses propres besoins, et ses propres pratiques. Les dictionnaires peuvent être structurés selon l'**échelle d'utilisation** (Strasbourg), selon le **service concerné** (Bordeaux), selon l'appartenance à une **couche d'informations** (par exemple couche « espaces verts », couche « cadastre », couche « topographie » : Annecy, Rennes, Toulouse), selon des **classes thématiques** (Région Wallonne) ou **alphabétiques** (Genève) **d'objets.** Ces **structurations révèlent** des stratégies de gestion des données. Deux tactiques sont ainsi différenciées :

- soit le gestionnaire décide de disposer de **tous les objets utiles**, avec une **très bonne précision géométrique** (souvent centimétrique). La base obtenue est alors le référentiel à partir duquel d'autres couches, thématiques, sont produites par agrégation automatique et généralisation des objets selon une précision géométrique moindre, pour une utilisation à des niveaux d'échelles différents. Cette tactique est celle employée par les CU et les grandes villes. Les données sont généralement issues de levés topographiques au 1/200e, intégrés au fur et à mesure dans la base de données (CU de Strasbourg) ;
- soit le niveau de **précision géométrique est « adapté » à l'application** : le même objet peut être classé dans différentes couches, avec une échelle et une précision géométrique différentes. Ces données sont alors issues de référentiels différents (couche cadastrale, levés topographiques spécifiques). Par exemple, un objet de type « piscine » peut être classé, à la fois, dans la couche topographique au 1/200e et dans la couche thématique au 1/10 000e (Toulouse, par exemple).

[70] Les dictionnaires de données analysés proviennent des CU de Strasbourg et Bordeaux, des villes de Toulouse, Rennes, et Genève (villes supérieures à 100 000 habitants), d'Annecy (ville entre 50 0000 et 100 000 habitants), et du Ministère de la Région Wallonne en Belgique (CR).

Les différences observées dans les listes des objets urbains sont également liées à la taille de la collectivité locale, et à ses caractéristiques en termes de services et de fonctionnalités (par exemple, toutes les villes ne possèdent pas de caserne ou de zone portuaire).

Le dictionnaire de données de la ville de Genève[71], est sans doute le plus complet, par les métadonnées associées à chaque type d'objets. A titre d'exemple, il fournit les informations suivantes : nom usuel de l'objet, classe et type d'objet (polygone, ligne, point, image), partenaire(s) ayant participé à la construction de cette donnée, institution propriétaire, règle de diffusion des données (libre accès, restriction), description succincte et domaine d'application des données, attributs (numéro, code, description, projection, résolution). Une grande importance est apportée aux contraintes d'utilisation, dont va dépendre le type d'application qui peut être effectué. Ces contraintes précisent la méthode d'acquisition, la méthode de mise à jour, la périodicité de mise à jour, la précision géométrique, la fiabilité, l'échelle d'utilisation, et l'état d'avancement de constitution complète de la base.

La comparaison des dictionnaires de données existants et des typologies de produits numériques disponibles sur le marché de l'IG fait l'objet d'une analyse approfondie au chapitre 4.

3.3.1.4 Les données du secteur public, une source de données prépondérantes ?

Au sein de la Société de l'Information, le chapitre 1 a mis en évidence la prédominance des producteurs publiques de données géographiques comme source principale de données de base. Les organismes interrogés confirment-ils cette tendance ?

Les résultats semblent plus mitigés. En effet, si les données proviennent majoritairement du **secteur public** (80%), beaucoup d'organismes (70%) produisent leurs propres données en interne (Figure 3.10). Parmi les données publiques, le premier fournisseur est l'IGN (25-30%), puis à part sensiblement égale (15-20%) le Cadastre et l'INSEE (Figure 3.11).

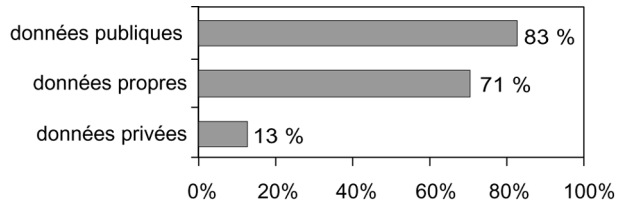


Figure 3.10 – Source des données (Enquête, 2000).

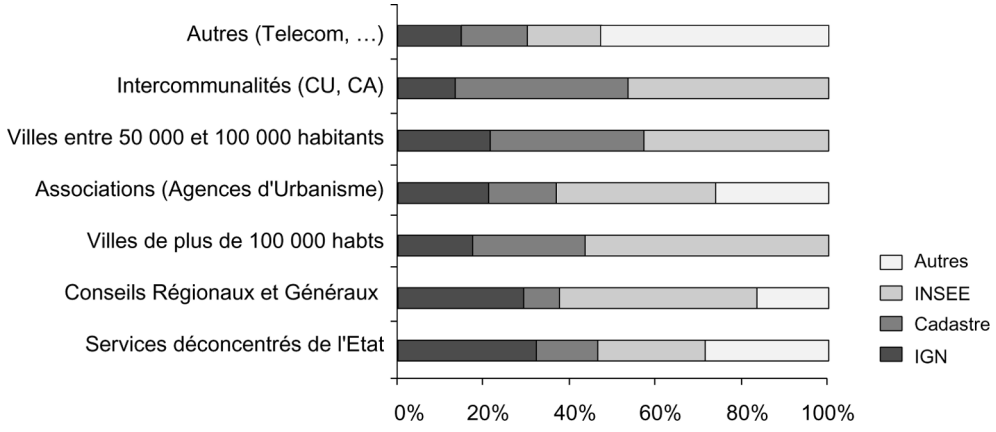


Figure 3.11 – Données publiques par organismes (Enquête, 2000).

[71] Disponible sur le lien Internet http://www.sitg.ch/pages/tablematière/tablematiere.html.

Les données produites par des **organismes privés** (données images -photographies aériennes ou images satellites, données environnementales) représentent un peu plus de 10% des données utilisées.

Au sein de cette tendance générale, une grande variabilité existe entre les catégories d'organismes interrogés (Figure 3.11). Si les **données IGN** sont utilisées majoritairement par les Services déconcentrés de l'Etat (DDE, DIREN) et les CR et CG, elles sont beaucoup moins utilisées par les Agences d'Urbanisme, et très peu par les villes et intercommunalités. Ces dernières, qui ont besoin de données à grande échelle (1/200e au 1/2000e), ont produit dès le début leurs propres données, sous forme de Banques de Données Urbaines (§ 2.1.1). Les **données cadastrales**, très précises, sont ainsi majoritairement utilisées par les villes et les intercommunalités (près de 50%). Les **données INSEE** sont utilisées par tous les organismes. La catégorie « autres » concerne les données provenant d'autres organismes publiques tels que l'IFEN (données environnementales) ou le SETRA (données routières), etc.

3.3.1.5 Vers des SIG multi-tâches ?

L'objectif est de vérifier quels sont les **outils de traitement et d'analyse** d'un SIG (§ 1.3.4.2) utilisés pour la réalisation des applications. Puisque tous les organismes interrogés disposent d'un SIG (cf. § 3.3.1.1), l'analyse conjointe des **techniques utilisées** pour traiter les données (Figure 3.12) et des **documents produits** « en sortie » (Figure 3.13) est révélatrice du niveau d'utilisation des SIG.

Les SIG restent majoritairement (67%) utilisés à des fins de **cartographie thématique (1)**, du 1/200e au 1/50 000e, quel que soit le niveau de responsabilité. Les cartes thématiques produites au niveau stratégique ont vocation de documents de présentation aux élus et d'aide à la décision. Aux niveaux tactique et opérationnel, ce sont essentiellement des documents de travail et de visualisation des phénomènes. La **production de statistiques**, issues d'enquêtes et/ou de requêtes spécifiques (méthodes d'extraction, méthodes de photo-interprétation), est réalisée, le plus souvent dans le cadre d'applications au niveau tactique. Le SIG est alors utilisé comme **outil d'observation et d'analyse du territoire (2)** (réalisation d'états des lieux, d'inventaires, ou d'observatoires). La catégorie « autres » regroupe d'une part, des applications d'**administration des données (3)**, qui interviennent au niveau transversal (saisie, mise à jour, vérification, structuration), et des applications **de consultation des données (4)**, en interne à l'organisme, ou dans le cadre de conventions. Ainsi, ces quatre utilisations « pratiques » d'un SIG opérationnel, ne font référence qu'aux fonctionnalités (Figure 1.19 : Denègre et Salgé, 1996) d'abstraction, d'archivage, et d'affichage de l'outil SIG. Très peu d'organismes utilisent leurs fonctionnalités d'acquisition et d'analyse.

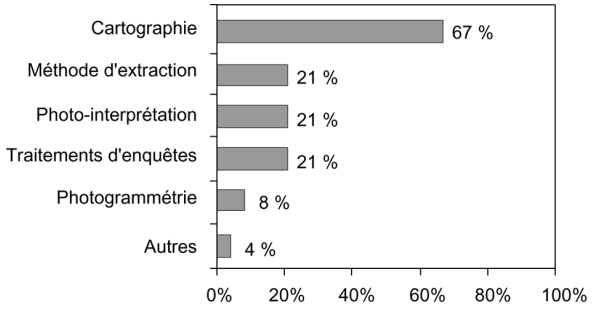


Figure 3.12 - Techniques utilisées pour le traitement des données localisées (Enquête 2000).

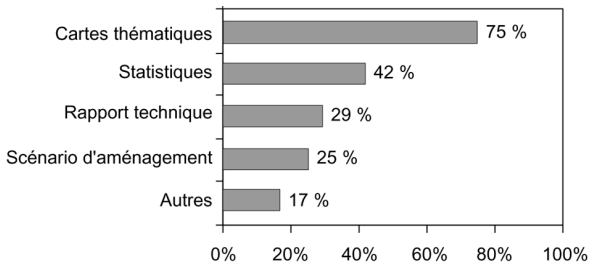


Figure 3.13 - Documents produits en sortie pour répondre à une application (Enquête 2000).

3.3.1.6 L'image comme source de données complémentaires ?

L'objectif de cette section est de définir le **niveau d'utilisation de l'IG de type image** (photographie aérienne analogique, orthophotographie, image satellite, …) car aucune information n'existe dans la littérature. Est-elle considérée et utilisée uniquement comme un fond de plan ? comme un support de communication ? ou comme un véritable document de travail ?

Il s'agit en particulier de comprendre **comment l'image s'insère dans les pratiques** des professionnels (notamment dans les opérations d'aménagement), ou au contraire quels sont les **freins** et **facteurs** qui limitent son utilisation. L'objectif est aussi d'identifier les **caractéristiques techniques** des images (résolutions spatiale, temporelle, spectrale) qui favoriseraient l'intégration d'images satellites dans les pratiques urbaines. Les caractéristiques **des orthophotos** (taille du pixel, besoins de mise à jour, année d'acquisition) d'une part, et leur mode d'utilisation (domaine, utilité, problèmes rencontrés, et attentes) (§ 3.3.1.6.1), et les caractéristiques des images satellites et de leur utilisation (§ 3.3.2.6.2), d'autre part, ont été étudiés pour chacun des organismes. En effet, l'utilisation de l'orthophoto semble un critère pertinent pour étudier les pratiques « images » des organismes, en raison de leurs résolutions spatiales et spectrales proches des capteurs THR (existants ou prévus à court et moyen terme).

3.3.1.6.1 Les utilisateurs et l'orthophotographie

A. L'orthophoto, un produit de plus en plus utilisé et/ou lié à l'ancienneté du SIG ?

Les statistiques descriptives indiquent que **50% des organismes** interrogés disposent d'une **orthophoto**. Parmi ceux-ci, 69% l'ont acquis durant les trois dernières années (1997/1998), et 31%, il y a plus de trois ans. Un **mécanisme d'équipement progressif** selon **le type d'organisme** est clairement identifiable. En effet, si les premières acquisitions datent du début des années 1990 (CU de Lyon, ville du Havre), les CU et villes de plus de 100 000 habitants s'équipent de manière progressive depuis 1995, alors que les Agences d'Urbanisme et les villes entre 50 000 et 100 000 habitants s'équipent majoritairement depuis 1997. Les derniers organismes à s'être équipés sont des CG et CR, des Services de l'Etat et certaines CU (Bordeaux, Brest). A titre de comparaison, le mécanisme inverse est observé au Canada, où de nombreux Services de l'Etat sont équipés d'orthophotos, alors que les grandes agglomérations et les villes restent sous-équipées (Enquête, 2000).

Face à ce constat, une **nouvelle question** se pose : **l'ancienneté de l'activité SIG peut-elle expliquer la présence d'une orthophoto dans un organisme ?** En effet, existe-t-il une **« culture de l'image »** chez les utilisateurs ? le fait de disposer d'un SIG depuis une longue période est-il lié à cette culture ? enfin, la « sensibilisation » à l'image se traduit-elle dans les faits par une utilisation concrète d'un produit image (particulièrement d'une orthophoto).

Les résultats statistiques ne montrent pas de dépendance significative entre les modalités liées à l'ancienneté du SIG et à la présence d'une orthophoto. Toutefois, il apparaît que **80%** des organismes équipés d'un **SIG depuis plus de 5 ans** (ce qui représente 47% des organismes interrogés) disposent d'une **orthophoto**. Plus de la moitié de ces organismes l'ont acquis à partir de 1997. Par contre, parmi les organismes équipés d'un **SIG depuis moins de 5 ans** (53% des organismes interrogés), seuls **28%** possèdent **une orthophoto**. Ceci présuppose une certaine **culture** ou habitude de l'**image à travers le SIG**.

La **résolution spatiale des orthophotos** utilisées par les organismes se répartit comme suit (Tableau 3.5) :

- environ 40% des organismes (Services déconcentrés de l'Etat, CR, CG et quelques villes de plus de 100 000 habitants) utilisent une orthophoto de résolution supérieure ou égale à 40 cm ;
- plus d'un tiers des organismes (la majorité de villes de plus de 100 000 habitants) possèdent une orthophoto dont la résolution est comprise entre 20 et 40 cm ;
- moins d'un tiers des organismes (la majorité des communautés urbaines) a acquis une orthophoto de résolution inférieure ou égale à 20 cm.

Tableau 3.5 - Diffusion de l'orthophoto selon la taille du pixel.

Pixel ≤ 20 cm	20 cm< Pixel ≤ 40cm	40 cm < Pixel ≤ 50 cm	Pixel > 50 cm
27%	35%	31%	8%

En terme **de mise à jour**, deux tiers des organismes estiment qu'une actualisation du territoire tous les ans est suffisante. Les producteurs du secteur public ou privé se répartissent le marché des orthophotos à part sensiblement égale (48% des organismes interrogés ont acquis une orthophoto auprès de l'IGN, 52% auprès de producteurs privés).

B. L'orthophoto comme unique support de communication ?

Trois **catégories d'utilisations** de l'orthophoto ont été identifiées (Tableau 3.6) :

- **plus de la moitié** des organismes interrogés utilisent l'orthophoto à la fois comme **source d'information** et comme **moyen de contrôle.** Les objets aisément identifiables sur l'orthophoto (trottoirs, bouches d'égouts, jardins, espaces verts publics, …) sont digitalisés à l'écran et intégrés directement dans la base de données. Des informations issues de relevés de terrain sont vérifiées sur l'orthophoto, avant d'être intégrées dans la base de données. Dans certains cas, l'orthophoto peut également servir à « recaler » une couche d'information (notamment le cadastre). Ces utilisations concernent principalement les CU et les villes de plus de 100 000 habitants. Toutefois, cette catégorie d'utilisation semble sous-estimée, notamment car les organismes ayant acquis récemment une orthophoto n'ont pas forcément les moyens techniques et financiers pour les exploiter ou pour expliquer ses possibilités aux utilisateurs ;
- **plus d'un tiers des utilisateurs** utilisent l'orthophoto comme fond de plan et/ou comme support de communication (pour le grand public et les élus). Considérée comme une **vision « objective du territoire »**, elle est utilisée pour « vendre l'image d'une ville» ou pour visualiser l'intégration d'un projet d'aménagement sur le territoire. Ces utilisations concernent 15% des CU et villes de plus de 100 000 habitants, et dans une faible mesure (<5%) tous les autres organismes ;
- **une minorité** d'organismes utilise l'orthophoto comme un **véritable référentiel** (quelques CU, plusieurs villes de plus de 100 000 habitants).

Au total, ce sont les collectivités locales (CU, villes) qui exploitent au mieux les potentialités de l'orthophoto ; les CG et CR, les Services Déconcentrés de l'Etat et les Agences d'Urbanisme l'utilisent presque uniquement comme fond de plan ou support de communication.

Tableau 3.6 - Type d'applications où l'orthophoto est utilisée.

Source d'information et moyen de contrôle	Support de communication	Référentiel
54%	33%	13%

Cette pré-analyse peut être complétée en différenciant **cinq « domaines » d'utilisation** de l'orthophoto. La notion de « domaine » (ou de « thème ») permet de clarifier la nature des études traitées :

- **près de la moitié des organismes** (essentiellement les CU et les villes de plus de 100 000 habitants) utilise l'orthophoto pour la **« gestion »** des bases de données disponibles (cadastre, réseaux, occupation du sol, espaces verts, stationnement, projets d'aménagement). Les villes entre 50 000 et 100 000 habitants ont, dans une moindre mesure, la même activité ;
- **l'autre moitié** utilise l'orthophoto uniquement dans le cadre d'un **domaine spécifique** : 16% l'utilise uniquement pour des applications liées au cadastre ou à l'aménagement, 13% pour cartographier l'occupation du sol, 9% pour gérer les réseaux aériens ou terrestres.

Une tendance semble se dégager : la **taille du pixel** n'est pas liée au domaine d'utilisation mais à l'**utilité de l'orthophoto.** Ainsi une orthophoto avec un pixel inférieur à 50 cm est utilisée comme source d'informations, puis comme source de contrôle d'autres couches ; à l'inverse, une orthophoto avec un pixel de plus faible résolution (> 50 cm) est utilisée comme support de communication. Cette tendance n'a pu être prouvée statistiquement en raison de l'effectif interrogé.

Cinq types de problèmes liés à l'utilisation de l'orthophoto ont été exprimés par les utilisateurs (Tableau 3.7):

- pour **plus de la moitié** des organismes les **ombres portées** (et les **zones cachées) constituent le facteur limitant.** Les ombres portées concernent essentiellement les applications en milieu urbain dense où elles « cachent» les objets au sol et perturbent l'interprétation visuelle de l'utilisateur. Ce problème est majoritairement cité par les organismes qui possèdent une orthophoto de résolution comprise entre 20 et 50 cm. Au-delà (pixel > 50 cm), le problème n'est pas cité par les organismes, car l'utilisation prédominante de ces orthophotos est le support de communication ;
- **pour le reste** des organismes, les critères les plus cités sont, par ordre décroissant, le **volume des données,** la non-uniformité de la **radiométrie**, la taille du pixel et les délais (jugés trop long) d'obtention de la commande (prise de vue, traitement photogrammétrique, MNT, mosaïquage, corrections diverses).

Tableau 3.7 - Problèmes liés à l'utilisation de l'orthophoto.

Ombres portées (zones cachées)	Volume de données	Non-uniformité de la radiométrie	Taille du pixel	Délais d'obtention
56%	17%	17%	6%	4%

Pour tous, **le prix** est un facteur très important de décision, la plupart du temps « implicite» . Selon la résolution, le coût de réalisation d'une orthophoto par km² peut varier d'un facteur 10 (Tableau 3.8). Le prix de réalisation d'une première orthophoto sur un site comprend la prise de vue, la numérisation des photographies aériennes, le calcul du MNT, le mosaïquage, les corrections géométriques, le géoréférencement et le contrôle qualité. Pour une mise à jour, il faut compter un tiers du coût en moins car certaines informations (corrections géométriques, MNT) sont déjà disponibles.
Selon les financements disponibles, le choix effectué par l'organisme est un compromis entre la résolution, la zone couverte et le coût. Les petites communes acquièrent très peu ce type de don-

nées pour des raisons financières, d'autant qu'à la seule réalisation de l'orthophoto il faut souvent rajouter des coûts supplémentaires non négligeables (équipement informatique, formation).

Tableau 3.8 - Coût de réalisation d'une orthophoto (2000).

	≈ 20 cm	≈ 50 cm	≈ 1 m
1ère réalisation	500 à 750 €/km²	75 à 300 €/km²	30 à 80 €/km²
Mise à jour	300 à 500 €/km²	50 à 200 €/km²	20 à 50 €/km²

C. Des catégories distinctes d'utilisateurs d'orthophotos ?

La dépendance simultanée de toutes les variables[72] a été testée par une AFCS pour vérifier si des « **profils d'utilisateurs d'orthophotos** » pouvaient être définis. Le pourcentage d'informations restitué par les trois facteurs est de 31% (facteur 1), 13% (facteur 2) et 9% (facteur 3). Le facteur 3 est considéré comme non-significatif à cause de son faible pourcentage de représentation de l'information. Le graphique des facteurs croisés (F1 et F2) et l'analyse des contributions (absolues et relatives) met uniquement en évidence une opposition des individus basée sur la variable « type d'organismes ». D'autres AFCS ont été testées afin d'identifier les variables pertinentes. Certaines réponses ont été recodées pour obtenir un nombre homogène de modalités, et certaines variables ont été successivement considérées actives (toutes les modalités sont prises en compte dans l'analyse) ou illustratives (certaines modalités sont prises en compte dans l'analyse de manière indirecte).

Les variables les plus significatives, qui ont fait apparaître une structure sont, par ordre de contribution décroissante : **l'année de 1ère acquisition** des orthophotos, la **taille du pixel** et le **besoin en mise à jour**. Celles-ci ont été analysées en tant que variables actives, les autres étant considérées comme variables illustratives. Les deux premiers facteurs ont restitué **plus de 60%** de l'information totale.

Une classification hiérarchique ascendante sur les deux premiers facteurs différencie quatre « profils d'utilisateurs d'orthophotos » (Annexe 3.7) :

- le **premier groupe** (Groupe 1) rassemble les utilisateurs « récents » de l'orthophoto, acquise entre 1999 et 2001, dont la taille de pixel est comprise entre 25 et 40 cm. Le besoin de mise à jour est de 2 à 3 ans. Il associe des individus, des villes et des intercommunalités ;
- le **deuxième groupe** (Groupe 2) rassemble les utilisateurs « anciens » de l'orthophoto, acquise entre 1995 et 1997, dont la taille de pixel est proche de 50 cm. Il associe des individus des Services Déconcentrés de l'Etat et les villes de Toulouse, Besançon et Mulhouse ;
- le **troisième groupe** (Groupe 3) rassemble les utilisateurs « très anciens » de l'orthophoto, acquise au début des années 1990, dont la taille de pixel est soit inférieure à 20 cm, soit supérieure à 50 cm. Le besoin de mise à jour est supérieur à 3 ans (en moyenne 5 ans) ;
- le **quatrième groupe** (Groupe 4) rassemble les organismes qui ne disposent **pas d'orthophotos**.

L'ajout de la variable « **utilité de l'orthophoto**» comme variable active a permis de différencier les utilisateurs avec un critère supplémentaire. Les organismes qui possèdent une orthophoto de résolution inférieure à 20 cm (**Groupe 3**) l'utilisent comme **source d'information** (pour compléter, mettre à jour, ou créer une base de données spécifiques) et comme **référentiel**. Les organismes du

[72] Les variables sont : le type d'organismes, la présence d'une orthophoto, l'année d'acquisition, la taille du pixel, le besoin de mise à jour, l'utilisation, l'explication de la non-utilisation, les problèmes rencontrés et les attentes (9 variables).

Groupe 2, qui possèdent une orthophoto avec un pixel proche de 50 cm, l'utilisent actuellement comme **fond de plan** et **support de communication**.

En résumé, les applications (ou tâches) des organismes ont guidé au choix de la résolution adaptée à leurs besoins propres. Ce choix est en partie lié au degré de sensibilisation au produit « image » de la personne chargée de la gestion des données.

3.3.1.6.2 Les utilisateurs et l'image satellite

A.L'image satellite, un produit méconnu des utilisateurs ?

L'analyse des réponses associées au mot-clé « image satellite » indique que seul 30% des organismes ont travaillé avec une image, sans forcément l'avoir acquise. Beaucoup d'organismes « testent » les produits issus d'images satellites (sans les acheter) par l'intermédiaire de partenariats avec des Universités ou d'Ecoles d'Ingénieurs.
De nouveau, les premiers acquéreurs d'images satellites (le plus souvent de type SPOTView) sont les CU et les villes de plus de 100 000 habitants (15%), puis les CG et CR et les Associations (11%), enfin les Services Déconcentrés de l'Etat (4%). Une étude spécifique sur les données utilisées dans les Agences d'Urbanisme indique que seul 3% des agences (il existe 96 Agences d'Urbanisme en France) a acquis une image SPOT (Plouvier, 2000). Paradoxalement, les organismes qui n'ont pas acquis d'images satellites se classent pratiquement dans le même ordre (villes de plus de 100 000 habitants, villes entre 50 000 et 100 000 habitants, Services Déconcentrés de l'Etat, CG et CR.).

B. Une utilisation des images satellites pour l'identification de quelques objets urbains ?

La première utilisation de l'image satellite (Tableau 3.9), de loin prédominante, est la **cartographie de l'occupation du sol**, puis la **détection des espaces verts**. Ces deux applications représentent les trois quarts des applications. Un petit nombre d'utilisateurs emploie l'image pour l'identification des **surfaces imperméables**, pour des analyses de **changements**, ou comme une **vision complémentaire du territoire**, à une échelle différente des autres couches d'information. Le tableau 3.9 classe également les utilisations selon le type d'organisme.

Tableau 3.9 - Type d'applications où l'image satellite est utilisée, selon le type d'organismes.

Cartographie de l'occupation du sol	Identification des espaces verts	Identification des surfaces imperméables	Identification des changements	Vision complémentaire du territoire
50%	22%	11%	11%	6%
Agences d'Urbanisme et les CR et CG	CU	Services déconcentrés de l'Etat et quelques CU	CU et les villes de plus de 100 000 habitants	villes de plus de 100 000 habitants

Les CU et les villes de plus de 100 000 habitants utilisent essentiellement l'image pour compléter ou mettre à jour des couches existantes (exemple typique des espaces verts) ; l'utilisation majoritaire de l'image comme outil de cartographie de l'occupation du sol par les Agences d'Urbanismes et les CR et CG s'explique par l'étendue de leur territoire d'étude (l'image satellite couvre une plus grande superficie que l'orthophoto, et souvent en un seul « *bloc* »). A nouveau, ces résultats indiquent une tendance car ils représentent peu de réponses.

C. La résolution spatiale, un frein à l'utilisation des images satellites ?

Les problèmes rencontrés lors de l'utilisation d'une image (Tableau 3.10) sont, à parts égales, la **taille du pixel**, la **difficulté d'automatiser les traitements**, et l'**incompatibilité des nomenclatures**. Les premiers sont évoqués le plus souvent par les CU et les villes de plus de 100 000 habitants, le dernier problème, majoritairement par les Agences d'urbanisme. Les freins à la diffusion de l'image satellite sont ensuite dans une proportion moindre la difficulté d'**interpréter les images** et la **complexité des logiciels**.

Tableau 3.10 - Problèmes rencontrés lors de l'utilisation des images satellites (sur 16% de réponses).

Taille du pixel	Difficulté d'automatisation	Incompatibilité des nomenclatures	Difficulté d'interprétation	Complexité des logiciels
25%	25%	25%	12%	13%

Les raisons de **non-utilisation** de l'image sont par ordre décroissant (Tableau 3.11) : l'inadaptation actuelle de la **taille du pixel** (10 à 20 m) pour des applications en milieu urbain dense, le **coût** financier de l'image et des équipements complémentaires, et le **manque de connaissance** des produits (peu de catalogues, à qui s'adresser). Il est à noter qu'un cinquième des organismes interrogés n'envisage pas d'acquérir une image (quelles que soient les évolutions du marché) car ils estiment être satisfaits des documents qu'ils utilisent.
Des problèmes secondaires sont ensuite évoqués par quelques organismes : **difficultés techniques** (d'interprétation des images, d'utilisation des logiciels de traitement), **délai de traitements** trop long (la majorité des organismes sous-traitent le traitement des images, ce qui par ailleurs engendre un coût supplémentaire). Signalons que la faible résolution temporelle (répétitivité) des images actuelles ne constitue pas un facteur limitant pour les utilisateurs en milieu urbain ; cependant, une mise à jour fréquente reste un besoin clairement identifié quel que soit le type de données.

Tableau 3.11 - Les raisons de non-utilisation des images satellites.

Taille du pixel	Coût des images/ Manque de financement	Satisfait des données	Pas de connaissance des produits	Difficultés techniques (interprétation, logiciels)	Délai d'obtention
40%	24%	20%	10%	4%	2%

Le problème de la faible résolution spatiale est surtout évoqué par les villes entre 50 000 et 100 000 habitants (13%), les Services Déconcentrés de l'Etat (10%) et les CG/CR (9%). Ce problème ne se pose pas pour les CU et villes de plus de 100 000 habitants qui utilisent des produits images plus précis (orthophotos de pixel inférieur au mètre) pour la gestion du territoire urbain.

D. L'attente de produits à valeur ajoutée et de résolutions spatiales adaptés au milieu urbain ?

Pour répondre directement à leurs besoins, les organismes interrogés ont des attentes précises en termes de **produits images à valeur ajoutée**, de **résolution** métrique et décimétrique, de facilités de compression et de nomenclatures cohérentes (notamment avec le PLU, Tableau 3.12). Les principaux organismes « demandeurs » sont également précisés dans le tableau 3.12.

Tableau 3.12 - Les attentes des utilisateurs pour les produits issus d'images satellites.

Produit à valeur ajoutée	Résolution spatiale : métrique / *décimétrique*	Facilité de compression	Nomenclatures cohérentes
47%	31% / *13%*	6%	3%
Services Déconcentrés de l'Etat et les CG/CR	Villes de plus de 100 000 habts CU et de plus de 50 000 habts	CU et villes de plus de 100 000 habts	CU Agences d'urbanisme

E. Des catégories distinctes d'utilisateurs d'images satellites ?

La dépendance simultanée de toutes les variables[73] a été testée par une AFCS pour identifier des « **profils d'utilisateurs d'images satellites** », selon une structure d'analyse identique à celle de l'orthophoto (§ 3.3.1.6.1). La proportion d'informations restituées par les trois facteurs atteint 47%. Le facteur 1 (25% de l'information) fait apparaître une dépendance entre les variables « **utilisation des images satellites** » et « **problèmes rencontrés** », alors que le facteur 2 (14% de l'information) indique des liaisons entre les variables « utilisation des images satellites » et « **attentes** ».

Une classification hiérarchique ascendante sur les deux premiers facteurs permet de différencier **quatre groupes d'organismes,** selon les variables identifiées ci dessus (Annexe 3.8) :

- le **premier groupe** rassemble des CU (Nancy, Brest, Dunkerque) qui utilisent l'image comme un vecteur essentiel d'informations pour certaines applications (identification des changements, cartographie des espaces verts, cartographie des surfaces imperméables). Ce groupe attend une **meilleure résolution** (décimétrique), surtout pour le milieu urbain dense, et des **nomenclatures adaptées** ;
- le **deuxième groupe** rassemble des CU qui n'utilisent pas encore l'image, mais où des réflexions sont en cours (Strasbourg, Bordeaux, Lyon) ;
- le **troisième groupe** est rassemble les Agences d'Urbanisme et quelques CG/CR qui utilisent l'image pour cartographier l'occupation du sol sur de larges territoires, ou pour disposer d'une vision complémentaire du territoire. Ce groupe est confronté à des difficultés d'interprétation des images et des problèmes d'automatisation des traitements (d'où un recours marqué à la sous-traitance) ;
- le **quatrième groupe** rassemble des organismes qui ne disposent pas d'images (villes entre 50 000 et plus de 100 000 habitants, CG/CR, Services Déconcentrés de l'Etat,). Leurs attentes concernent des résolutions métriques (inférieur à 5 m) et des produits à valeur ajoutée de type carte d'occupation/utilisation du sol.

[73] Les variables sont identiques à celles de l'orthophoto : le type d'organismes, la présence d'une image satellite, l'année d'acquisition, la taille du pixel, le besoin de mise à jour, l'utilisation, l'explication de la non-utilisation, les problèmes rencontrés et les attentes (9 variables).

3.3.2 Interprétation synthétique des résultats

Les résultats de l'enquête exprimés de manière analytique ; il s'agit de les **interpréter** et de **vérifier les hypothèses de travail**. Ce paragraphe 3.3.2.1 est consacré à cette interprétation. Ces résultats synthétiques ont été comparés (§ 3.3.2.2) à une enquête « globale » réalisée par le gouvernement américain en 1997, dans le cadre de la mise en place de leur National Spatial Data Infrastructure (cf. § 2.1.2.3.2) ; et à deux enquêtes réalisées dans les états de l'Ohio (1997) et de New York (1998), dans le cadre de projet de couverture orthophotographique du territoire (*Ohio Digital Othophotography Project ; New York State Geographic Information Systems Coordination Program*). Cette comparaison, présentée au paragraphe 3.3.2.2, a fait l'objet d'une publication dans l'Espace Géographique (Puissant et Weber, 2003a).

3.3.2.1 Interprétation synthétique des résultats et vérification des hypothèses de travail

3.3.2.1.1 Vérification de l'hypothèse de travail n°1 : des objets urbains de caractéristiques spécifiques en fonction du type d'applications ?

L'objectif est de vérifier d'une part, que des **applications différentes** font appel à des **objets urbains spécifiques** aux caractéristiques différentes (échelle, précision, mise à jour, …), et d'autre part, qu'un **même objet urbain** est utilisé dans **plusieurs applications différentes**.

Les résultats de l'enquête ont confirmé l'existence de plusieurs catégories d'applications, selon les niveaux de responsabilité des organismes (cf. § 3.3.1.3.1). Les dictionnaires de données ont une structuration différente selon les organismes (pratique de gestion du dictionnaire, manque d'uniformisation : § 3.3.1.3.2). Or, il est **indispensable de disposer d'un dictionnaire d'objet commun** au plus grand nombre d'utilisateurs pour répondre à leurs besoins.

Dans ce cadre, un **dictionnaire d'objets urbains « de référence »** a été construit à partir de l'analyse des différents dictionnaires disponibles. Les objets répertoriés sont classés, en neuf « **catégories thématiques** », dont la signification est précisée au Tableau 3.13. Elles sont considérées comme représentatives car les objets rassemblés sont communs à la plupart des dictionnaires de données analysés. Le dictionnaire est présenté à la Figure 3.14.

Les critères d'échelles, de précision géométrique et de périodicité de mise à jour ont été relevés **pour une vingtaine d'applications,** parmi un panel représentatif d'applications définis au § 3.3.1.3.1 (Tableau 3.14). Les applications ont été choisies à part égale dans les trois niveaux de responsabilité. A titre d'exemple, deux réponses d'organismes différents, pour deux applications différentes, sont présentées au Tableau 3.15.

Une **grille de tous les objets urbains utiles,** adaptée à tout type d'organisme, a été construite par généralisation des caractéristiques des objets. Cette grille a permis de compléter et de valider le dictionnaire. C'est le cas, par exemple, des secteurs postaux, ou encore des arbres selon leur diamètre floral (à la cime).

Tableau 3.13 - Catégories et sous-catégories d'objets : définition.

Thème/Catégorie	Sous-catégorie	Définition
1. Découpages administratifs	/	Toutes limites établies par l'Etat
2. Urbanisme règlementaire	/	Tout plan établi par des instances de l'Etat
3. Bâtiment/Construction	/	Toutes constructions permanentes assurant l'abri de personnes ou de biens. Remarque : toute construction décomposée en n éléments et de forme caractéristique d'une zone d'activité particulière, sera classé dans cette zone d'activité.
4. Equipement	- Assainissement - Environnement - Sport et loisirs - Divers	Tout objet qui « équipe » une zone ou un bâtiment
5. Mobilier urbain		Tout objet de type « mobilier » installé par des services de l'Etat
6. Transport	- Voies et contenu - Ouvrages d'art - Stationnement et place	Toute emprise au sol destinée à la circulation ou au stationnement des personnes et des biens, ainsi que tout objet équipant cette emprise (glissière de sécurité, carrefour, trottoir, …) ne faisant pas partie d'une autre catégorie.
7. Espaces végétalisés	/	Tout espace non-bâti
8. Hydrographie	/	Tout cours d'eau ou surface en eau permanent sans restriction de largeur ou de surface minimum
9. Divers	/	Toute information renseignée ponctuellement (point de canevas, …)

Tableau 3.14 - Liste des applications où les objets urbains utiles sont détaillés.

Niveau de responsabilité	Applications
Niveau opérationnel	Gestion des espaces végétalisés en zone urbaine Gestion des servitudes d'utilité publique (eau, assainissement) Gestion du réseau routier Gestion d'événement : création d'un plan de sécurité Gestion des risques technologiques mineurs
Niveau tactique	Définition d'un plan d'aménagement d'une place, d'un quartier Observatoire de l'environnement Réalisation ou révision d'un PLU Observatoire social Observatoire du stationnement Etudes d'impact (implantation d'industries) Mise en place d'un PPR Recherche de localisation optimale de conteneurs à papier Localisation d'antennes mobiles Calcul d'un coefficient de ruissellement
Niveau stratégique	Scénarios d'aménagements d'espaces verts en zone urbaine Création/Planification de modifications d'un plan de circulation Simulation de la propagation du bruit Simulation de circulation Cartographie de synthèse des établissements scolaires (lycées, collèges, …)

Tableau 3.15 - Exemples de réponses d'organismes, pour deux applications différentes.

		APPLICATION		
Réponse d'une Communauté Urbaine		**1. Gestion des servitudes d'utilité publique (assainissement et eau) – Niveau opérationnel**		
Catégories	**Objets/Informations**	**Echelle**	**Précision géométrique**	**Mise à jour**
Réseaux	conduites eau potable	1/200e	cm	6 mois à 1 an
	conduites assainissement	1/200e	cm	6 mois à 1 an
	sens d'écoulement des collecteurs	1/200e	cm	6 mois à 1 an
Mobiliers urbains	collecteur	1/200e	cm	
	regard d'assainissement	1/200e	cm	6 mois à 1 an
	avaloir	1/200e	cm	6 mois à 1 an
	déversoir	1/200e	cm	6 mois à 1 an
	hydrant	1/200e	cm	6 mois à 1 an
	contrôleur de débit	1/200e	cm	6 mois à 1 an
	puits	1/200e	cm	6 mois à 1 an
	puisard alimentant la nappe phréatique	1/200e	cm	6 mois à 1 an
	grille de ventilation	1/200e	cm	6 mois à 1 an
	bouche d'arrosage	1/200e	cm	6 mois à 1 an
	plaque d'égout carrée et ronde	1/200e	cm	6 mois à 1 an
	borne incendie	1/200e	cm	6 mois à 1 an
Equipement	station de pompage	1/200e	cm	6 mois à 1 an
	station d'épuration	1/200e	cm	6 mois à 1 an
	château d'eau, réservoirs	1/200e	cm	6 mois à 1 an
Hydrographie	bassin versant	1/1000e au 1/5000e	m	3 à 5 ans

		APPLICATION		
Réponse d'une Agence d'Urbanisme		**2. Observatoire de l'environnement Niveau tactique**		
Catégories	**Objets/Informations**	**Echelle**	**Précision géométrique**	**Mise à jour**
Découpages administratifs	limites de quartiers	1/10 000e	m	10 ans
	limites de commune	1/10 000e	m	10 ans
	limites de département	1/10 000e	m	10 ans
Equipement	aires de jeux	1/2000e au 1/10 000e	m	1 à 3 ans
	terrains de sport	1/2000e au 1/10 000e	m	1 à 3 ans
	zones sportives	1/2000e au 1/10 000e	m	1 à 3 ans
	zones de loisirs	1/2000e au 1/10 000e	m	1 à 3 ans
Transport	berge naturelle	1/2000e au 1/10 000e	m	1 à 3 ans
Hydrographie	plan d'eau (lacs, étangs…)	1/2000e au 1/10 000e	m	3 ans ou +
	canal navigable	1/2000e au 1/10 000e	m	3 ans ou +
	fleuve	1/2000e au 1/10 000e	m	3 ans ou +
	rivière	1/2000e au 1/10 000e	m	3 ans ou +
	ruisseau	1/2000e au 1/10 000e	m	3 ans ou +
	surfaces d'eau et cours d'eau	1/2000e au 1/10 000e	m	3 ans ou +
	carrière	1/2000e au 1/10 000e	m	3 ans ou +
Espaces végétalisés	arbres ponctuels et bosquets	1/2000e au 1/10 000e	m	1 à 3 ans
	alignement d'arbres	1/2000e au 1/10 000e	m	1 à 3 ans
	zones boisées	1/2000e au 1/10 000e	m	1 à 3 ans
	gazon, pelouse (publique)	1/2000e au 1/10 000e	m	1 à 3 ans
	jardin d'agrément - gazon	1/2000e au 1/10 000e	m	1 à 3 ans
	massif floral	1/2000e au 1/10 000e	m	1 à 3 ans
	broussaille, petite végétation	1/2000e au 1/10 000e	m	1 à 3 ans
	jardins familiaux	1/2000e au 1/10 000e	m	1 à 3 ans
	parc	1/2000e au 1/10 000e	m	1 à 3 ans

Catégorie	Libellés de l'objet
Découpage administratif	Subdivision fiscale
	Parcelle cadastrale
	Section cadastrale
	Feuille cadastrale
	Ilot INSSEE
	Quartier INSEE
	Secteurs PLUtaux
	Limites de quartiers et de sous-quartiers
	Limites de commune
	Limites de canton
	Limites de département
	Limites de région
	Découpages électoraux
Urbanisme réglementaire	Zones du PLU (servitudes, réglementaires, zonages)
	Zones d'Aménagement Concerté
	Zones d'Aménagement Différé
	Zones à Risque Archéologique
	Zones de protection des monuments historiques
	Plans d'alignement
	Plan d'Exposition au Bruit
	Plan d'Exposition aux Risques naturels
	Plan d'Aménagement d'Ensemble
	Périmètres de Protection des Risques
	Périmètres de Restauration Immobilière
	Emplacements réservés
	Terrains classés
	Sites et édifices classés
	Secteur Sauvegardé
	Droit de préemption urbain
	Servitudes
	Monuments Historiques
Bâtiment/ Construction	Adresse postale
	Bâtiment et annexe (public, privé)
	Bâtiments commerciaux, entreprises, industries…
	Ensembles immobiliers
	Terrasse
	Passage
	Rampe d'accès au bâtiment
	Lieux de culte
	Hauteur des bâtiments (nb niveaux ou m)
	Calvaire
	Surface bâtie
	Continuité bâtie
Equipement	* **Divers**
	Escalier dans la voirie
	Escalier lié au bâtiment privé
	Passage piéton/marquage au sol
	Digue
	Rambarde
	Rampe
	Clôture légère (limite matérialisée)
	Cimetières
	* **Sport et loisirs**
	Piscines extérieure (publique ou privée)
	Aires de jeux
	Terrains de sport
	Zone sportive
	Zone de loisirs
	* **Environnement**
	Récupérateur de déchets (déchetterie)
	Conteneurs/Récupérateur (huile, papier, verres)
	Fosse ordures urbaines, décharge
	Station de mesure des polluants atmosphériques
	Capteurs de la qualité de l'eau
	Château d'eau, réservoir
	* **Assainissement**
	Station de pompage
	Station d'épuration
Divers	Repère de triangulation
	Station de polygonation
	Détail topographique
	Repère de nivellement
	Point de canevas
	Point d'assemblage
	Courbes de niveau

Catégorie	Libellés de l'objet
Transport	* **Voies et contenu**
	Conduites (eau, assainissement, électricité, gaz)
	Sens d'écoulement des collecteurs
	Autoroutes
	Echangeurs
	Routes nationales
	Routes départementales
	Voies vicinales
	Chemin, piste carrossable, sentier
	Pistes cyclables
	Emprise de la voie ferrée (trains, tram, métro)
	Filaire des voies
	Eléments linéaires (routes, fer, …)
	Type de recouvrement
	Sens de circulation
	Glissières de sécurité
	Feux de signalisation
	Trottoir et bordure
	Carrefour
	Ilot directionnel ou de séparation
	Aiguillage
	Berge aménagée (halage et marchepied)
	* **Ouvrages d'art**
	Passerelle toboggan
	Support de toboggan
	Passage bateau, écluse, ascenseur
	Pont
	Tunnel
	Aéroport, Aérodrome
	* **Stationnement et places**
	Aire de stationnement, parking extérieur
	Parc à vélo
	Places piétonnes
	Espace dénommé sans voies (square)
Espaces végétalisés	Arbre isolé < 0.20m (diamètre)
	Arbre isolé de 0.20 à 0.60 m (diamètre)
	Arbre isolé > 0.60m (diamètre)
	Arbres ponctuels et bosquets
	Alignement d'arbres
	Broussaille, petite végétation
	Gazon, pelouse (publique)
	Jardin d'agrément - gazon
	Massif floral
	Jardins familiaux
	Haies
	Parcelles agricoles
	Friche
	Parc
	Zones boisées
	Berge naturelle
	Schématiques des espaces verts publics
Mobilier Urbain	Abri bus/tram
	Avaloir
	Bacs à fleurs
	Bancs
	Barrière
	Bornes d'incendie
	Borne lumineuse
	Bouche à clef d'eau et gaz
	Bouche d'arrosage
	Cabine téléphoniques
	Collecteur
	Déversoir
	Fontaine
	Grille de ventilation
	Horodateur
	Hydrant
	Kiosque
	Lampadaires simples et doubles
	Panneau d'affichage, d'information
	Poubelles publiques
	Plot
	Pylône, pilier
	Plaque d'égout carrée et ronde
	Poteau PTT / EDF
	Puits
	Regard d'assainissement
	Contrôleur de débit
Hydrographie	Bassin ou plan d'eau (lacs, étangs…)
	Canal navigable
	Fleuve
	Rivière
	Ruisseau
	Ligne hydrographique et sens d'écoulement
	Surfaces d'eau et cours d'eau
	Carrière
	Bassin versant

Figure 3.14 – Proposition d'un dictionnaire d'objets urbains, classés en catégories thématiques.

L'hypothèse de travail n°1 est confirmée. La création d'un dictionnaire de données « universel » à plusieurs utilisateurs et applications urbaines permet de vérifier que les utilisateurs ont besoin d'objets spécifiques (échelles, précisions, fréquences de mise à jour). Dans le détail :

- **les applications de niveau opérationnel** (gestion du territoire) font appel à des grandes échelles (1/200e), une grande précision (centimétrique) et une mise à jour au minimum annuelle ;
- **les applications de niveau tactique** (urbanisme réglementaire, observatoire, études ponctuelles), utilisent des données à des échelles moyennes (1/10 000e), de moindre précision et de mise à jour moins fréquente (environ 3 ans) ;
- **les applications de niveau stratégique** (prospective) manipulent des petites échelles, qui ne demandent pas une grande précision, avec une mise à jour ponctuelle, fonction des projets d'aménagements en cours.

Inversement, on observe qu'un objet urbain n'est jamais utile de la même manière dans des applications différentes. Le dictionnaire d'objets établis sert de base pour évaluer l'adéquation de la demande avec l'offre, dans les chapitres suivants.

3.3.2.1.2 Vérification de l'hypothèse de travail n°2 : le SIG comme unique outil d'administration et de structuration des données ?

L'objectif est de vérifier si les tendances relevées par l'état de l'art (diversification et multiplication des champs d'application des SIG) se confirment et s'il est possible de préciser les fonctions SIG utilisées.

Les résultats de l'enquête ont confirmé que si l'administration des données reste une activité importante (réservée à des initiés), les SIG sont d'abord utilisés pour leurs fonctions de **cartographie thématique.** La production de cartes est ainsi utile à tous les niveaux de responsabilité du 1/200e au 1/50 000e à des fins de présentation aux élus (niveau stratégique), et documents d'analyse (niveau tactique) et document de travail (niveau opérationnel). Les fonctions SIG utilisées dans ce cadre sont les **fonctions d'acquisition** (digitalisation sur écran) et **d'affichage** (superposition de couches d'information.

Le SIG est ensuite utilisé comme **outil d'analyse** qui permet de produire une nouvelle information à un niveau tactique, par l'utilisation des **fonctions d'analyse « basiques »** (requêtes spatiales, analyses statistiques, croisement de cartes). Par contre, les fonctions d'analyse spatiale plus « poussées » (analyse de proximité, de voisinage, interpolation) sont encore peu utilisées par les thématiciens. Cela s'explique en partie par la difficulté de mise en œuvre de certaines fonctions, qui demandent certaines connaissances techniques hors de portée d'un thématicien ou d'un décideur. Une application émergente est l'utilisation du SIG comme **outil de consultation** de données. En effet, avec le développement des NTIC, les intercommunalités donnent la possibilité aux communes, d'accéder aux données disponibles sur le territoire (Intranet), par l'intermédiaire d'un SIG « communautaire » (Géonet à la CU de Bordeaux).

L'hypothèse de travail n°2 est donc partiellement vérifiée car de nouvelles utilisations, précisées par les résultats de l'enquête, sont en cours de développement.

3.3.2.1.3 Vérification des hypothèses de travail n°3 et 4 : l'image, une donnée peu utilisée dans les SIG (n°3) ? et uniquement comme simple support de communication (n°4) ?

L'interprétation des résultats liée à l'utilisation de l'image en milieu urbain doit être nuancée, selon qu'ils se rapportent à l'usage de l'**orthophotographie** ou de l'**image satellite**. En effet, si l'orthophoto est utilisée par plus de la moitié des organismes enquêtés (cette tendance s'affirme de plus en plus), l'image satellite est seulement utilisée par environ un tiers des organismes.

Les résultats de l'enquête montrent une **utilisation croissante de l'orthophotographie dans les SIG**, quel que soit le type d'organismes, comme **source d'information** à grande échelle, pour la gestion du territoire, plus précisément :

- pour la **création de données de base** : création de couches d'informations, dans une commune ne disposant d'aucune autres données ;
- pour la **gestion** de ces données : mise à jour de couches d'informations existantes, dans des communes disposant déjà de données de base.

Ensuite, l'orthophoto est utilisée comme **support de communication**, permettant de présenter au public une **vision objective et réaliste du territoire**, facilement lisible par les élus et la population locale qui « *s'y retrouve* ». La possession d'une orthophoto dans un organisme ne freine pas forcément la décision d'acquisition d'une image satellite : par exemple la ville du Havre possède une orthophoto et plusieurs images satellites (SPOT P et XS), et la CU de Strasbourg (orthophoto à 20 cm) projette d'acquérir bientôt une image satellite.
Les **images satellites HR** (type SPOT, LANDSAT) sont en premier lieu utilisée pour la **production d'informations thématiques**, à des échelles régionales du 1/25 000e au 1/50 000e (§ 3.3.1.6.2). Par contre, elles sont **peu ou pas** utilisées en milieu urbain **comme support de communication**. En effet, leurs caractéristiques spectrale (communément appelée par les utilisateurs la « couleur ») et spatiale (comparée au grain de la photographie aérienne), ne conviennent pas aux utilisateurs, car cette vision « *fausse couleur* » et « *microscopique* » est difficilement interprétable directement par le public et les décideurs.

Ces constats permettent d'affirmer que si **l'hypothèse de travail n°3** est vérifiée pour l'image satellite, elle est à nuancer pour les orthophotographies qui sont de plus en plus utilisées. En effet, elles sont amenées à prendre une plus grande place en tant que **source d'information à grande échelle** (1/200e au 1/2000e) et référentiel sur un territoire. Les images satellites HR sont également une source d'informations complémentaires mais **à des échelles régionales** (1/25 000e au 1/50 000e). Les données images ne sont donc pas uniquement utilisées comme support de communication (**rejet de l'hypothèse n°4**). Il apparaît toutefois que l'utilisation de l'orthophotographie comme fond de plan est une utilisation importante, en raison de leurs résolutions spatiale, proche de la vision réelle, et spectrale, par leurs couleurs naturelles (par les décideurs et le grand public). A l'opposé, la « *lecture* » et l'interprétation des images satellites HR restent réservées à des utilisateurs initiés (Figure 3.15).

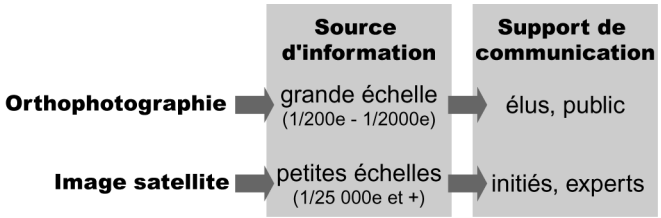


Figure 3.15 - Utilisations et destinataires des données images.

L'orthophoto et l'image satellite HR ne sont donc **pas des produits concurrents** mais **complémentaires**, en terme d'applications et d'échelles de production. Les échelles de travail du 1/2000e au 1/10 000e (niveau tactique) ne possèdent pas véritablement de « *source de données propres* ». Or, comme l'ont montré les résultats (§ 3.3.1.3.1), les **applications de niveau tactique** représentent, avec la gestion du territoire, les principales applications des utilisateurs en milieu urbain et celles dont le potentiel de développement est le plus important

Les caractéristiques actuelles (résolution spatiale, spectrale, temporelle, taille de la scène, moyen d'accès) peuvent-elles expliquer la non-utilisation de l'image satellite, comme support de communication et source d'informations par les professionnels du milieu urbain ? Des images satellites à plus grande résolution (THR, de type IKONOS, QUICKBIRD) peuvent-elles répondre à leurs attentes ? Cette question sera approfondie dans la deuxième partie de ce travail.

3.3.2.1.4 Vérification de l'hypothèse de travail n°5 : la non-utilisation de l'image satellite HR dans les SIG en raison de l'inadaptation de la résolution spatiale ?

Les résultats de l'enquête indiquent que la **résolution spatiale** est un des freins à la non-utilisation de l'image satellite. En effet, les utilisateurs qui disposent déjà de très grande résolution (décimétrique) avec des d'orthophotographies, éprouvent des difficultés à travailler avec d'autres données, de plus petites résolutions. Ils ont l'impression de « *ne plus rien voir* » (Enquête n°X). L'état de l'art a montré que seules les applications de niveau stratégique, à des échelles du 1/25 000e au 1/1000 000e , peuvent être réalisées à l'aide des images satellites. Or les besoins des utilisateurs se trouvent principalement à des échelles supérieures (Tableau 3.1).

L'**hypothèse de travail n°5** est donc **partiellement vérifiée** : la résolution spatiale n'est pas le seul frein à l'utilisation des images satellites en milieu urbain. Le **coût des images** et son corollaire**,** le **manque de financement** des organismes sont deux **contraintes** qui limitent l'utilisation des images satellites. En comparaison d'une orthophoto, le prix d'une image satellite reste très élevé (Tableau 3.16). Pour une résolution métrique, le prix d'une image est le double de celui d'une orthophoto. Par contre, à une très grande résolution (20 cm), le prix d'une orthophotographie est très supérieur.

Tableau 3.16 - Comparaison des prix d'une orthophoto et d'une image satellite (2003).

Orthophoto Scène mosaïquée de 60 km²			**Image satellite** Scène de 60 km²	
Résolution métrique			**Résolution décamétrique**	**Résolution métrique**
Ortho-rectification, géoréférencement, mosaiquage			Image SPOT Corrections radiométrique et géométrique	Image IKONOS Corrections radiométrique et géométrique
= 1 bloc			= 1 image	= 6 images de 11 km²
⇒ de 3000 à 40 000 €			⇒ de 1500 à 4000 €	⇒ de 6000 à 7000 €
à 20 cm : environ 50 000 €	à 50 cm : environ 18 000 €	à 1 m : environ 3000 €		

Dans la mise en place d'un SIG, le coût des **données** représente environ **80% de l'investissement total** (Figure 3.16). Lors de la mise en place d'un référentiel, les **données de type images** représentent environ **10%** de l'ensemble des données (Pornon, 1995). Dès lors, selon la taille de l'organisme et le budget attribué au SIG, la part attribuée à l'achat de données images est faible

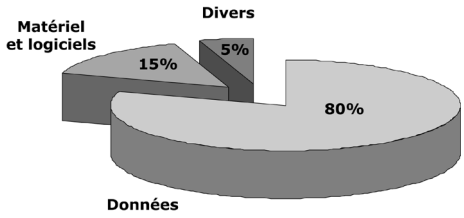


Figure 3.16 – Répartition des coûts dans un SIG (*in* Pornon, 1995).

Toutefois, si l'investissement de départ est essentiel, il faut aussi tenir compte des bénéfices à long terme (coût humain et matériel) procuré par les données images. La possibilité des images satellites futures ne devraient pas être écartées. La prise en compte des **économies d'échelles** devrait inciter les plus petits organismes à investir dans ce domaine. Malheureusement, **peu ou pas d'études existent** à ce sujet et souvent l'utilisateur sensibilisé est confronté à des raisonnements économiques basés sur le court terme.

D'autres critères sont également pris en compte lors de l'acquisition d'images satellites. Ainsi, la **résolution spectrale** peut être un frein à l'achat d'images car elle est liée au coût de la production des données images. La **taille de l'image**, souvent déterminée par la taille de la scène des capteurs, est un autre facteur limitant ; l'utilisateur a parfois besoin de zones restreintes, par exemple pour des études ponctuelles de détection de changements. Or, il est souvent contraint d'acheter une image plus grande par rapport à ses besoins (scène entière ou quart de scène). Le développement de produits à **découpage « flexible »** et donc à moindre coût (zone plus petite) permettrait de multiplier les utilisateurs et de potentiellement « concurrencer » l'orthophoto à certaines échelles (résolutions métriques avec les images IKONOS et ORBVIEW, et décimétriques avec QUICKBIRD) ?

Le manque de connaissance sur les **potentialités des images satellites** voire dans certains cas de leur **existence** est également un frein à l'utilisation de l'image. Celui-ci est lié à la satisfaction des utilisateurs vis-à-vis des autres données utilisées, qui entraîne une non-sensibilisation des utilisateurs vers ces nouveaux produits. Par ailleurs, lorsque la contrainte économique n'est pas en jeu, l'utilisateur doit prouver à sa hiérarchie l'intérêt et l'apport de ce type de données par rapport aux données existantes. La sensibilisation et la motivation des personnes est donc un facteur non-négligeable qui régit directement l'achat.

La **difficulté technique** (§ 3.3.1.6.2) est un facteur de blocage qui pousse les utilisateurs à sous-traiter l'analyse, multiplie les coûts, et souvent augmente les délais de livraison. Sans être insurmontables, les difficultés surviennent en raison de la quantité des données à manipuler et la physique des mesures. L'**accès aux catalogues** des distributeurs de données images est encore actuellement un facteur de blocage, qui devrait être résolu dans les années à venir, avec le développement des réseaux haut-débit. Enfin, l'**inadaptation des nomenclatures** et la difficulté d'automatisation des procédures d'extraction d'objets spécifiques sont également des freins à l'utilisation de l'image. Ce problème s'explique en partie par le fait que les utilisateurs ont principalement besoin d'extraire **des objets** et **leurs attributs** (surfaces, forme, …) plutôt que **des zones**.

En conclusion, le **choix d'une donnée image**, et de manière plus générale de toute donnée géographique pour une application urbaine, est le résultat d'**un compromis**, entre les objectifs de l'utilisateur, la résolution spatiale (liée à l'échelle et à la précision géométrique), la fréquence de mise à jour, la zone couverte, et le coût (Figure 3.17). Dans ce cadre, la résolution spatiale est le frein principal de la non-utilisation des images satellites HR.

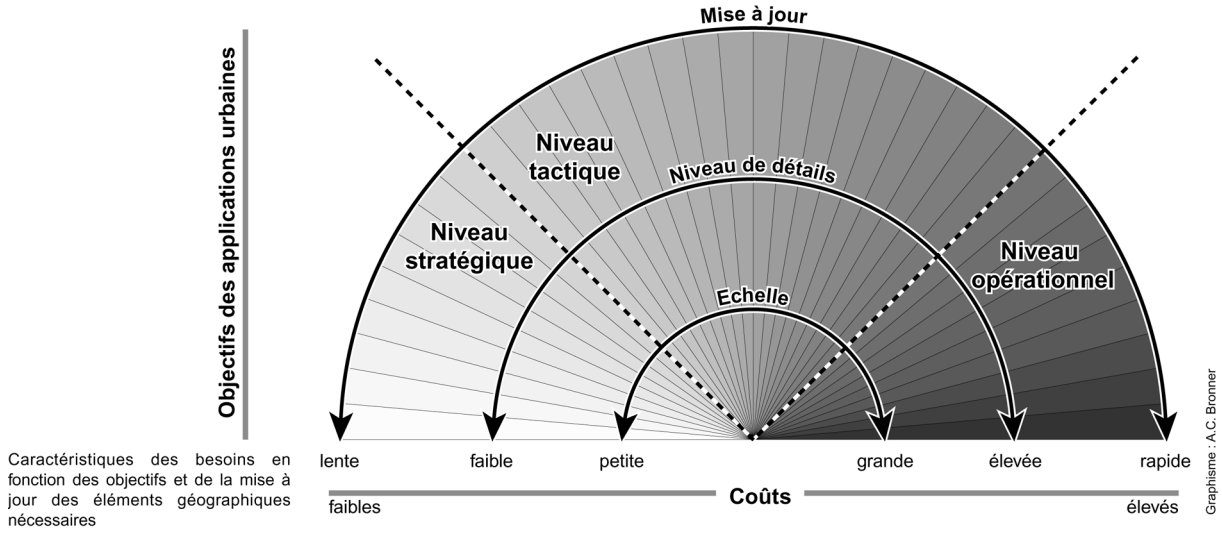


Figure 3.17 - Relations entre les objectifs, les besoins et les coûts lors de l'acquisition de données (modifié de Weber, 1997).

La Figure 3.18 schématise les différentes **contraintes** à l'utilisation de l'image satellite, en tant que **source d'information** et **support de communication**. Une analyse plus approfondie des nomenclatures obtenues à partir des images, en comparaison avec celles attendues par les utilisateurs est présentée dans le chapitre suivant 5.

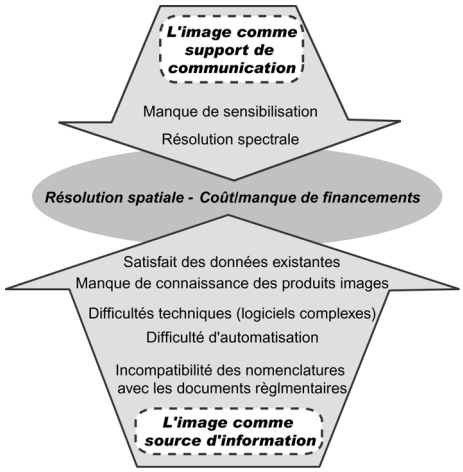


Figure 3.18 - Freins et raisons de la non-utilisation des images satellites.

Signalons également que si les nomenclatures ne sont pas adaptées aux besoins des utilisateurs, c'est aussi parce que les **produits à valeur ajoutée** ne répondent pas forcément aux besoins exprimés. Dans ce domaine, il existe une **certaine lacune** car le traitement des données s'arrête souvent en amont de ce qui est nécessaire pour les utilisateurs. Au delà de cartes d'occupation/utilisation du sol, avec des nomenclatures adaptées, les utilisateurs ont besoin d'autres produits à valeur ajoutée auxquels les images actuelles HR ne peuvent répondre. Quels sont ces produits ?

La confrontation des résultats de notre enquête avec plusieurs enquêtes réalisées aux Etats-Unis, nous apporte des **éléments de réflexion** pour **identifier des niches d'applications** potentielles. Cette comparaison est une étape indispensable pour formaliser la demande et définir des produits à valeur ajoutée utiles aux applications urbaines.

3.3.2.2 Comparaison avec les Etats-Unis

Notre enquête a permis de dresser un état des lieux sur la place de l'IG de type image dans les pratiques des utilisateurs en tant que données faisant partie d'une infrastructure commune de données de base (RGE en France). L'objectif est de comparer et d'évaluer, par rapport à la France, **le rôle et la place de l'image** dans les pratiques des utilisateurs américains, dans le cadre de la National Spatial Data Infrastructure (NDSI). Il s'agit de **vérifier si les besoins des utilisateurs** en termes de caractéristiques des données images (échelle, résolution spatiale, précision géométrique, répétitivité) sont **identiques aux Etats-Unis** L'intérêt de mettre en évidence les similitudes et les différences entre les deux continents réside dans l'identification de **niches potentielles d'applications** des données images, plus précisément des images satellites THR (résolution spatiale inférieure à 5 m). Les principaux résultats de cette comparaison ont fait l'objet d'une publication scientifique dans l'**Espace Géographique** (Puissant et Weber, 2003a).

La méthodologie des enquêtes réalisées aux Etats-Unis est rappelée dans un premier temps (§ 3.3.2.2.1), puis la comparaison des résultats relatifs aux organismes interrogés, à leur équipement en SIG, à leurs besoins en IG et à l'utilisation des données images, est présentée (§ 3.3.2.2.2). Les similitudes et différences observées entre les deux continents sont discutées. Enfin, les perspectives d'avenir (niches d'applications potentielles), dans ce domaine, sont énoncées.

3.3.2.2.1 Objectifs et méthodologie des enquêtes réalisées aux Etats-Unis

Plusieurs études récentes ont été réalisées sur l'utilisation des données géographiques de base. A l'**échelle nationale**, une grande enquête a été réalisée entre 1997 et 1998 par le FGDC (Federal Geographic Data Committee) auprès de 5000 organismes[74]. Cette enquête fournit un état des lieux de la production et de l'utilisation des données géographiques de base[75] par les organismes intervenant au niveau local (organismes communaux), régional (agences régionales d'aménagement, d'environnement) et fédéral (organismes publics, administrations, ministères). Cet état des lieux est la première étape de construction d'un référentiel de données communes à beaucoup d'utilisateurs dans leurs applications. Cette **enquête « globale »** par questionnaire, construite en 3 parties, rejoint les thématiques abordées dans notre enquête. En particulier, les questions relatives à **l'utilisation d'IG numérique** et aux **caractéristiques des orthophotos** sont analysées et comparées à la situation française. Plusieurs enquêtes sur les besoins des utilisateurs en termes de données image de type « orthophotos » ont également été réalisées à l'**échelon administratif des états** (Ohio, 1997 et New York, 1998). Ces deux **enquêtes « locales »** ont été réalisées dans le cadre de projets de couverture orthophotographique du territoire (*Ohio Digital Orthophotography Project* ; *New York State Geographic Information Systems Coordination Program*). Elles ont pour objectifs de définir les utilisations actuelles et potentielles des orthophotos et les besoins des utilisateurs en termes d'objets urbains et de caractéristiques des orthophotos. Si les résultats de ces deux enquêtes sont directement comparables à l'enquête française, en termes de questions, il est nécessaire de regrouper les organismes en quatre catégories comparables par rapport à l'étendue du territoire d'étude (Tableau 3.17).

[74] Les résultats finaux sont disponibles depuis 1999, sur le site Internet du FGDC (http://www.fgdc.org).

[75] Aux Etats-Unis, les données de base, définies dans le *National Digital Geospatial Data Framework,* sont constituées du réseau géodésique, des orthophotos, des données d'élévation, des limites administratives, du cadastre et des données relatives à l'hydrographie et au transport.

Tableau 3.17 – Catégories d'organismes ayant répondus en France et aux Etats-Unis.

Catégories	Organismes en France	% réponses	Organismes en Etats-Unis	% réponses
Collectivités locales (CL)	Communautés urbaines Villes de plus de 50 000 habts, Agences d'Urbanisme	60%	Communes (non classées par taille)	25%
Collectivités territoriales (CT)	Conseils Régionaux Conseils Généraux	19%	County, District, Conseils régionaux	50%
Services de l'Etat (SE)	Administration publique (DDE, DIREN, CERTU…)	16%	Organismes publics, Administrations, Ministères	15%
Sociétés privées (SP)	Sociétés privées (gestionnaire de réseaux, bureaux d'études)	5%	Sociétés privées (gestionnaire de réseaux, bureaux d'études)	10%

Les **collectivités locales (CL)** regroupent les organismes qui interviennent sur le territoire d'une commune, d'une agglomération ou d'une intercommunalité. Les collectivités territoriales interviennent sur un territoire plus étendu(région, département). La sur-représentation des CL dans l'enquête française est prise en considération dans l'interprétation des résultats.

3.3.2.2.2 Comparaison et interprétation des résultats entre la France et les Etats-Unis

Globalement, 80% des organismes disposent déjà d'un SIG aux Etats-Unis, contre environ 60% en France (IETI, 2001). Les données relatives aux logiciels SIG sont présentés dans un premier temps (point A), puis les utilisateurs et leurs besoins en termes d'échelle (point B), et l'utilisation des données images dans les pratiques d'aménagement (point C), sont comparées.

A. Logiciels SIG utilisés

Par rapport à la France où les produits utilisés sont par ordre décroissant MapInfo (40%), ArcView (30%), Géocity (10%), Géoconcept, STAR et APIC (moins de 10%) (§ 3.3.1.2.2). Aux Etats-Unis, les produits ESRI (ArcView et ArcInfo) sont deux fois plus utilisés, en particulier par les services de l'Etat (Figure 3.19). Comme en France, d'autres logiciels complémentaires de dessin sont utilisés, Autocad étant le plus répandu.

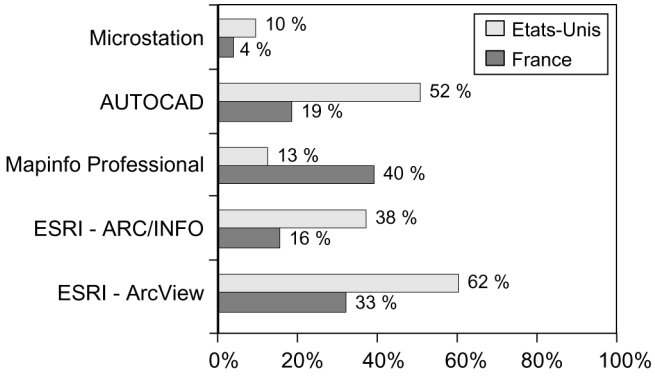


Figure 3.19 - Logiciels utilisés en France et aux Etats-Unis.

B. Utilisateurs et leurs besoins en termes d'échelles

Des catégories identiques d'utilisateurs sont identifiées en France et aux Etats-Unis , qui travaillent à des échelles comparables (Tableau 3.18). Les données les plus détaillées atteignent le 1/600^{e}, aux Etats-Unis ; elles atteignent le 1/200^{e} en France. Cette différence s'explique par une taille du parcellaire plus grande aux Etats-Unis.

Tableau 3.18 – Les catégories d'utilisateurs et leurs besoins.

Catégories d'utilisateurs	Applications types	Echelles utiles en France	Echelles utiles aux Etats-Unis
Gestionnaires du territoire (G1) **Niveau opérationnel**	Aménagement technique, cartographie de base (gestion de réseaux, …)	1/200e au 1/500e 1/1000e au 1/2000e	1/600e au 1/1200e 1/2400e à 1/4800e
Analystes du Territoire (G2) **Niveau tactique**	Planification urbaine, urbanisme pré-opérationnel, étude d'impact, observatoire	1/5000e au 1/10 000e	1/4800e à 1/12 000e
Demandeurs de synthèse (G3) **Niveau stratégique**	Décisions, stratégie de développement, prospective ...	1/10 000e au 1/1000 000e	≥ 1/12 000e
Administrateur de données (G4) **Niveau transversal**	Archivage, stockage, mise en forme, mise à jour, numérisation, … de données	1/200e au 1/1000 000e	1/600e au 1/1000 000e

C. Les données images dans les pratiques d'aménagement

De la même manière que pour l'enquête française, les résultats des enquêtes américaines doivent être nuancés, selon qu'ils concernent l'usage de l'orthophoto ou de l'image satellite.

En France, seule la moitié des organismes disposent d'une **couverture orthophotographique**, et les utilisateurs sont essentiellement des CL. Par contre, aux Etats-Unis, trois-quarts des organismes en possèdent une et les CT sont les principaux utilisateurs (Tableau 3.19). En France, aucune SP ne dispose de ce type de couverture, alors que 10% des organismes américains en disposent.

Tableau 3.19 - Les utilisateurs des orthophotos.

	Collectivités Locales (CL)	Collectivités Territoriales (CT)	Services de l'Etat (SE)	Sociétés Privées (SP)
Etats-Unis	23%	51%	16%	10%
France	66%	20%	14%	/

Parmi les organismes français, la majorité dispose d'une couverture orthophotographique de résolution décimétrique (Figure 3.20). Aux Etats-Unis, deux tendances ont été observées : environ deux-tiers des CL et tous les SE possèdent une couverture de résolution de 20 à 50 cm alors que les CT possèdent une couverture de plus de 50 cm. Cette différence s'explique par l'étendue du territoire d'étude, plus vaste pour les CT. Plus de 70% des organismes estiment qu'une actualisation du territoire tous les 3 ans suffit. Aux Etats-Unis, une plus grande diversité de résolution spatiale est observée selon les types d'organismes. Toutefois, les CL et les CT disposent en majorité de résolutions décimétriques. Les SE et les CL disposent dans des proportions identiques d'orthophotos de résolution métrique.

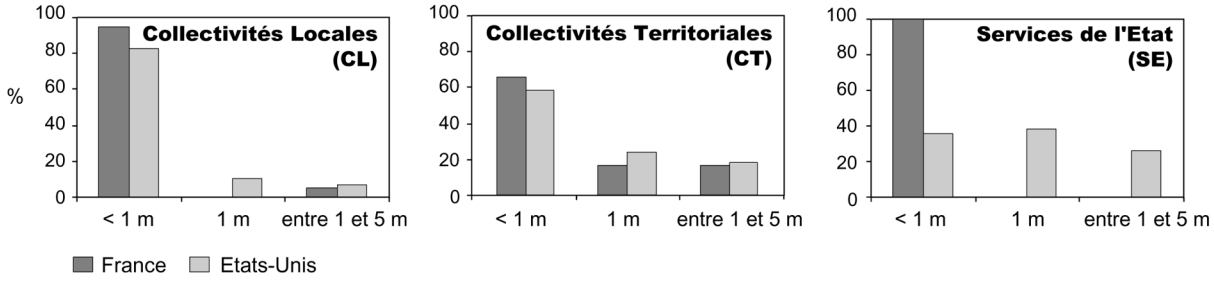


Figure 3.20 - Résolution de l'orthophoto en fonction du type d'organismes.

Les résultats de l'enquête française et américaine indiquent une **utilisation croissante** de ce type de données dans les SIG. En France, l'orthophoto est utilisée : premièrement comme **source d'information** pour la création d'un référentiel (organismes de petites tailles) et la mise à jour de données de base **à grande échelle** (mise à jour et recalage des plans cadastraux, par exemple), puis comme **support de communication** permettant de présenter au public une vision objective et réaliste du territoire.

Aux **Etats-Unis**, ces deux types d'utilisation (support de communication et source d'information) sont également très répandues. Par contre, l'orthophoto est également très utilisée pour la cartographie (production et mise à jour) du parcellaire. En France, ce type d'application n'est pas courant et procède traditionnellement par des relevés effectués par des géomètres-experts.
Un type d'applications « opérationnel » est plus développé aux Etats-Unis : l'orthophotographie sert de **document de travail** pour les services de police, d'incendie, et d'urgence, lors d'une catastrophe naturelle (séisme, cyclone, …) ou technologique (incendie, explosion).
En France, ce type d'utilisation est peu développé. L'exemple de l'utilisation de l'orthophoto par la ville du Havre, comme document d'aide à la localisation des logements, dans le cadre du recensement 1999, montre l'émergence de ces applications « opérationnelles ».

En France, environ 30% des organismes possèdent **une image satellite (**images de type SPOT XS à 20 m et P à 10 m de résolution et, pour les utilisateurs précurseurs, images LANDSAT TM à 30 m). La plupart des organismes sous-traitent l'interprétation des images satellites auprès de sociétés spécialisées. Aux **Etats-Unis**, 20% des organismes disposent d'un logiciel de traitement d'images. Cette tendance identique à la situation française est toutefois sous-estimée car elle ne tient pas compte des organismes sous-traitant les données.
A la différence de la France, les organismes américains qui ont acquis une image satellite, s'équipent d'un logiciel de traitement d'images (type Erdas Imaging, Idrisi). Il s'agit principalement des CT et des SE, jamais des CL. En France, l'achat de logiciel de traitement d'images est très rare et ne concerne que quelques organismes, le plus souvent des agences d'urbanismes (IAURIF, Agence d'Urbanisme de Lille).

L'image satellite est essentiellement utilisée par les organismes français comme **source d'information** (plus de 90%) pour la production d'informations thématiques de type « occupation des sols » , à une **échelle régionale** (1/25 000e), principalement par les CT et par quelques CL (Agences d'Urbanisme). Pour rappel, l'application la plus courante consiste à identifier les changements et les deux thèmes les plus étudiés sont les « espaces verts » et les « surfaces artificialisées ». L'image satellite est ensuite utilisée (par une minorité d'organismes) comme **support de communication et fond de plan**. Par contre, elle n'est jamais utilisée comme référentiel.
Aux Etats-Unis, les images satellites représentent une solution intéressante pour les CT à une échelle régionale, à cause de l'étendue des territoires. Elles sont d'abord utilisées, comme en France, à des fins de **cartographie de l'utilisation du sol** (1/20 000e), puis, pour la réalisation d'inventaire spécifique (**source d'information**) et enfin, à la différence de la France, comme **image de référence**.

En France, l'analyse combinée des **problèmes rencontrés** et des **freins** à l'utilisation des images satellites HR permet de hiérarchiser les critères pris en compte par les utilisateurs lors de l'acquisition de données images. Des critères de choix similaires ont été mis en évidence aux Etats-Unis.

Le **coût et l'échelle** (étroitement liée à la résolution spatiale et à la précision géométrique) sont les deux critères principaux qui influencent les organismes lors du choix d'un produit image.
La Figure 3.21 indique la v**ariation du coût** de production d'une orthophoto en fonction de la **résolution spatiale**, en France et aux Etats-Unis. D'une manière générale, plus l'échelle est grande et plus le coût est élevé. Le coût en France apparaît presque deux fois plus élevé qu'aux Etats-Unis, quelle que soit la résolution. Ceci explique en partie l'utilisation des orthophotos, plus fréquente aux Etats-Unis, par des organismes dont le territoire d'étude est également plus vaste.

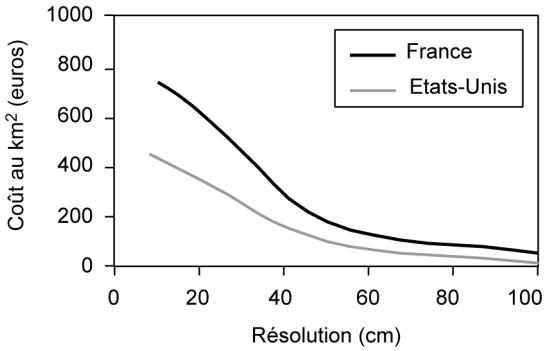


Figure 3.21 - Variation du coût moyen de production d'une orthophoto (couleur) au km² (Sources : enquêtes française et américaine, 2000 et 1998).

Le secteur de l'IG est depuis longtemps un secteur prioritaire aux Etats-Unis (§ 2.1.2.3.2). En effet, le pays s'est doté d'un acteur public dynamique, l'USGS, fournisseur officiel de données géographiques. Sa politique agressive de sensibilisation, de distribution, et d'accessibilité aux données images (multiplication de l'offre grâce à de nombreuses collaborations avec des sociétés privées) permet la réduction des prix par un amortissement plus rapide des coûts de production. La **concurrence** explique aussi en partie cette politique car l'offre s'est rapidement multipliée. Certaines sociétés effectuent actuellement des « **vols spéculatifs** » et réalisent des couvertures orthophotographiques des grandes villes américaines, tous les deux ans. Elles produisent « à perte » en réponse à des besoins estimés au préalable (sans demande directe d'utilisateurs) et peuvent dès lors assurer une disponibilité du produit dans des délais très courts (24 h) (Puissant, 2000).

Les trois autres critères pris en considération lors de l'acquisition d'images sont, aux Etats-Unis comme en France : **la résolution spectrale, la répétitivité des données et la couverture du territoire.** Les organismes français disposent d'orthophotos en couleurs naturelles alors que les américains se contentent souvent d'une **orthophoto en N/B**. En France, la préférence de la **couleur naturelle** est révélatrice de l'utilisation de l'orthophoto comme **fond de plan et support de communication.** Ce choix met aussi en évidence la « sous-utilisation » actuelle de ce produit. Aux Etats-Unis, le coût et le volume des données expliquent la préférence d'orthophoto N/B, en particulier pour des études urbaines.

La confrontation des utilisations de l'image (photographie aérienne ou images satellites) permet de définir et de cerner des demandes précises et des niches d'applications potentielles des images satellites THR. C'est ce que nous allons développer pour conclure ce chapitre au paragraphe suivant.

3.4 CONCLUSION – FORMALISATION DES BESOINS ET IDENTIFICATION DES NICHES POTENTIELLES D'APPLICATION

L'**analyse des besoins** est à l'heure actuelle **reconnue comme indispensable**, que cela soit pour la mise en place d'un SIG au sein d'une collectivité territoriale, ou pour le développement de nouveaux produits (produits « bruts », « à valeurs ajoutées » ou, « applicatifs » métiers). La multiplication de projets (opérationnel ou recherche) qui intègrent cette étape préliminaire en est la preuve. A titre d'exemple, un projet sur **l'apport des images THR pour répondre aux besoins en IG des autorités locales et régionales**[76] s'intéresse d'une part, aux objets et aux surfaces demandés par les utilisateurs et d'autre part, aux produits à valeur ajoutée, afin de déterminer dans quelle mesure les images THR constituent une source d'information pertinente, utile dans le cadre d'applications urbaines. La démarche développée dans notre travail est ainsi applicable dans ce type de projet. Par ailleurs, des contacts ont été établis afin de solliciter notre expérience dans ce domaine.

Dans ce contexte, l'analyse des besoins des utilisateurs en milieu urbain, à l'aide de notre enquête auprès des acteurs de l'Aménagement du territoire et de l'Urbanisme, a permis de compléter les éléments disponibles dans la littérature. Malgré le faible pourcentage des réponses obtenues, **des tendances** ont été dégagées, notamment sur l'utilisation des SIG. L'enquête ne permet cependant pas d'expliquer des phénomènes, mais de **comprendre les pratiques des utilisateurs** au regard de leurs **applications** et de l'**utilisation des données images** aériennes et satellites. Signalons que même si les pourcentages annoncés indiquent des tendances, il faut être attentif et ne pas les considérer « à la lettre ». Dans ce cadre, la comparaison avec les Etats-Unis a permis de relativiser nos résultats, de valider les catégories d'utilisateurs, d'applications urbaines, et d'identifier des niches d'applications potentielles des images THR.

Les faits les plus marquants, à retenir sont :

(1) La majorité des **applications** des utilisateurs en milieu urbain concerne le niveau opérationnel (gestion du territoire) et le niveau tactique (planification urbaine, urbanisme réglementaire, études ponctuelles thématiques). Pour la **gestion opérationnelle du territoire**, les utilisateurs ont besoin de grandes échelles (1/200^{e} au 1/2000^{e}), de précisions centimétriques et de mise à jour si possible en continu (dans la pratique entre 6 mois et 1 an). Pour les besoins de la **planification urbaine**, les échelles peuvent être plus petites (1/2000^{e} au 1/10 000^{e}), une moindre précision (métrique), et une mise à jour entre 1 et 5 ans.

(2) Les **objets urbains** les plus utilisés, **au niveau opérationnel**, appartiennent aux catégories thématiques « bâtiments », « espaces végétalisés », « transport » et « mobilier urbain ». Au **niveau tactique**, les utilisateurs ont essentiellement besoin de **surfaces fonctionnelles** telles que des tissus urbains de différents types (industriel, habitat collectif, individuel), zones sportives, zones de loisirs, jardins familiaux (catégorie « équipement »), …, mais aussi des **surfaces « biophysiques »** de type zones boisées, surface en eau (« espaces végétalisés » et « hydrographie »).

(3) La tendance est à une **utilisation multi-logiciels** (logiciels de CAO/DAO, statistiques), **mutlitâches et multi-utilisateurs** des **SIG**, et. Les **fonctions d'analyse** sont de plus en plus utilisées, en complément des fonctions traditionnelles de cartographie thématique. La représentation 3D est

[76] Improving spatial information extraction for local and regional authorities using very high resolution data (Projet STÉRÉO, coordonné par F. Canters, Belgique, 2001).

également en plein développement pour les applications de niveau tactique (analyse de la propagation du bruit, des ondes telecoms). Les **outils de consultation** se développent également. L'intégration des données images, et surtout des orthophotographies comme données de base, est de plus en plus répandue dans le cadre de la mise en place de « SIG communautaire ». Toutefois de nombreuses contraintes subsistent. De plus, l'intégration de données images est dépendante des ressources financières des organismes, mais aussi de la sensibilisation du chargé de gestion du SIG.

(4) L'**orthophotographie** est un produit de plus en plus utilisé, comme **source d'informations**, à grande échelle dans le domaine de la gestion opérationnelle du territoire et à défaut d'autres produits, des orthophotos dégradées à plus petites résolutions, sont utilisées dans le domaine de la planification urbaine (niveau tactique). L'**image satellite** est surtout utilisée pour sa fonction de **source d'information** mais à des échelles régionales (1/25 000e), pour des cartographies de l'occupation du sol et des analyses de changements).

(5) Avec l'arrivée des nouveaux satellites dits à Très Haute Résolution (cf. chapitre 4), les caractéristiques des images satellites se rapprochent des caractéristiques des orthophotographies (vraies couleurs et grandes échelles). Toutefois celles-ci ne devraient pas atteindre (dans un futur proche) des résolutions en deçà de vingt centimètres (cf. chapitre 2). Dès lors, **l'image satellite** ne pourra jouer un rôle dans les **pratiques des utilisateurs** qui si elle arrive à servir à la fois de **support de communication et de source d'informations** pour des échelles du **1/5000e au 1/10 000e** (échelles les plus utilisées).

Plus précisément, pour entrer dans les pratiques et être utilisée comme **support de communication**, l'image satellite devra :

- disposer de **couleurs naturelles**, directement interprétables par les utilisateurs non-spécialistes,
- répondre aux **critères de qualité** suivants : corrections radiométrique, géométrique, géoréférencement, précision géométrique métrique à décimétrique, réduction des zones cachées par les ombres portées,
- être accessible selon un **découpage** du territoire **pertinent** (intercommunalité, départements, ...) avec des **fichiers de volumes « réduits »** (techniques de compression d'image afin de régler ce problème).

De plus, pour être utilisée comme **source d'information**, l'image satellite devra:

- être disponible sous la forme de **produits à valeur ajoutée** (base de données vecteur ou raster), avec une actualisation au moins annuelle, selon un découpage très flexible,
- disposer de **nomenclatures** d'objets urbains adaptées aux applications de niveau tactique et plus particulièrement aux documents réglementaires ;
- disposer d'outil d'**aide à l'interprétation** et à l'**extraction** d'objets urbains (automatisation des procédures) qui permettent de faciliter des applications de mise à jour au niveau opérationnel, et les applications de niveau tactique (observatoire, étude d'impacts, études ponctuelles).

Pour permettre ces utilisations, il s'agit aussi de favoriser l'accès aux images satellites à l'ensemble des acteurs de l'Aménagement et de l'Urbanisme (du plus petit ou plus important) par le développement de « politiques » et de « consortium » favorisant la mutualisation des moyens techniques et financiers (comme le CRIGE PACA). En effet, c'est seulement à cette condition que les images satellites seront utilisées dans des « SIG communautaire » par tous les acteurs de l'Aménagement du territoire et de l'Urbanisme.

Identification des niches potentielles d'applications des images THR

L'analyse des attentes des utilisateurs et de l'utilisation des orthophotographies dans des applications urbaines en France et aux Etats-Unis a permis d'identifier quelques applications potentielles des images THR, à condition qu'elles répondent aux besoins exprimés ci-dessus.

Au **niveau opérationnel**, les applications potentielles concernent :

- la **mise à jour de bases de données** existantes de précision métrique de type BDTOPO®, particulièrement pour les objets de type « bâtiments », « espaces végétalisés », et « transport ». En effet, à l'heure actuelle, leur mise à jour est réalisée soit par des relevés photogrammétriques (très coûteux), des relevés terrain, ou soit par une interprétation visuelle d'orthophotographies. Dans ce cadre, une identification des changements semi-automatique, voire automatique, permettrait une mise à jour plus régulière, à moindre coût ;
- la **construction de base de données métrique** des objets élémentaires du milieu urbain, pour des communes qui ne dispose pas de données. Ce type d'applications serait particulièrement utile pour la construction, par exemple, d'un **« cadastre vert »**, qui identifierait les différentes strates de végétation (arbustive, herbacée), leur morphologie (arbre isolé, alignement, bosquet), et leur « fonction » (publics ou privés) selon leurs environnements directs (Weber *et al.*, 2002) ;
- l'utilisation des images satellites comme **« document de travail »** pour le **gestion des risques** (naturels et technologiques) en milieu urbain, et plus précisément pour la gestion de « l'après-crise ». En effet, actuellement, l'évaluation et la cartographie des dégâts est réalisée à partir de photographies aériennes (Hofstee et Tariel, 2000). Ce type d'application permettrait également d'estimer les secours à mettre en œuvre (localisation des sites d'implantation des hébergements temporaires, nombres de tentes).

Au **niveau tactique**, dans le cadre de la loi « Solidarité et Renouvellement Urbain[77] » (Loi SRU, 2000), les applications potentielles concernent :

- la **production de base de données** qui permettent d'intégrer et de tenir compte de la qualité de vie des habitants. La **réalisation « d'observatoire** » des tissus urbains, du stationnement, des espaces végétalisés,… permettrait de disposer d'états des lieux indispensables en amont de toute opération d'aménagement. Leur réalisation passe par l'analyse de la **morphologie urbaine** (§ 1.2.2.4), c'est-à-dire l'analyse de la répartition et de l'organisation des objets élémentaires qui caractérisent la ville (bâti, espaces végétalisés, réseau viaire, réseau hydrographique, espaces libres) ;
- l'analyse de la **connectivité** et de l'**accessibilité** aux espaces verts. Il s'agit, d'une part, à partir de la localisation des espaces verts à l'échelle de l'agglomération, d'identifier les zones qui peuvent être « connectées » afin créer une « ceinture verte » et de proposer la création de nouveaux espaces publics ; et d'autre part, d'évaluer l'accessibilité de la population aux espaces verts.

Avant de vérifier si les produits images actuels couvrent les besoins identifiés dans ce chapitre, nous allons réaliser un état de l'art de l'offre en données images dans le chapitre suivant.

[77] Dans le cadre de la loi SRU, les schémas de cohérence territoriale (SCOT) et les Plans Locaux d'Urbanisme (PLU), constituent « *des outils de planification permettant de mieux répondre aux problématiques des territoires urbains … dans un souci de développement durable* » (CERTU, 2001). Les PLU doivent permettre « *d'assurer l'équilibre entre le développement des communes, la diversité des fonctions urbaines, mais aussi une utilisation économe de l'espace, la préservation de la qualité de l'air, de l'eau, du sol* » (CERTU, 2001).

.

Chapitre 4 :

DE LA HAUTE A LA TRES HAUTE RESOLUTION : LA DEFINITION DE L'OFFRE EN DONNEES IMAGES

SOMMAIRE

INTRODUCTION 163

4.1 ETAT DE L'ART DE L'OFFRE EN DONNEES IMAGES : UNE MULTIPLICATION DE PRODUITS ? 163

4.1.1 Données images : une source d'information complémentaire en milieu urbain 165
4.1.2 Caractéristiques des capteurs HR et THR disponibles et futures 172
4.1.3 Nomenclatures utilisées pour définir les objets urbains 177
4.1.4 Produits à valeur ajoutée dérivés de l'image 180
4.1.5 Conclusion : une multiplication de l'offre sans homogénéisation sémantique 187

4.2 ETAT DE L'ART DES APPLICATIONS REALISEES A PARTIR D'IMAGES SATELLITES 190

4.2.1 Domaines d'applications « liés » au milieu urbain 190
4.2.2 Applications en milieu urbain 191

4.3 CONCLUSION : IDENTIFICATION DE PRODUITS A VALEURS AJOUTEES OPERATIONNELS OFFERTS AUX UTILISATEURS 193

INTRODUCTION

Ce chapitre a pour objet la réalisation d'un état de l'art de l'offre en produits issus de données images de type aérienne ou images satellites et en applications « liées » au milieu urbain. En effet, avec le développement de la télédétection, des recherches et des applications, liées à la connaissance des lieux difficiles d'accès, à la gestion et à la préservation de sites sensibles, à la mise en place de politiques agricoles, ou à la création de bases de données environnementales, se sont développées. L'exploitation de l'image satellitaire en milieu urbain a commencé plus tard parce que les performances techniques des capteurs ne permettaient pas, dans un premier temps, d'obtenir plus que la tâche urbaine, parce que le milieu hétérogène présentait (et présente toujours) des difficultés particulières, et parce qu'enfin les utilisateurs n'étaient pas convaincus de son utilité.

La première partie de ce chapitre consiste en un état de l'art des produits de type image ou issus de l'image (§ 4.1), alors que la deuxième partie présente les applications/applicatifs réalisés à partir de ces produits images (§ 4.2).

4.1 ETAT DE L'ART DE L'OFFRE EN IMAGES : UNE MULTIPLICATION DE PRODUITS ?

Comme nous l'avons vu au chapitre précédent, l'information est la clef de voûte d'un aménagement et d'un urbanisme efficace, car faute d'informations détaillées sur le territoire et ses ressources, il est impossible de planifier efficacement. Plusieurs sources de données existent pour obtenir ces informations (recensements, enquêtes, photographies aériennes…) ; néanmoins, les manières de se les approprier présentent des inconvénients qu'il est utile de résumer :

- la lenteur d'acquisition par la multiplicité des moyens nécessaires à leur mise en œuvre et à l'obtention de résultats complets (certains recensements ou relevés durent plusieurs années),
- la difficulté, voire la quasi-impossibilité d'obtenir rapidement une image objective d'une situation donnée à un moment précis pour une grande surface,
- la difficulté de suivre un phénomène en évolution ; les coûts des moyens utilisés constituent un facteur limitant la mise à jour régulière et fréquente qui est pourtant la seule façon de mettre en évidence des variations plus ou moins fortes,
- l'impossibilité dans la plupart des cas de superposer des données collectées à des moments et des fréquences différents, sur différentes surfaces.

L'image satellite (comme la photographie aérienne) est un vecteur d'information « brut », c'est-à-dire fourni à l'état presque initial (hormis les traitements radiométriques et géométriques). Elle est disponible auprès des utilisateurs sous la forme de **produits**. Par nature, les produits se répartissent en deux types : les produits de base aussi appelés « produits-systèmes » et les produits à valeur ajoutée. Les producteurs de **produits de base** rendent disponibles un ou des produits qui décrivent leur offre en matière d'images « brutes », c'est-à-dire qui ne subissent pas de traitements autres que des pré-traitements tels que des corrections géométriques et des améliorations radiométriques (niveau 1A, 1B, 2A, 2B) ; ainsi que leur condition d'utilisation. Par contre, les producteurs de **produits à valeur ajoutée** (ou produits finis) distribuent des produits qui subissent une chaîne de traitements avancés. Ces produits sont appelés « **produits sur étagère** » quand ils

sont disponibles dans des délais courts, c'est-à-dire qu'ils ont été produits, classés et prêts à être vendus.

Si l'on considère de manière générale le marché de l'IG, les producteurs de **produits de base** sont des organismes gouvernementaux, des municipalités ou des entreprises de **service public.** En règle générale, leur mission n'est pas de produire à des fins commerciales mais plutôt d'appuyer leurs opérations. C'est le cas par exemple de l'IGN et de la DGI pour la production des données topographiques, cadastrales,… A l'inverse, les producteurs de **produits à valeur ajoutée** proviennent habituellement du **secteur privé** et dans certains cas d'organismes de recherche. Leur activité est poursuivie à des fins commerciales (exemples des sociétés Michelin, TéléAtlas, …).

Ces produits sont échangés entre les utilisateurs. La Figure 4.1 représente de manière synthétique les « flux » entre les divers intervenants.
Le **flux d'échange 1** représente un circuit fermé entre *producteurs de produits de base* et *producteurs de produits à valeur ajoutée*. Ce flux, courant entre différents intervenants, prend le plus souvent la forme de « troc ».
Le **flux d'échange 2**, qui relie directement les *producteurs* et les *utilisateurs,* sans passer par des distributeurs, est probablement le flux le plus fréquent. Les utilisateurs sont la plupart du temps des *experts* en IG. Ce type d'échange est très rare pour les données images.
Le **flux d'échange 3** implique la participation d'un ou de plusieurs *distributeurs* (diffuseurs) de données entre les *producteurs de produits de base* et les *utilisateurs*. Ce flux est le plus important pour les distributeurs d'images satellites.
Le **flux d'échange 4**, analogue au flux d'échange 3, implique des *distributeurs* agissant comme intermédiaires entre des *producteurs de produits à valeur ajoutée* et des *utilisateurs*. Ce flux commence à se développer à l'heure actuelle dans le domaine des images satellites.
Le **flux d'échange 5** est analogue au flux d'échange 2. Dans cette situation, les *producteurs de produits à valeur ajoutée* distribuent eux-mêmes les données qu'ils produisent auprès des *utilisateurs*. Ce flux existe bel et bien en pratique, mais n'a probablement pas l'ampleur qu'il pourrait avoir ; le nombre d'utilisateurs étant actuellement limité. Il est également émergent pour les distributeurs d'images satellites.

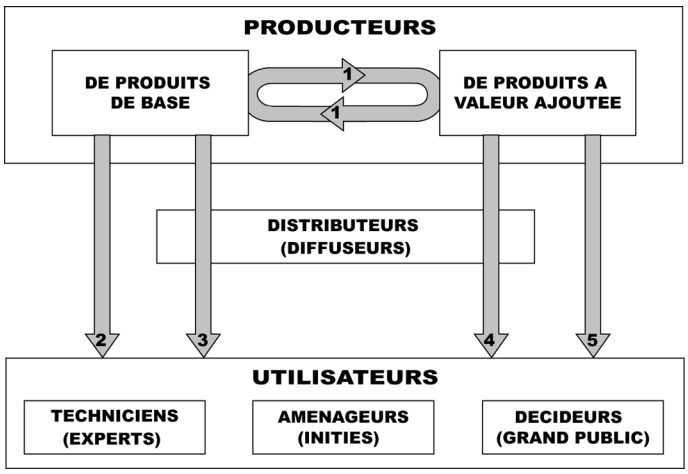


Figure 4.1 - Représentation synthétique des flux entre les divers intervenants (modifié du Centre de développement de la géomatique, 1997).

La production des **données images de type photographies aériennes (PA)** est souvent assurée par un organisme d'origine publique (par exemple, l'IGN en France), quel que soit le pays. De nombreux organismes privés assurent également la production de ces produits. Dans la plupart des pays, le producteur public de données de base fournit également des produits à valeur ajoutée, notamment pour les produits dérivés des photographies aériennes. Ainsi, en France, l'IGN produit plusieurs base de données d'occupation du sol à partir de ses photographies aériennes. Très peu d'organismes privés produisent simultanément des produits de base et des produits à valeur ajoutée dérivés de PA. Dans ce cas, l'utilisateur s'adresse directement au producteur de PA ou de base de données dérivées de PA (flux de type 2 et 5).

La production des **données images d'origine satellitaire** est souvent assurée par des organismes d'origine gouvernementale. Le CNES est ainsi le producteur des images SPOT, mais cette tendance évolue. De plus en plus de producteurs privés d'images satellites apparaissent, avec néanmoins toujours une participation de l'Etat (cf. § 4.1.1.3.3). Par contre, il est rare que l'utilisateur s'adresse directement au producteur. En effet, l'achat d'images brutes et de produits à valeur ajoutée, est le plus souvent réalisé par l'intermédiaire de **distributeurs officiels** (agréés par l'organisme producteur). Ils agissent à titre d'intermédiaire en quelque sorte comme « courtiers » entre l'offre et la demande (flux de type 3 et 4). Ces organismes (privés ou partiellement privés) sont également des **prestataires de services** car ils effectuent des travaux à la demande des utilisateurs (cf. 4.1.4.3).

A titre d'exemple, **Spot Image** est l'opérateur commercial du système SPOT. Il offre des **produits de base et des produits à valeur ajoutée** issus de différents capteurs (optiques et radar avec des résolutions allant de 1 km à 1 m)**, et des services**. La certification ISO 9001, qui couvre les activités de conception, de production et de vente de produits, systèmes et services d'information géographique issue de satellites, garantit une qualité optimale des prestations fournies. Les principaux actionnaires sont le CNES (41%), le groupe EADS (40%) (dont la filiale Astrium (36%) est le maître d'œuvre industriel des satellites SPOT), LE groupe Alcatel (7%), et l'Institut Géographique National (3%). Les Etats de Belgique et de Suède détiennent avec une société de droit privé italienne, 8% du capital (www.spotimage.fr). Même constitué d'organismes publics, les objectifs de Spot Image sont la rentabilité commerciale.

Avant de réaliser un état de l'art de l'offre en produits images bruts et en produits images à valeur ajoutée, nous allons rappeler l'intérêt de la télédétection et des images satellites pour des applications en milieu urbain.

4.1.1 Données images : une source d'informations complémentaires en milieu urbain

La télédétection fournit une information spatiale compréhensible relativement aisément par rapport à une carte ou à un résultat de traitement de données. Par rapport aux méthodes traditionnelles d'acquisition des données, la télédétection spatiale (par satellite) présente un certain nombre de caractéristiques intéressantes (Bied-Charrenton *et al.*, 1989) :

- le caractère homogène des observations pour une grande superficie (une seule image couvre plusieurs milliers de km²),
- la facilité d'accès à la plupart des régions inabordables du monde,
- la répétitivité, c'est-à-dire la possibilité d'obtenir périodiquement, à un rythme accéléré (plusieurs jours ou plusieurs semaines), le même type de données sur la même zone de manière à pouvoir suivre l'évolution,

- le caractère global et synthétique des informations collectées,
- les possibilités offertes par les techniques de traitement des données permettant de traiter rapidement un grand volume de données concernant de vaste régions.

Néanmoins elle ne peut prétendre constituer à elle seule la solution à tous les problèmes de collecte d'informations, et est souvent utilisée comme une source complémentaire de données, parallèle aux moyens de collecte traditionnelle (terrain, photographies aériennes, …). Elle permet toutefois d'envisager certaines questions qui étaient restées jusqu'ici sans réponse. Nous le vérifierons par la suite, en présentant les principales applications et utilisations actuellement possibles de la télédétection (§ 4.2). Les spécificités du milieu urbain, et l'historique de la télédétection urbaine sont rappelés, en insistant sur le passage de la Haute à la Très Haute Résolution sont présentées dans les paragraphes suivants.

4.1.1.1 Le milieu urbain, un milieu aux caractéristiques spécifiques

Le milieu urbain possède des caractéristiques spécifiques, qu'il est utile de rappeler pour cerner la spécificité des conditions d'utilisation de l'imagerie satellitaire. Les espaces urbains sont caractérisés par une **grande hétérogénéité** des surfaces et par une grande fréquence spatiale : surfaces minérales (béton, asphalte, ardoise, tuiles...), surfaces métalliques, surfaces chlorophylliennes. Les formes homogènes sont rares, et les structures présentes complexes. L'information fournie par le pixel étant une composition de plusieurs éléments de la surface terrestre par l'effet de voisinage, il est illusoire de vouloir obtenir des pixels « purs », en général la mesure correspond à un « **mixel** ».

Comme l'ont souligné en d'autres termes de nombreux auteurs (Welch, 1982 ; Forster, 1985), les relations entre la surface et le pixel, l'adéquation entre la résolution spatiale et la discrimination des éléments vont varier en fonction de la taille, de l'organisation et de la densité des objets urbains. La **résolution spatiale** utilisée pour discriminer la structure urbaine doit donc être adaptée à chaque type de ville.

Welch (1982) considère que l'idéal est de disposer, en moyenne de quatre pixels purs par parcelles urbaines. Un capteur de 5-10 m est donc nécessaire pour discriminer un environnement asiatique ; par contre un capteur de 30 m peut suffire pour identifier les régions urbaines des Etats-Unis.

Ce problème est illustré par la figure 4.2 qui considère la relation entre la taille des pixels et la taille des parcelles de différents pays. Une ville européenne ou nord-américaine offrira des caractéristiques différentes de celles d'une cité asiatique, indienne, ou africaine (Gamba, 1990 ; Paulusson, 1994) du fait des particularités culturelles, historiques (habitudes de construction, matériaux...) et des conditions environnementales (climat, végétation,...). La connaissance de ce contexte est, à ce titre, tout à fait primordiale.

Enfin, la dimension théorique du pixel, qui détermine la résolution spatiale de l'image, varie selon les systèmes d'acquisition des données, autrement dit des capteurs du satellite. Il est important de connaître les capteurs et les satellites existants, susceptibles de fournir des données pour l'étude du milieu urbain. Un bref historique de la télédétection est présenté (§ 4.1.1.2), puis les différents capteurs existants et prévus à l'horizon 2010 sont détaillés.

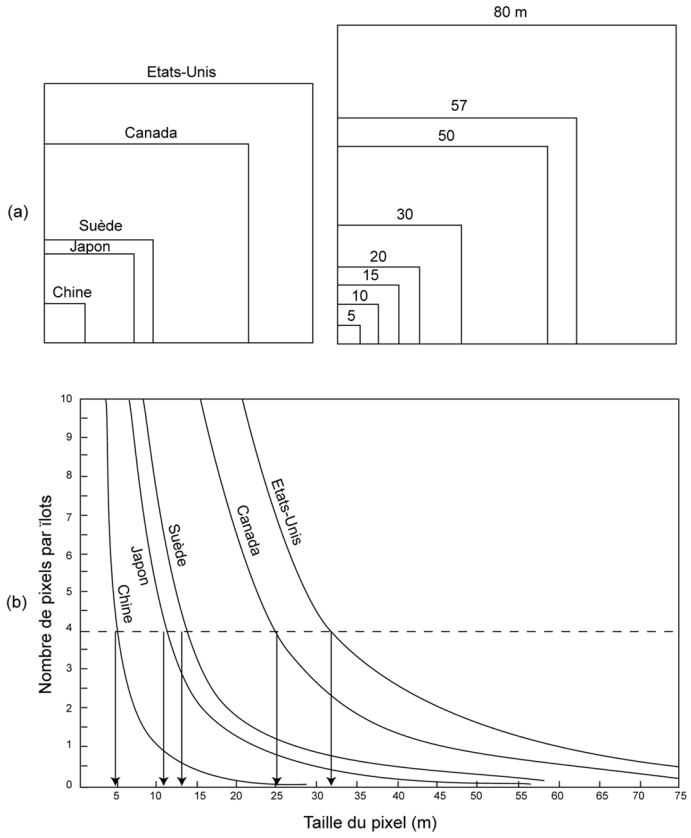


Figure 4.2 - (a) Comparaison des tailles de parcelles urbaines de plusieurs pays avec le champ instantané de vue ; (b) Taille des pixels nécessaire pour discriminer un îlot urbain selon le pays (*in* Welch, 1982).

4.1.1.2 Historique de la télédétection

4.1.1.2.1 Origine de la télédétection : la télédétection aérienne

La télédétection aérienne est la technique qui, par l'acquisition de photographies aériennes[78], permet d'obtenir de l'information sur la surface de la terre sans contact direct avec celle-ci. La **photographie aérienne** désigne toute prise de vue depuis un engin se trouvant dans l'atmosphère (aéronef, ballon, avion, hélicoptère…). Son développement est dû à la convergence de trois techniques : la vision aérienne, la photographie et la photogrammétrie[79].

[78] Dans la pratique parler de photographies aériennes sous-entend qu'elles sont prises avec une vue verticale.

[79] Les premières montgolfières remontant à 1783, la vision aérienne ne deviendra une source d'informations scientifiques qu'à partir du moment où il sera possible de fixer les images. On doit attendre Nadar, qui après plusieurs essais infructueux, réussit en 1858 sa première photographie aérienne à 80 mètres au-dessus du Petit Clamart. L'idée de mesurer à partir de PA a germé au milieu du 19ème siècle et donna naissance à la photogrammétrie en 1850, qui désigne l'ensemble des techniques permettant de déterminer la forme, la dimension, et la position d'un objet à partir de perspectives photographiques d'un objet (Bonn et Rochon, 2001). Nadar a perçu l'intérêt de cette expérience, puisqu'il a déposé un brevet « pour un nouveau système de photographie aérostatique » permettant de dresser des plans topographiques et cadastraux.

L'utilisation des photographies aériennes prend son essor au cours des opérations de la Première Guerre mondiale. Les premières utilisations civiles sont réalisées dans les domaines de l'archéologie (localisation et repérage d'anciennes structures agraires ou de réseaux d'irrigation abandonnés) et de la prospection pétrolière (repérage des structures géologiques propices aux gisements d'hydrocarbures). La Seconde Guerre mondiale accélère les développements de la télédétection. Le conflit ouvre de nouvelles perspectives à la photographie aérienne classique grâce à des prises de vues à de très hautes altitudes, et impose la mise au point de nouvelles méthodes de détection dans deux domaines (infrarouge thermique et radar). Ces résultats ont été repris dans les activités civiles, en particulier pour la reconnaissance, à partir des photographies proche infrarouge, des végétaux et des maladies qui les affectent.

4.1.1.2.2 De la télédétection aérienne à la télédétection spatiale

Au début des **années 60**, l'ère spatiale conduit au développement de la télédétection spatiale, alors que la généralisation d'une informatique performante autorise le traitement des masses considérables de données recueillies grâce aux satellites. Comme toujours, la télédétection spatiale est d'abord développée à des fins militaires (orbites des satellites présentent un avantage considérable pour l'acquisition d'informations stratégiques sur des États inaccessibles sans autorisation préalable de survol aérien).
Les vols à bord des premiers vaisseaux habités soviétiques (Vostok et Voskhod) ou américains (Mercury et Gemini) montrent à un large public l'intérêt d'observer la Terre depuis l'espace : les premières images réalisées à partir de l'espace apportent des données nouvelles dans les domaines de la météorologie, de la géologie, de l'océanographie et de la cartographie. La couverture étendue et homogène des systèmes spatiaux, leur caractère synoptique fournissent des documents que l'on ne peut obtenir avec les photographies aériennes, même assemblées en mosaïques.

À partir de 1972, date de lancement du premier satellite civil américain inaugurant le programme ERTS (Earth Resources Technology Satellite, appelé **LANDSAT** par la suite), commencent à fléchir les réticences sur la diffusion d'informations spatiales. La capacité de distinguer deux objets au sol, appelée **résolution**, reste suffisamment générale ; un consensus est obtenu, et le programme est officiellement développé pour le bénéfice de l'humanité tout entière. Les programmes de recherche développés dans les années 70 démontrent une multitude d'utilisation « à caractère publique » des images LANDSAT et l'opportunité de développer un marché commercial des images satellites a commencé à émerger.

Avec le lancement du satellite français **SPOT** en 1986, la technologie spatiale n'est plus le domaine réservé des États-Unis et de l'Union soviétique (cette dernière n'ayant d'ailleurs pas vraiment développé de programme civil distinct de ses activités militaires). Aujourd'hui de nombreux satellites civils de télédétection, américains, français, européens, japonais, et indiens, fournissent en permanence des images de la planète. L'amélioration du pouvoir de résolution des capteurs tend dans le même temps à rapprocher certains types d'images spatiales des photographies aériennes, parfois même à les concurrencer. La chronologie du développement de la télédétection est détaillée au tableau 4.1.

Tableau 4.1 - Principales dates du développement de la télédétection**.**

Dates	Etapes de développement
1783	premier vol en ballon
1839	invention de la plaque photographique
1895	première pellicule couleur
1935	premier film commercial couleur
1942	premier film commercial infrarouge
1960	premières photos prises de l'espace
1972	premier satellite de télédétection : LANDSAT 1
1977	lancement de METEOSAT
1986	premier satellite de télédétection français : SPOT 1
1991	premier radar : ERS 1
1996	premier satellite multidirectionnel : ADEOS-POLDER
1998	lancement de VEGETATION (plate-forme SPOT 4)
1999	premier satellite commercial THR : IKONOS-2
2002	lancement de SPOT 5

4.1.1.3 Développement de la télédétection urbaine

4.1.1.3.1 Avènement de la télédétection urbaine : la Haute Résolution (HR)

La **télédétection urbaine** a fait son apparition au début des années 70, avec les images fournies par le capteur MSS (« Multispectral Scanner ») monté à bord des satellites LANDSAT 1, 2 et 3 (opérationnels jusqu'en 1983), même si la résolution spatiale (80 m) limite l'analyse (Ballut, 1984 ; Forster, 1985 ; Welch, 1982), et ne permet que d'étudier la ville dans son ensemble.

Au début des années quatre-vingt, à ces **satellites de « 1ère génération »**, des **satellites Haute Résolution** dit de **« 2ème génération** » viennent s'ajouter. En effet, à partir de 1982, les satellites LANDSAT 4 et 5 disposent d'un deuxième capteur « Thematic Mapper » (TM) dont la résolution spatiale de 30 x 30 m a réellement bouleversé les possibilités d'analyse en milieu urbain. Parallèlement, le Centre National des Etudes Spatiales (CNES), en collaboration avec la Belgique et la Suède, développe un Système Pour l'Observation de la Terre (SPOT) avec un capteur HRV (Haute Résolution Visible). L'apport le plus attendu de SPOT réside dans son mode panchromatique (P), offrant une résolution au sol de 10 mètres, et en particulier dans ses possibilités d'intégration avec le mode multispectral (XS), permettant une résolution de 20 mètres. A l'heure actuelle, **SPOT 1** (lancé en 1986), suivi de **SPOT 2**, (en 1990) sont, parfaitement opérationnels, mais dépourvus de capacité d'enregistrement à bord. Quant à **SPOT 3** (lancé en 1993) il a été perdu en 1996 suite à un incident technique. Signalons que si les satellites militaires atteignaient des résolutions supérieures à 10 m, dès le début des années 60, la technique s'est diffusée sur les satellites civils dans les années 80 (Van der Meer *et al.*, 2002). Le seul concurrent important de SPOT, hormis la photographie aérienne, était LANDSAT, les deux systèmes étant d'ailleurs plus complémentaires que concurrents.

Les programmes LANDSAT et SPOT ont continué d'améliorer les performances de leurs satellites. Ainsi, le système **LANDSAT 7** lancé en 1999, contient un canal panchromatique supplémentaire, à 15 m de résolution. De son côté, le CNES a lancé le satellite SPOT 4 (même résolution que SPOT 3), en Mars 1998, avec un canal supplémentaire dans le domaine du moyen infrarouge. Enfin, un instrument dit **VEGETATION** est installé (1,1 km de résolution spatiale, répétitivité journalière, et 4 bandes spectrales). Dans la continuité, le satellite **SPOT 5**, lancé en mai 2002, bien que fondé sur le même type de plate-forme orbitale que ses prédécesseurs, comporte de nombreuses innovations : un capteur Haute Résolution Géométrique (HRG) avec trois bandes spectrales à 10 mètres, le MIR à 20 mètres, et le Panchromatique à 5 mètres. Un procédé original, breveté par le CNES dénommé

« SUPERMODE », permet de ramener cette résolution à 2.5 mètres. Une fonction stéréoscopique avant/arrière permet une vision du relief. Enfin, un instrument VEGETATION-2, pérennise la ligne des produits et services issus de la complémentarité entre haute et basse résolution ouverte par SPOT 4.

4.1.1.3.2 Avènement de la Très Haute Résolution (THR)

Plus qu'une avancée technologique, la loi signée en 1992 par l'administration Clinton, relâchant les restrictions gouvernementales sur la disponibilité commerciale des images satellites (réservées jusque là exclusivement aux militaires), à des résolutions inférieures à 5 m dites à **Très Haute Résolution (THR)**, conduit au développement **des satellites commerciaux** (Forrest, 1993 ; Antenucci, 1995 ; Fritz, 1996) dits de « **3ème génération** ». Le Remote Sensing Act permet à des sociétés privées américaines de développer leur propre satellite d'observation de la terre à des **résolutions spatiales inférieures à 5 m**, et de les commercialiser. La réduction conjointe des coûts de développement, de lancement et d'opérations sur les satellites, conduit au développement considérable de l'activité de recherche dans ce domaine par une série d'organismes privés de télédétection. L'industrie de la télédétection devient très réactive aux besoins des utilisateurs (Morain, 1995 ; Wilson, 1995 ; Dale, 1996 ; Fritz, 1996).

D'un **point de vue technique**, la principale **différence entre la HR et THR** s'explique car à une résolution décamétrique, le paysage sur une image peut être considéré comme « une texture » drapée sur un relief à basse fréquence spatiale (lissé, aplati) ; par contre, à une résolution métrique (et décimétrique), des variations d'altitude à haute fréquence spatiale apparaissent (Vallorge, 2002). Ainsi, les faces cachées (bâtiments, arbres), les ombres portées, la troisième dimension des objets deviennent visibles. L'apparition de cette information 3D correspond aux résolutions inférieures à 3-4 m (taille moyenne des objets urbains).

Il est utile de rappeler que dans le domaine de **la THR**, les **militaires** sont les premiers utilisateurs de ces gammes de résolutions (inférieures à 5 m) depuis plus d'une dizaine d'année. Par contre, les notions de HR et THR définies par les militaires sont différentes de celles utilisées couramment dans le civil. Le Tableau 4.2 résume les dénominations des différentes catégories de résolution spatiale dans les domaines militaire et civil. La différence entre les HR à EHR se situe au niveau des stades de détection, identification et analyse des objets (cf. § 5.1.1). La HR basse permet de détecter quelques objets principaux, tandis qu'une HR haute permet de les détecter tous. La THR permet de passer au stade de la reconnaissance ou de l'identification de tous les objets, alors que la EHR permet d'analyser tous les objets/observations.

Tableau 4.2 - Comparatif des dénominations des résolutions spatiales dans les domaines civil et militaire.

	Résolution spatiale (mètres)	
Dénomination	**Militaire**	**Civil**
EHR - Extrême Haute Résolution	< 0.25 m	/
THR - Très Haute Résolution	0.25 à 0.60 m	< 5 m
HR - Haute Résolution	0.60 à 3 m	10 à 30 m
MR - Moyenne Résolution	3 m	80 m
BR - Basse Résolution	> 3 m	1000 m

Dans le reste de ce travail, le **terme de THR** désigne les images satellites de **résolution inférieure à 5 m**. Le paragraphe suivant présente les principaux acteurs dans ce domaine.

4.1.1.3.3 Principaux acteurs de la THR

Les activités de développement des capteurs THR ont été mis en place, initialement aux Etats-Unis, puis en Europe, en Inde, au Japon et en Israël. D'autres pays tels que l'Afrique du Sud, le Canada, la Corée et la Malaisie ont également exprimé un intérêt fort dans le marché de la THR.

Un élément important de l'implication des **Etats-Unis** dans la conception de capteurs THRS est la collaboration étroite du secteur privé et du secteur public (Aplin *et al.*, 1997 ; Antenucci, 1995 ; Fritz, 1996). The Small Spacecraft Technology (initiatives SSTI), conduit par le National Aeronautics and Space Administration (NASA), est un exemple de cette intégration. Dans ce cadre, deux petits satellites THR (Lewis et Clarck) ont été développés et lancés par deux sociétés privées, TRW Systems and CTA Systems respectivement en 1996 et 1997.
Depuis 1994, **cinq organismes privés** ont obtenus des autorisations pour développer des capteurs THRS : **Earthwatch, Space Imaging EOSAT, Orbimage, GDE Systems et Ressource 21** (Antenucci, 1995). Les trois premiers organismes disposent déjà de satellites fonctionnels (IKONOS-2, QUICKBIRD-2) et depuis peu ORBVIEW-3.

En **France**, le satellite **SPOT 5** avec son capteur HRG, lancé en 2002, fait partie de cette **nouvelle génération** de capteur THR. Au contraire de ceux développés aux Etats-Unis, il a été planifié depuis longtemps et n'a pas été développé en réponse à un nouvel environnement commercial, comme aux Etats-Unis (§ 2.2.2.2.2). Au-delà de cette lignée fondée sur une même catégorie de plate-forme, le CNES et l'ASI (Agence Spatiale Italienne) ont défini un **système dual** (civil et militaire) **d'observation optique et radar** dénommé **ORFEO**, qui doit permettre de satisfaire les besoins civils et de défense des deux pays en imagerie haute résolution (§ 2.2.2.2.1). Cette nouvelle filière de micro-satellites (systèmes spatiaux d'une masse typique de 500 kg) assurera la continuité du Système SPOT. ORFEO sera constitué de **COSMO-SKYMED**, une constellation de quatre satellites radar en bande X, pour l'ASI, et de **PLEIADES-HR**, un système optique de deux satellites à haute résolution, pour le CNES (cf. § 4.1.2).

Parallèlement les **agences spatiales allemande** (Deutsche Agentur für Raumfahrt-Angeegenheiten, DARA) et **russe** (Russian Space Agency, RSA) ont lancé en 1996 un scanner multispectral stéréoscopique (MOMS-2P) avec une résolution de 6 m (Ridley, 1995). D'autres capteurs THR ont été développés et lancés par la RSA. Ainsi, les **caméras satellites russes KFA**-1000, KFA-3000, TK-350, KVR-1000[80] et MK-4 ont permis d'acquérir des photographies depuis 1974, 1978, 1983, 1983, et 1988. La RSA a formé un partenariat avec Sokol Almaz Rafdar Corporation et projette de lancer trois capteurs à bord du satellite ALMAZ-1B en 1998, ALMAZ-1C et ALMAZ-2. La RSA étant de plus en plus intéressée par le commerce des images THR, au début des années 90, a formé une agence WorlMap, afin de commercialiser les images issues de Resours-F incluant les images de KFA-1000, KFA-3000 et MK-4 (Humpheries, 1994). Les images issues du second satellite (KOSMOS) incluant les images KVR-1000 et TK-350 sont commercialisées par un organisme différent appelé Interbranch Association Sovinformsputnik (IASIS) (Plumb *et al.*, 1997).

[80] Il faut signaler que les données KVR-1000 sont un peu particulières. Il s'agit à l'origine de données captées et transmises par support photographique, qui peuvent être numérisées par la suite. Les vecteurs de ces systèmes n'assurent pas une couverture régulière de la planète, mais procèdent à des acquisitions locales. Cependant la multiplication des missions ces dernières années permet assez souvent de trouver des données utilisables. Il n'est pas toujours aisé d'évaluer la résolution réelle des données acquises au moyen de ces capteurs photographiques, car elle dépend du pouvoir de résolution du film, mais aussi des paramètres de la numérisation.

Les **agences spatiales indienne** (Indian Space Research Organizaion, ISRO) et **israélienne** (Israël Space Craft Industries) font également parties des acteurs de la THR, avec les images panchromatiques, respectivement des satellites IRS-1D et EROS (cf. § 4.1.2).
Dans un futur proche, l'**agence spatiale japonaise** (National Space Developement Agency of Japan, NASDA) rejoindra le groupe restreint des acteurs de la THR avec le satellite ALOS (panchromatique) prévu en 2005.

Dans le paragraphe suivant, les caractéristiques des capteurs optiques HR utilisés en télédétection urbaine et les caractéristiques des capteurs THR, déjà commercialisés et/ou bientôt disponibles sur le marché sont détaillées.

4.1.2 Caractéristiques des images HR et THR disponibles et futures

Les caractéristiques des capteurs HR et THR, commerciaux et gouvernementaux, potentiellement destinés à la télédétection urbaine sont présentées § 4.1.2.1. Elles définissent l'offre en produits images « bruts » (produits de base). Le § 4.1.2.2 présente les procédés par lesquels les utilisateurs peuvent acquérir ces images.

4.1.2.1 Caractéristiques des satellites destinés à la télédétection urbaine

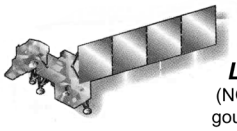
Les caractéristiques de chaque satellite sont détaillées sous la forme d'une fiche descriptive qui reprend :

- le **nom du capteur** avec la représentation réelle ou schématique de son porteur, le distributeur, le pays et la « nature » du producteur (gouvernemental ou commercial) ;
- les **caractéristiques techniques** : date de lancement, altitude de l'orbite, fauchée, possibilité de stéréoscopie, temps de revisite (répétitivité) au nadir et en vision oblique, le codage radiométrique, résolution spatiale et bandes spectrales.

Dans un premier temps, les caractéristiques des **derniers capteurs HR** (à partir de 1999) des **programmes gouvernementaux** américain, européen et indien sont présentés (Figure 4.3 : A à C). Les satellites LANDSAT et SPOT font encore partie des satellites dits HR. Seule la composante HRG de SPOT 5 (panchromatique à 5 et 2.5 m) et la composante panchromatique de IRS-1D marque la limite de l'appartenance aux capteurs THR.

Avec l'apparition des **satellites commerciaux** (fin 1990), la tendance est au mini-satellites (QUICKBIRD-2, EROS A/B). Leur objectif est d'obtenir rapidement, sur une durée de fonctionnement peut-être plus courte que pour les autres satellites, des informations, transmissibles par réseaux aux utilisateurs, en réduisant les coûts de traitement et de stockage. Ce processus conduit à une plus grande flexibilité d'usage, un groupe d'utilisateurs impliqués dès le début, complexité et des coûts minimisés. Ces satellites commerciaux (Figure 4.3 : D à G) font partie intégrante des **satellites de 3ème génération THR**. Ils atteignent des résolutions spatiales de l'ordre du mètre en panchromatique, avec des bandes spectrales réduites (du bleu au proche infrarouge) permettant de visualiser les images en vraies couleurs, une meilleure résolution radiométrique et une fauchée beaucoup plus réduite. La figure 4.3 (H à K) indique les caractéristiques des satellites et des capteurs gouvernementaux et commerciaux dont le lancement est prévu entre 2004 et 2007.

A.



LANDSAT 7
(NOAA, U.S.A.)
gouvernemental

Date de lancement	: 15/04/1999		
Altitude	: 705 km		
Fauchée	: 185 km		
Stéréoscopie	: non		
Répétitivité	: 16 jours au nadir		
Codage	: 8 bits		
Résolution spatiale	: 15 m	30 m	60 m
Bandes spectrales	: Pan Visible	Multi 6 bandes	IRT

B.



SPOT 5
(CNES, France)
gouvernemental

Date de lancement	: 03/05/2002		
Altitude	: 830 km		
Fauchée	: 60 km		
Stéréoscopie	: latéral		
Répétitivité	: 26 jours au nadir (3 jours)		
Codage	: 8 bits		
Résolution spatiale	: 2.5 m	5 m	10 m
Bandes spectrales	: Pan Superm.	Pan visible	Multi B, V, R, PIR

C.



IRS-1D
(ISRO, Inde)
gouvernemental

Date de lancement	: 29/09/1997	
Altitude	: 817 km	
Fauchée	: 70 km	
Stéréoscopie	: non	
Répétitivité	: 24 jours au nadir (5 jours)	
Codage	: 6 bits	
Résolution spatiale	: 5.8 m	
Bandes spectrales	: Pan	

D.

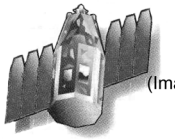


IKONOS 2
(Space Imaging, USA)
commercial

Date de lancement	: 24/09/1999		
Altitude	: 680 km		
Fauchée	: 11 km		
Stéréoscopie	: avant/arrière*		
Répétitivité	: 1 à 3 jours		
Codage	: 11 bits		
Résolution spatiale	: 0.8 m	3.2 m	
Bandes spectrales	: Pan élargi	Multi B, V, R, PIR	

* produits non proposés à la vente

E.



EROS-A1
(ImageSat, U.S.A.&Israël)
commercial

Date de lancement	: xx/12/2000	
Altitude	: 480 km	
Fauchée	: 12.5 km	
Stéréoscopie	: avant/arrière	
Répétitivité	: 3 jours	
Codage	: 11 bits	
Résolution spatiale	: 1.8 m	
Bandes spectrales	: Pan élargi	

F.



QUICKBIRD 2
(EarthWatch, USA)
commercial

Date de lancement	: 18/10/2001		
Altitude	: 600 km		
Fauchée	: 16 km		
Stéréoscopie	: avant/arrière		
Répétitivité	: 1 à 5 jours		
Codage	: 11 bits		
Résolution spatiale	: 0.6 m	2.4 m	
Bandes spectrales	: Pan élargi	Multi B, V, R, PIR	

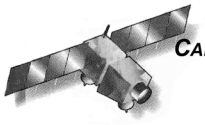
G.



ORBVIEW 3
(Orbimage, Etats-Unis)
commercial

Date de lancement	: 26/06/2003		
Altitude	: 470 km		
Fauchée	: 8 km		
Stéréoscopie	: avant/arrière		
Répétitivité	: 1 à 3 jours		
Codage	: 11 bits		
Résolution spatiale	: 1 m	4 m	
Bandes spectrales	: Pan élargi	Multi B, V, R, PIR	

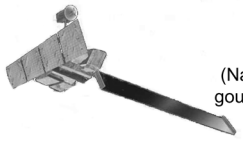
H.



CARTOSAT (IRS-P6)
(ISRO, Inde)
gouvernemental

Date de lancement	: prévu 2004
Altitude	: 618 km
Fauchée	: 30 km
Stéréoscopie	: oui
Répétitivité	: 20 jours
Codage	: 10 bits
Résolution spatiale	: 2.5 m
Bandes spectrales	: Pan visible

I.



ALOS
(Nasda, Japon)
gouvernemental

Date de lancement	: prévu 2005	
Altitude	: 691 km	
Fauchée	: 35 km	
Stéréoscopie	: avant/arrière	
Répétitivité	: 46 jours	
Codage	: 11 bits	
Résolution spatiale	: 2.5 m	10 m
Bandes spectrales	: Pan	Multi

J.

EROS-B1/B2
(ImageSat, USA&Israël)
commercial

Date de lancement	: prévu 2004 / 2006	
Altitude	: 480 km	
Fauchée	: 12.5 km	
Stéréoscopie	: avant/arrière	
Répétitivité	: 15 jours au nadir (3 jours)	
Codage	: 10 bits	
Résolution spatiale	: 0.8 m	3.2 m
Bandes spectrales	: Pan élargi	Multi

K.



PLEIADES
(CNES, France)
gouvernemental

Date de lancement	: prévu 2007		
Altitude	: 695 km		
Fauchée	: 20 km		
Stéréoscopie	: avant/arrière		
Répétitivité	: 1 à 3 jours		
Codage	: 11 bits		
Résolution spatiale	: 0.7 m	2.8 m	
Bandes spectrales	: Pan élargi	Multi B, V, R, PIR	

Figure 4.3 - Satellites gouvernementaux et commerciaux HR et THR.

L'analyse de cet inventaire permet de faire plusieurs observations :

(1) le point commun entre ces satellites THR est qu'ils atteignent tous des **résolutions spatiales inférieures ou égales à 5 m**. ;

(2) les **satellites gouvernementaux** actuels sont en retard par rapport aux satellites commerciaux. Leurs résolutions en mode multispectral (avec les possibilités de fusion) 15 à 5 m , voire 2.5 m avec le SUPERMODE de SPOT 5, alors que les satellites commerciaux atteignent des résolutions spatiales métriques à sub-métriques ;

(3) ce type d'imagerie (THR) demande un changement de conception des instruments et des porteurs. **Deux** types de **stratégie** sont utilisées pour atteindre la **THR** : soit la diminution de l'altitude de l'orbite, soit la réduction de la fauchée (moins de 80 km). Le plus souvent, ces deux stratégies sont appliquées. La figure 4.4 schématise la diminution de la fauchée en fonction de l'orbite. Ce graphique permet de différencier deux groupes de satellites : le premier groupe correspond à des satellites qui possèdent à la fois une composante HR (multispectral) et THR en panchromatique, avec une grande fauchée, et le second groupe rassemble tous les autres satellites THR. La figure 4.5 confirme que l'augmentation de la résolution spatiale n'est possible que si elle s'accompagne d'une diminution de la fauchée.

(4) A l'opposé des satellites de moyenne et haute résolutions, les systèmes THR ont limité la couverture multispectrale ou se sont limités au panchromatique. Un **rapport de résolution spatiale** entre le panchromatique et le multispectral de quatre constitue en fait une limite de faisabilité technique ;

(5) Tous les satellites sont équipés de capacités de pointage pour augmenter le potentiel de couverture et le temps de revisite. L'objectif est d'ouvrir l'utilisation de ces images à un plus grand nombre d'utilisateurs.

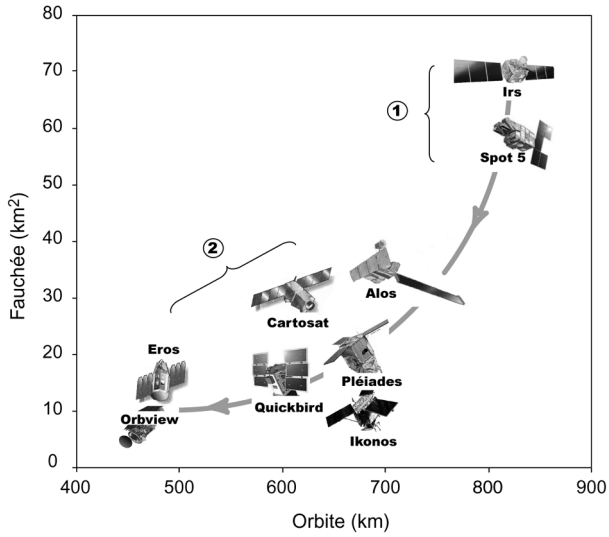


Figure 4.4 – Altitude de l'orbite en fonction de la fauchée (Puissant, 2003).

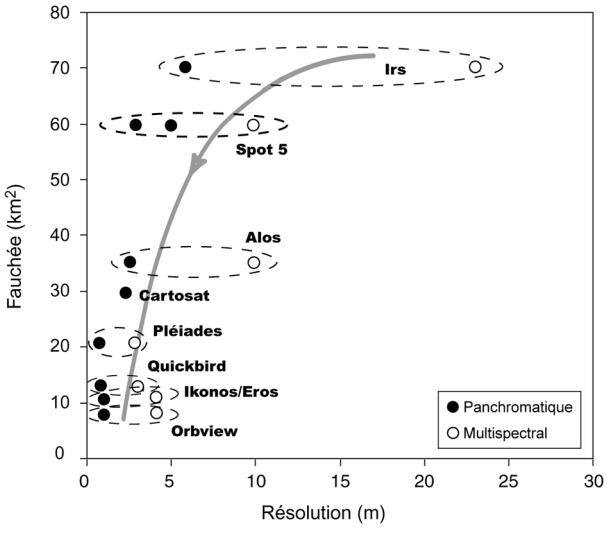


Figure 4.5 – Résolution spatiale en fonction de la fauchée (Puissant, 2003).

Les possibilités techniques ont contraint les constructeurs à trouver le meilleur **compromis** entre les **résolutions spatiale, spectrale, temporelle et la fauchée**. Ces avancées technologiques ont un prix. Si l'on observe **l'évolution des prix en fonction des résolutions spatiales** panchromatique et multispectrale, la Figure 4.6 indique que le prix au kilomètre carré augmente d'un facteur 10 entre

le satellite gouvernemental HR LANDSAT et le satellite commercial THR IKONOS. Pour le satellite indien IRS, le prix entre le multispectral et le panchromatique est doublé. Pour les satellites SPOT, l'augmentation de résolution spatiale entre SPOT 1 à 4 et SPOT 5 s'accompagne d'une augmentation d'environ 10 €/km². Par contre, le passage à une résolution de 2.5 m (SPOT 5) entraîne un doublement du prix par rapport à la résolution de 5 m (de 45 à 90 €/km²). Il en est de même pour les images IKONOS, le prix est doublé entre une image avec des corrections standards à une précision de 10 m (55 €/km²) et une image à une précision de 4 m (106 €/km²). Une **plus grande précision augmente donc le prix des images**. Ces éléments donnent une indication sur la place que les gouvernements accordent aux images satellites et confirment la compétitivité des Etats-Unis dans le domaine spatial. En France, même si des efforts sont réalisés (des images satellites sont gratuites pour la recherche scientifique), des efforts importants restent à faire.

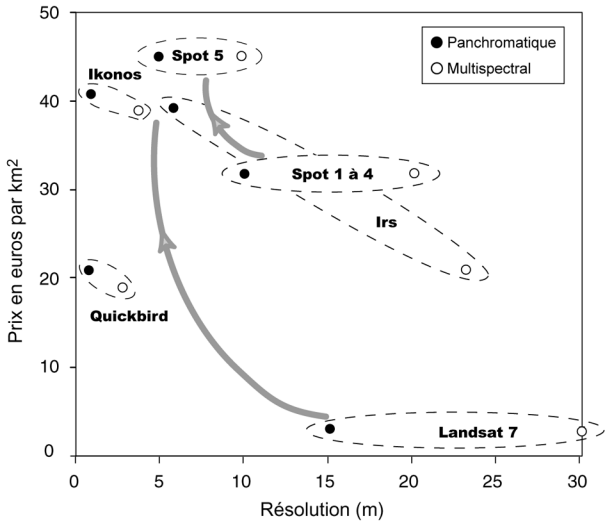


Figure 4.6 - Prix des produits de base (corrections standards comprises) par kilomètres carré (Puissant, 2003).

4.1.2.2 Accès aux images satellites et produits de base offerts aux utilisateurs

Les utilisateurs ont accès aux images satellites par l'intermédiaire de **distributeurs officiels**, et le plus souvent à travers la **consultation d'un catalogue**.
A l'heure actuelle, quatre sociétés distributrices de produits images de base (images brutes) et de produits images à valeur ajoutée (le plus souvent produits disponibles sur étagères), existent sur le marché européen (Tableau 4.3). Leur localisation géographique, le catalogue d'images et les images disponibles selon le type de capteurs sont également précisés. Il s'agit des vendeurs officiels commandités par les distributeurs tel que Digital Globe (QUICKBIRD), Space Imaging (IKONOS), CNES (SPOT), ISRO (IRS). Selon son pays d'origine, l'utilisateur ne « peut » pas s'adresser aux mêmes distributeurs. Toutefois, rien de légal n'empêche un utilisateur européen de s'adresser au distributeur « équivalent » américain. Les délais d'obtention et les frais de port ne seront toutefois pas identiques.

Tableau 4.3 - Distributeurs officiels des images satellites en Europe.

Vendeurs officiels Europe	Pays d'accueil	Catalogue image	Images disponibles
Spot Image	Toulouse, France	Sirius www.spotimage.fr/sirius	SPOT 1 À 5, ORBVIEW-3
EURIMAGE	Rome, Italie	EiNet (online) ou DESCW (exécutable) www.eurimage.com	LANDSAT, QUICKBIRD , SPOT, IKONOS, IRS1C/D
EUROMAP	Neustrelitz, Allemagne	www.euromap.de	IRS
Space Imaging Europe	Doxiadis GeoImaging	www.spaceimagingeurope.com	IKONOS

Les catalogues d'images sont consultables en ligne ou hors connexion à travers un exécutable permettant de consulter librement le catalogue. Les utilisateurs peuvent interroger le catalogue selon une localisation géographique précise (demande de coordonnées en latitude, longitude) ou selon un choix interactif à partir d'une carte, consulter les traces des satellites et identifier les images disponibles sur la zone demandée, avec des critères supplémentaires tels que le pourcentage de couverture nuageuse, … Selon le niveau de corrections géométriques et radiométriques, différents produits de base sont proposés. Par exemple, par l'intermédiaire du catalogue Sirius, plusieurs types de produits images de base de type SPOT sont disponibles.

Les produits de base de la gamme **SPOTView** sont conçus pour des clients qui ont besoin de fonds cartographiques fiables, exploitables par un SIG ou par un logiciel de cartographie. Le produit obtenu est une **spatiocarte numérique,** obtenue à partir d'une ou plusieurs scènes originales (assemblées par mosaïquage numérique). Ces spatiocartes sont présentées dans un découpage cartographique normalisé afin d'être accessible à tous les utilisateurs d'informations géographiques. Les produits sont corrigés géométriquement selon deux niveaux de qualité : un Niveau 2B (corrections basées sur les points d'appui prélevés sur des cartes ou par des mesures GPS) et un Niveau Ortho (corrections basées sur les points d'appui au sol et un Modèle Numérique de Terrain). Ils sont disponibles en mode Panchromatique, Multispectral (XS et Xi), et combinés (P + Xi) donnant des images couleurs d'une résolution de 10 m. La gamme des produits SPOTView est composée des produits **SPOTView Basic, SPOTView Plus, et SPOTView® France et France réseaux.**

Dans le détail, les produits **SPOTView Basic** sont avant tout utilisés pour l'extraction d'informations géocodées. Ils peuvent servir d'habillage à des cartes du 1/100 000e au 1/25 000e. Ce produit est livré sans traitement d'amélioration d'image et est disponible sur toutes les régions du globe. Si l'utilisateur a besoin de scènes ayant fait l'objet d'un pré-traitement plus poussé afin d'améliorer leur qualité visuelle, il peut se reporter aux produits **SPOTView Plus.** Sur ces produits**,** un mosaïquage des images avec égalisation radiométrique pour l'obtention de bases de données homogènes, une normalisation des histogrammes, une amélioration de la texture par filtrage, une amélioration locale des contrastes et un équilibrage des couleurs sont réalisés. Des découpages spéciaux peuvent être obtenus sur demande pour des zones d'intérêt qui ne coïncident pas avec le découpage cartographique standard.

Les produits **SPOTView® France** et **SPOTView® France réseaux** sont des spatiocartes numériques qui correspondent respectivement à la grille IGN au 1/50 000e de la série Orange et aux produits SPOT View France renseignés à l'aide d'une couche vectorielle reprenant les thèmes principaux de la BDCARTO® de l'IGN (réseau routier, réseau ferré, réseau hydrographique permanent, limites administratives communales, toponymie des communes). Cette série est conçue conjointe-

ment par Spot Image et l'IGN. Les images satellites sont orthorectifiées à l'aide de la base de données altimétriques de l'IGN. La précision est spécifiée à 50 mètres sur l'ensemble du territoire national et à 30 mètres pour des points bien identifiés des réseaux routiers, ferrés et hydrographique. Ces images sont « à la limite » des produits dits de base, car à partir du moment où ils subissent des traitements autres que ces pré-traitements, les produits deviennent des produits à valeur ajoutée.

Avant de détailler plus précisément quels sont les produits à valeur ajoutée proposées par les distributeurs, mais aussi par des sociétés privées (§ 4.1.4), nous allons présenter les nomenclatures d'objets urbains proposées aux utilisateurs pour l'analyse de **l'occupation et de l'utilisation du sol en milieu urbain** (§ 4.1.3). En effet, ce type d'application est **une des principales** applications en milieu urbain (cf. chapitre 3).

4.1.3 Nomenclatures utilisées pour définir les objets urbains

La représentation des catégories du sol nécessite de distinguer deux notions couramment employées en imagerie et dans les bases de données : l'**occupation du sol** et l'**utilisation du sol**. La première recouvre l'aspect biophysique de la surface (une zone végétale, bâtie), et la seconde s'applique aux fonctionnalités associées à ces zones (stade, habitation). L'image s'applique donc à extraire les occupations du sol, l'interprète-utilisateur y associe la fonction par le biais de données autres. Ce lien peut être créé, à condition toutefois qu'aient été évalués les problèmes de correspondance entre résolution spatiale et précision géométrique des données (Weber, 1995).

La mise en évidence et la cartographie des catégories d'occupation du sol correspondent certainement à la plus importante application des images satellites. Cette connaissance (de l'occupation du sol et de son corollaire, l'utilisation du sol) est importante pour les **préoccupations des aménageurs** touchant la **planification et la gestion du milieu urbain** (cf. § 3.3.1.6.2). Les besoins de comparaison rendent indispensables la mise au point d'indicateurs, d'indices, de catégories qui favorisent une mesure de variation. L'établissement et l'application d'une **nomenclature** entre dans ce contexte, dans ce qu'elle comporte de systématique, car elle induit la comparabilité selon une terminologie applicable quels que soient les lieux. Une nomenclature sur l'utilisation des sols est donc un outil précieux dans le contexte de l'élaboration d'un système d'information statistique global sur l'utilisation des sols. Non seulement, elle doit permettre un degré de compatibilité suffisant avec les classifications statistiques existantes, mais elle doit également être indépendante des échelles de restitutions cartographiques, et proposer un système de codification hiérarchique, ainsi qu'une partie textuelle comportant des définitions précises et des indications sur l'inclusion ou l'exclusion de certains éléments.

Les nomenclatures réalisées à partir de données images (aériennes et satellitaires) et offertes aux utilisateurs, sont présentées, dans ce paragraphe, selon leur échelle d'utilisation recommandée par les producteurs, des plus petites aux plus grandes échelles (du 1/100 000^{e} au 1/25 000^{e} - 1/10 000^{e}).

4.1.3.1 Echelle du 1/100 000e et plus : CORINE land cover et BD CARTO®

La plupart des pays d'Europe disposent d'une agence cartographique nationale dont le rôle est de produire des bases de données sur l'ensemble du territoire national. En France, comme nous l'avons détaillé § 2.1.2.1, l'Institut Géographique National (IGN) est le principal producteur de données publiques avec la Direction Générale des Impôts. Les bases de données produites par l'IGN sont issues de la numérisation de données saisies sur divers documents (photographies aériennes, images satellites, cartes) ou collectées sur le terrain.

4.1.3.2.1 La nomenclature CORINE land cover

Proposé en 1985 par la Commission Européenne, le programme **CORINE land cover (Co-ordination of Information on the Environment)** a pour objet de fournir, pour les pays de l'Union Européenne, une information géographique homogène sur l'occupation du sol (1985-1995) (CEC, 1994).
Une base de données de l'occupation du sol (land cover/use) a été réalisée à une échelle du 1/100 000e à partir d'une **nomenclature en 3 niveaux et 44 classes** (Annexe 4.1a). Ces 3 niveaux sont identiques pour l'ensemble des pays. Un **quatrième et cinquième niveaux** ont été ajoutés, pour tenir compte des spécificités territoriales de chaque pays, permettant une exploitation au 1/50 000e (Lenco, 1997) (Annexe 4.1b).

3.1.3.1.2 La nomenclature de la BD CARTO®

La **base de données cartographiques (BD CARTO®)** est une base de données de l'IGN dont la couverture nationale est achevée. Elle est une description sous forme numérique du territoire (en 13 classes) pour des échelles allant du 1/50 000e au 1/500 000e. De précision décamétrique, elle constitue le référentiel pour des échelles d'applications de l' ordre du 1/100 000e.
Sa nomenclature est structurée en **7 thèmes** regroupant des objets partageant une même fonctionnalité sur le terrain ou dans la base : (1) réseau routier, (2) réseau ferré, (3) réseau hydrographique, (4) unités administratives, (5) habillage (zone d'occupation du sol), (6) toponymes, (7) équipements. Le thème habillage est détaillé en Annexe 4.2. Il est constitué de **13 postes d'occupation du sol** dont le contenu est également présenté. Il s'agit bien d'occupation du sol, et non d'utilisation du sol, sauf pour le poste « zone industrielle ... ».
La BD CARTO® est peu adaptée pour des applications urbaines car les thèmes d'occupation du sol sont très généraux et concernent uniquement le bâti et les zones industrielles, commerciales, de communications ou de loisirs.

4.1.3.2 Echelle du 1/50 000e au 1/25 000e : la nomenclature SPOT Thema

A cette échelle d'utilisation, une seule catégorie de produits propose une nomenclature destinée au milieu urbain. SPOT Thema est un produit à valeur ajoutée de Spot Image dont l'objectif est de répondre aux attentes et aux besoins des professionnels de l'Aménagement du territoire en matière d'information géographique sur l'occupation et l'utilisation des sols. La nomenclature procure deux niveaux d'information (Annexe 4.3) :

- un premier niveau en 8 thèmes pour une description synthétique du territoire, pour des utilisations au 1/50 000e ;
- un deuxième niveau en 29 thèmes pour des utilisations nécessitant une information affinée sur les occupations du sol, pour des utilisations au 1/25 000e.

Le premier niveau est un regroupement hiérarchique du deuxième. SPOT Thema fournit également une couche d'habillage du bâti au format raster. Cette couche est directement superposable aux informations vecteurs et peut servir d'élément d'habillage pour enrichir le contenu informatif de SPOT Thema.

4.1.3.3 Echelle du 1/25 000e : CLUSTERS, MURBANDY/MOLAND ET BD TOPO®

4.1.3.3.1 La nomenclature CLUSTERS

En 1993, dans le cadre du programme **Télédétection et Statistiques Urbaines (EUROSTAT, 1993)**, une nouvelle tentative d'harmonisation d'informations géographiques d'occupation du sol a été lancée. L'objectif général de ce projet est de répondre aux nouveaux besoins d'informations des statisticiens européens (comparabilité, spatialisation de l'information, caractérisation des évolutions) et de développer une méthode de délimitation des agglomérations urbaines à partir de l'occupation du sol. La nomenclature CLUSTERS (Classification for Land Use Statistics : Eurostat Remote Sensing Projects, 1993), est constituée de **quatre niveaux et de 60 postes** (Annexe 4.4), à une échelle du 1/25 000e. Elle vise à organiser de manière systématique les besoins d'une large communauté d'utilisateurs qui intègre les acquis des nomenclatures statistiques existantes. L'objectif est d'obtenir une cohérence spatiale, thématique, et statistique de manière à pouvoir comparer les données de différents sites. Elle intègre, pour une grande partie, l'acquis des classifications officielles utilisées sur l'utilisation des sols au niveau européen (milieux agricoles, CRONOS ; milieux forestiers, définitions des superficies boisées d'Eurostat ; environnement, la nomenclature de l'ECE utilisée par les statistiques de l'environnement).

Plusieurs études ont montré qu'à l'heure actuelle, il est très difficile, d'atteindre le niveau IV de la nomenclature CLUSTERS, du fait de la définition très fonctionnelle des classes (Annexe 4.4).
En 2000, Eurostat avec la collaboration de la Direction Générale de l'Agriculture a initié un projet LUCAS (Land Use/Cover Area Frame Statistical Survey). Ce programme, orienté pour des applications en agriculture, différencie strictement l'occupation et l'utilisation du sol et détaille les classes liées à l'agriculture. Les données collectées dans le cadre de ce projet permettent d'observer des éléments environmentaux tels que les paysages, l'érosion, le bruit, les risques naturels (http://www.landsis.lu/projects/).

4.1.3.3.2 La nomenclature MURBANDY/MOLAND

En 1998, la Commission Européenne a lancé le programme **MURBANDY (Monitoring Urban Dynamics)**, dont les objectifs en 3 modules, sont de développer une méthodologie basée sur des données d'observation de la terre pour (1) contrôler les changements d'occupation du sol des zones urbaines et péri-urbaines (module CHANGE), (2) calculer des statistiques et des indicateurs environnementaux qui permettraient de comprendre la dynamique des espaces urbains et leurs impacts sur l'environnement (module UNDERSTAND), et (3) simuler des scénarios de croissance des agglomérations (module FORECAST).

En 1999, le projet MURBANDY a été étendu et se continue à travers le projet **MOLAND (Monitoring Land Use / Cover Dynamics).** Les deux principaux objectifs de MOLAND sont d'une part, d'étudier des régions qui doivent faire face à une forte croissance urbaine et d'autre part, d'appliquer la méthodologie élaborée dans le projet MURBANDY pour aider les politiques régionales et locales à gérer le développement rapide des agglomérations urbaines et leurs impacts environnementaux (Lavalle *et al.*, 2002). Dans ces deux projets, la **nomenclature CORINE a été complétée** par plusieurs classes

dans le **niveau 4** permettant d'affiner les classes des zones urbaines et permettant la production de cartes à une échelle du 1/25 000e (Annexe 4.5)

4.1.3.3.3 La nomenclature de la BD TOPO®

La BD TOPO® est la base de données la plus complète et la plus précise de la gamme des produits IGN. Elle fournit le système de référence de localisation des applications s'étendant sur le territoire d'une commune à celui du département. Elle est constituée d'environs **160 classes d'objets**, regroupés en **10 thèmes principaux** (Annexe 4.6) et fournit l'altitude de tous les objets.

4.1.4 Produits à valeur ajoutée dérivés de l'image

Les produits à valeur ajoutée sont dérivés de l'image aérienne, de l'image satellite ou de leur combinaison. Ces produits donnent lieu à des paiements de droit d'utilisation (licence d'exploitation). Il se présentent principalement sous la forme de **produits thématiques et/ou de bases de données vecteurs ou rasters**, produits par l'agence nationale de cartographie (données publiques), ou par des organismes mixtes ou privés ; ils sont disponibles sur étagère (prêt à la vente) ou font l'objet de prestations de service par des bureaux d'études spécialisés.

Cette section présente les **produits thématiques et/ou les bases de données** créées à partir de données images satellites, (§ 4.1.4.1), les **produits à valeur ajoutée** dérivés uniquement de la **photographie aérienne** (§ 4.1.4.2) et leurs méthodes de production. Le troisième paragraphe présente les bases de données proposées par les sociétés privées et leurs principales prestations de service (§ 4.1.4.3).

4.1.4.1 Produits thématiques et/ou les bases de données et leurs méthodes de production

Les différentes bases de données et leur mode de production sont présentés dans le même ordre qu'au paragraphe 4.1.3, de la plus petite à la plus grande échelle (1/100 000e au 1/25 000e).

4.1.4.1.1 La BD CORINE land cover et sa méthode de production

La production de **CORINE land cover** est assurée par des maîtres d'ouvrage désignés dans chaque pays. En France, le maître d'ouvrage est l'Institut Français de l'Environnement (IFEN). Celui-ci bénéficie de la participation financière de la Commission Européenne, du Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) et du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable.
La production française s'est étalée de 1988 à 1996, en deux étapes : le tiers sud du pays (zone 1) a été réalisé sous la maîtrise d'œuvre de IGN-France International et le centre et le Nord de la France (zone2) sous la maîtrise d'œuvre de l'IFEN. Depuis 2000, la mise à jour de CORINE land cover est en cours de réalisation. Son actualisation est en cours en 2003. Il est prévu que les changements d'occupation du sol entre CORINE 1990 et CORINE 2000 soient identifiés dans une nouvelle couche appelée CHANGE.

Les données de base utilisées pour la production de CORINE land cover sont des **images satellites SPOT** (XS) et **LANDSAT** (TM et MSS). Une **interprétation visuelle** à partir de tirages photographiques de ces images à l'échelle de 1/100.000e est réalisée, à l'aide de données exogènes (photographies aériennes, cartes topographiques I.G.N. et thématiques). Les données interprétées sont ensuite contrôlées, numérisées puis géoréférencées. Le **seuil minimal** des unités cartographiées est de

25 hectares. Un extrait de cette base de donnée sur l'agglomération de Strasbourg est présenté à la figure 4.7 (a).

4.1.4.1.2 La BD CARTO® de l'IGN et sa méthode de production

L'unique base de données vecteurs produite à partir d'images satellites est la base de données cartographiques (BD CARTO®) de l'IGN, par ailleurs la première base de données de l'IGN dont la couverture nationale est achevée.
La BDCARTO® est produite **par numérisation** des fonds IGN au 1/50 000e et par **Photo-Interprétation Assistée par Ordinateur** (PIAO) des images satellites **SPOT**. Seuls les éléments du paysage les plus importants, soit par leur taille, soit par leur fonction, sont décrit dans cette base.
Des critères de qualité sont définis par objet ou classe d'objets (actualité, précision géométrique, exhaustivité et précision sémantique). Des contrôles sont effectués par département ou par feuille au 1/50 000e. Les premières mesures de la qualité géométrique font état d'une précision qui varie, selon les thèmes, entre 15 et 50 m en erreur moyenne quadratique (IGN, 2002).

La **superficie minimale des zones** d'occupation du sol est fixée à **4 ha** pour le poste « eau libre **», 8 ha** pour les postes « bâti », « forêt » et « glacier, névé » et à **25 ha** pour les autres postes.
La BD CARTO® est en « phase de maturité », c'est-à-dire que la mise à niveau de la nouvelle version est en voie d'achèvement. La densification du réseau routier, la saisie de la logique de communication des échangeurs, la mise à niveau du thème administratif, et la saisie des sections de routes du réseau classé permettent un positionnement quasi automatique des points de repère indispensables aux gestionnaires de réseaux. Un extrait de cette base de donnée sur l'agglomération de Strasbourg est présenté en Figure 4.7 (b).

4.1.4.1.3 SPOT Thema et sa méthode de production

Le produit **SPOT Thema** est une base de données d'occupation des sols à l'échelle des agglomérations, disponible sur la France métropolitaine. Elle est le résultat d'une démarche approfondie et participative des utilisateurs : les caractéristiques techniques et la nomenclature, ont été définies pat l'interrogation de professionnels de l'Aménagement du territoire, réunis au sein d'un collège d'experts ; ils ont participé depuis mars 1997 à un programme visant à définir les caractéristiques des prototypes de produit d'utilisation et d'occupation des sols et à les tester dans le cadre de leurs activités professionnelles.

Cette base de données vectorielles est réalisée à partir **d'images noir et blanc** (panchromatique) de type **SPOTView Plus**, et d'**images multispectrales** de types **SPOTView Basic et Plus** avec de nombreux **documents exogènes** (cartes topographiques 1/25 000e, photographies aériennes au 1/10 000e, cartes CORINE Land Cover au 1/100 000e, cartes départementales des types de peuplements forestiers au 1/200 000e, …). Si la production de SPOT Thema est réalisée au 1/10 000e, l'échelle d'utilisation du produit est recommandée à partir du 1/25 000e. Sa production est basée sur des techniques d'**extraction semi-automatique** et de **Photo-Interprétation Assistée par Ordinateur** (PIAO).

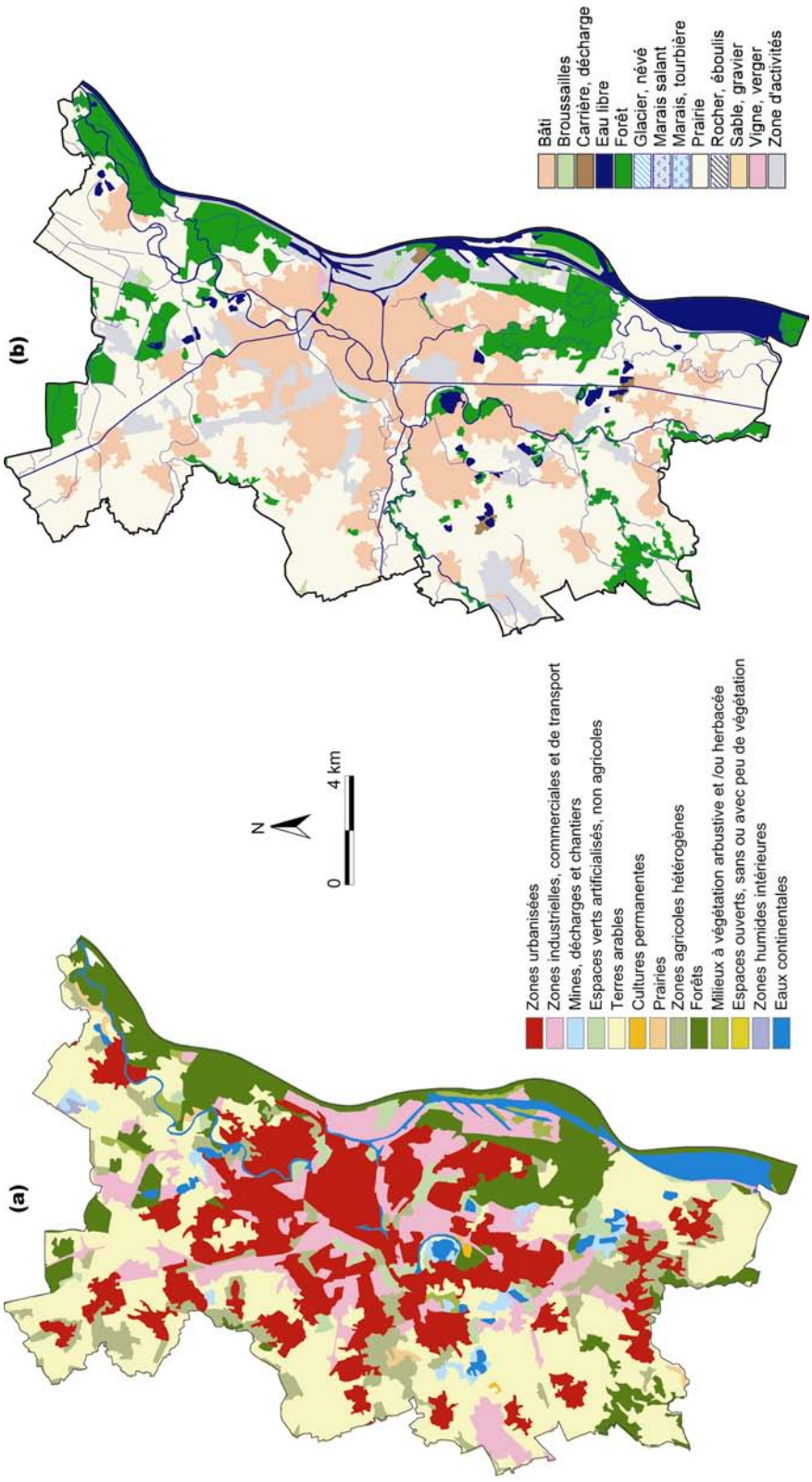


Figure 4.7 – (a) Extrait de la base CORINE land cover (1998) et (b) de la BDCARTO® (IGN, 1999) sur la Communauté Urbaine de Strasbourg ***(C)***.

La **surface minimale** d'extraction (appelée l'Unité Minimum d'Extraction Thématique, UMET) est de **4 ha** pour la majorité des thèmes, excepté pour les espaces boisés (1 ha), les zones bâties à prédominance d'habitat et les étendues d'eau continentales ou littorales (0.05 ha). Les surfaces inférieures à l'UMET sont affectées, soit à la classe géographique voisine la plus importante en surface, soit à la classe thématique la plus proche. La **précision géométrique** des contours est contrôlée par la mesure de l'écart entre la limite d'un objet observé sur une image SPOT orthorectifiée, et la limite du même objet sur SPOT Thema. La **précision thématique** est décrite à travers trois variables : la fiabilité, la confusion et l'omission[81]. La **précision sémantique** qui se réfère aux attributs renseignant les polygones de chaque classe est également contrôlée.

La démarche méthodologique de production de SPOT Thema est en définitive très proche de celle mise en œuvre pour CORINE land cover. Cela n'est pas surprenant puisque les données initiales et les objectifs fixés sont souvent les mêmes. La base de données SPOT Thema est produite à la demande (actuellement **17 sites**[82] disponibles sur étagères). Un extrait de cette base de données sur l'agglomération toulousaine est présenté à la figure 4.8.

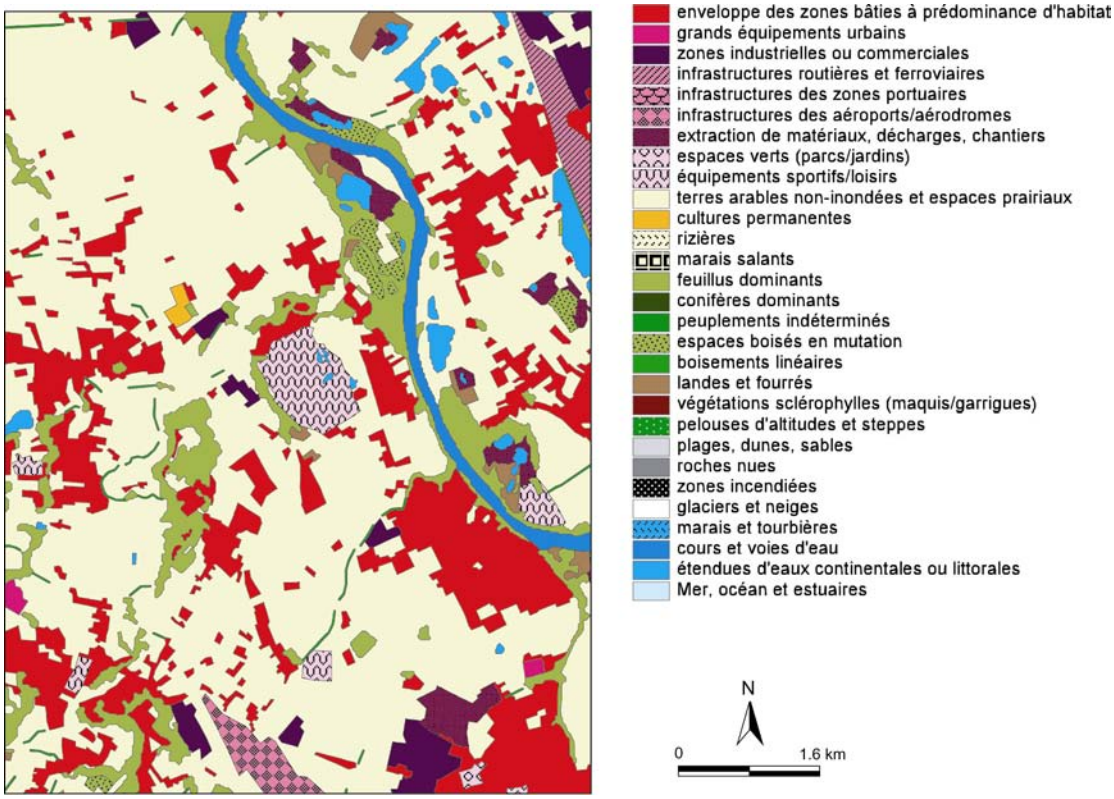


Figure 4.8 – Extrait de SPOT Thema sur l'agglomération toulousaine (1996) (*in* www.spotimage.fr) ***(C)***.

[81] Une classe « fiable à 90% » signifie que 90% des points répertoriés dans cette classe sont « bien » classés (cohérence avec la réalité). La confusion est le complémentaire à 100 % de fiabilité. Il s'agit de points mal classés d'une classe et donc « confondus » avec une autre classe. L'omission correspond au pourcentage d'objets non répertoriés dans la classe à laquelle ils appartiennent dans la réalité et donc mal classés dans SPOT Thema. Dans le cas du taux d'omission , on part du monde réel pour estimer la qualité thématique du produit. Au contraire dans le cas de fiabilité/confusion, on part du produit que l'on compare avec le monde réel pour estimer sa qualité thématique.

[82] Brest, Toulouse, Angoulême, Béziers, Montpellier, Saint-Etienne, Rodez, Chambéry, Nancy, Perpignan, Nîmes, Carcassonne, Narbonne, Grenoble, Vallée e la Touque, Albi, Languedoc Roussillon.

4.1.4.1.4 La BD issue du programme Télédétection et Statistiques Urbaines (EUROSTAT) et sa méthode de production

Les méthodes utilisées pour la création de la carte d'utilisation des sols des agglomérations européennes à partir de la nomenclature CLUSTERS diffèrent d'un site à l'autre. Elles couvrent les **techniques « classiques »** de segmentation, de classification supervisée ou non supervisée par pixel ou par zone, de morphologie mathématique, de PIAO, avec l'intégration de documents auxiliaires (cartes, photographies aériennes,...). **L'unité minimale** d'observation est de **400 m²** pour les éléments surfaciques, et de 20 m pour les éléments linéaires. Il faut signaler que cette nomenclature bien que proposée dans le cadre de projets utilisant la télédétection, n'est absolument pas dépendante des caractéristiques de l'outil satellitaire. Ce projet a été appliqué à de nombreuses agglomérations[83]. Un extrait de cette base de données est présenté à la Figure 4.9.

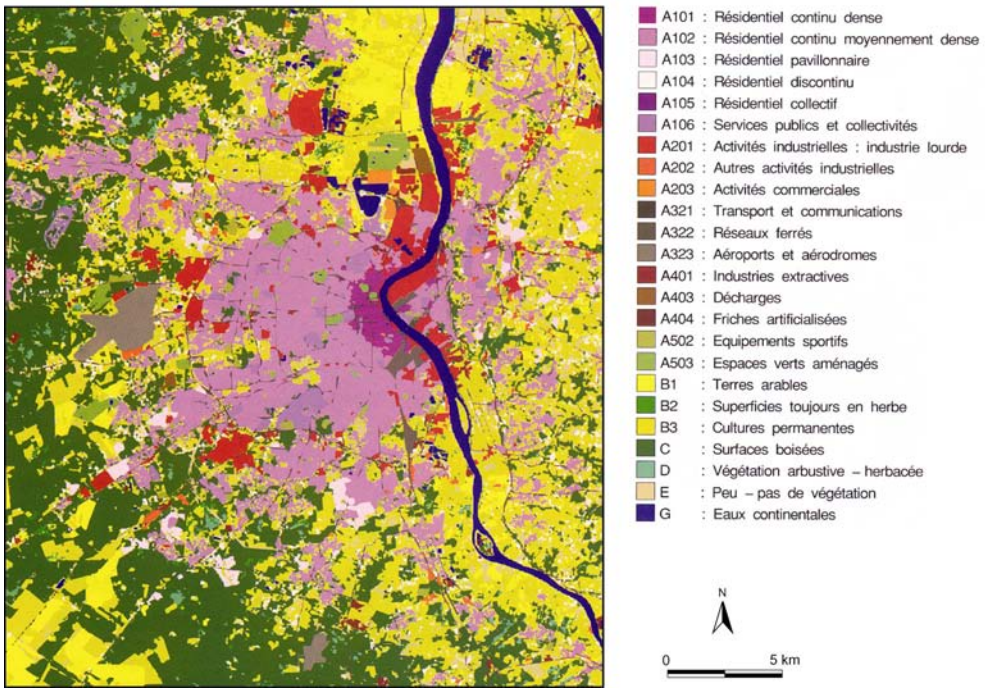


Figure 4.9 – Extrait de Clusters sur l'agglomération de Bordeaux (1995) (*in* Eurostat, 1995) ***(C)***.

4.1.4.1.5 La BD MURBANDY (Monitoring Urban Dynamics) et sa méthode de production

Les bases de données et les analyses de changement ont été réalisés à partir d'**images satellites** (**IRS-1C et KVR-1000**), de **cartes topographiques** et de **photographies aériennes**, entre 1950 et 1997, sur 15 agglomérations européennes[84]. Les cartes d'utilisation du sol ont été produites par des techniques de **photo-interprétation**. Des tests de qualité ont été réalisés à partir d'un échantillonnage aléatoire de polygones afin de vérifier l'exactitude de l'interprétation des catégories d'occupation du sol, la précision des contours des polygones et la conformité par rapport à la légende. Un extrait de cette base sur l'agglomération de Bruxelles est présenté à la figure 4.10.

[83] Budapest, Lisbonne, la région de Calais/Boulogne, de Lille - Roubaix - Tourcoing / Courtrai - Tournai, de Main - Taunus Kreis, le Sud du Limbourg, Swanley, et Bordeaux.
[84] Algarve, Helsinki, Göteborg, Porto, Bilbao, Iralklion, Prague, Bratislava, Grenoble, Lyon, Marseilles, Ruhr, Bruxelles, Setubal, Dresden, Milan, Sunderland, Dublin, Munich, Tallinn, Nicosia, Veneto, Palermo, et Vienne.

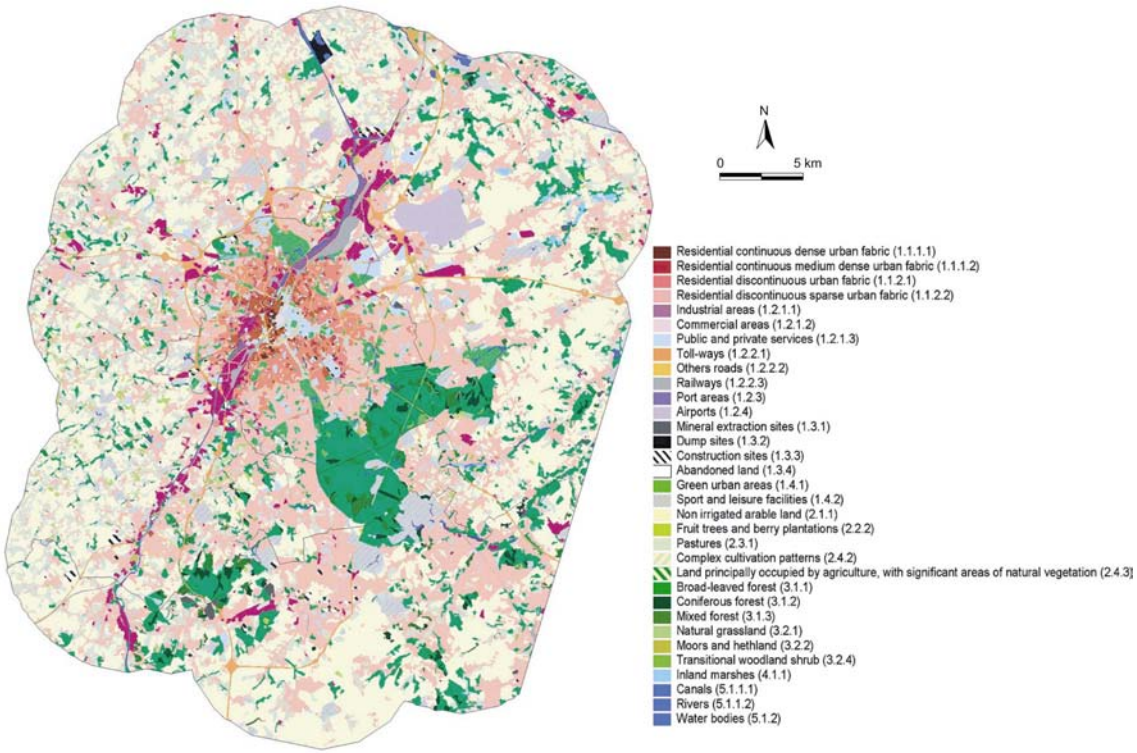


Figure 4.10 – Extrait de Murbandy sur l'agglomération bruxelloise (1997) (modifié de Fricke et Wolff, 2002) ***(C)***.

4.1.4.2 Produits thématiques dérivés uniquement des photographies aériennes

La seule base de données publique produite à partir de **photographies aériennes** est la base de données topographiques (**BD TOPO® Standard**) de l'IGN. Lancée en 1988, ses caractéristiques découlent de la volonté de produire par voie logicielle la carte au 1/25 000e dans sa définition actuelle. Elle est la base de données la plus complète et la plus précise de la gamme IGN. Elle fournit le système de référence de localisation sur le territoire à une échelle du 1/25 000e.

Elle est réalisée par **saisie photogrammétrique de photographies aériennes** de l'IGN au 1/20 000e, contrôlée par des passages sur le terrain. Ce processus s'étend sur deux années calendaires, le délai entre prise de vues et données finales est compris entre 18 et 30 mois. En 10 ans, 27 % du territoire ont été couverts, soit environ 70 % des agglomérations. Toutefois, à caractéristiques inchangées, l'ensemble du pays n'aurait pas pu être couvert avant 2017. Cette échéance était bien trop lointaine. Aussi, dès 1998, un groupe de travail destiné à concevoir une nouvelle base topographique de précision métrique, réalisée beaucoup plus rapidement et à des coûts inférieurs, a été constitué. Ces modifications ont conduit à la production de la **BD TOPO® Pays**, laquelle a été retenue comme **composante topographique du RGE** (cf. Annexe 2.1). Elle devrait ainsi être achevée fin 2006. À cette date, elle sera mise à jour en continu. Les feuilles de la BD TOPO® Standard déjà établies seront, à l'occasion de leur mise à jour, transformées en version BD TOPO ® Pays dans les zones peu urbanisées et transformées en version dite BD TOPO® Agglo, totalement compatible avec la BD TOPO® Pays, dans les zones agglomérées (environ 10% du territoire accueillant 35 millions d'habitants). D'ici la fin 2003, 34 départements seront disponibles ; et 25 départements supplémentaires en 2004.

Par rapport à la carte topographique au 1/25 000e, les objets topographiques sont à leur place et leur localisation n'est pas altérée par l'emploi de signes conventionnels, ni par un processus de rédaction cartographique basé sur des dessins successifs. La précision des données de la BD TOPO® (métrique) est supérieure à celle de la carte de base à l'échelle du 1/25 000e, bien que les deux soient voisines en terme de contenu. Un extrait sur l'agglomération de Strasbourg est présenté à la Figure 4.11.



Figure 4.11 – Extrait de la BD TOPO® sur l'agglomération de Strasbourg (IGN, 1989) ***(C)***.

4.1.4.3 Produits thématiques issus d'organismes privés

De nombreux organismes privés, spécialisés dans le traitement des images satellites, existent au niveau national (répertoriées dans le catalogue du CNIG). Seules trois sociétés privées (GEOIMAGE, GEOMEDITERRANEE, et ISTAR) proposent des produits thématiques sur étagère de type **base de données d'occupation/utilisation du sol**. D'autres sociétés, produisent ce type de base de données, mais comme prestation de service ponctuelle (SCOT, SERTIT, FLEXIMAGE, TTI, …).

Quel que soit la société, les méthodes de production sont semblables. Les bases de données sont produites par **PIAO et traitements semi-automatique à automatique** (segmentation, classification, …), à partir d'images satellites (LANDSAT, SPOT, IRS, …) complétées par des documents exogènes. Seules les bases de données GEOmetris utilisent des images IKONOS.
La **différence,** avec les bases de données « publiques » détaillées ci-dessous, réside dans la production de données d'occupation/utilisation du sol, à partir de **typologies** et non de nomenclatures avec différents niveaux d'utilisation. Le tableau 4.4 détaille les différentes bases de données disponibles avec leur échelle d'utilisation, les images satellites utilisées et le nombre de classes de la typologie. Leurs caractéristiques (précision, typologie, …) sont présentées à l'annexe 4.7.

Tableau 4.4 – Produits sur étagères de type base de données d'occupation du sol proposés par les sociétés privées.

	Nom du produit	Echelle d'utilisation	Sources de données	Nombre de classes
GÉOIMAGE (Valbonne) www.geoimage.fr	GEOmetris 3D	1/25 000e	IKONOS 1M STÉRÉO	16 classes
	GEOmetris 2D	1/25 000e	IKONOS 4M, IRS	16 classes
	GEOpolis Basic	1/100 000e	LANDSAT	12 classes
	GEOpolis Plus	1/50 000e	SPOT, IRS	16 classes
ET GÉOMÉDITERRANÉE (Sophia-Antipolis) www.geomediterranee.com	GEOlandis Basic 1000	1/1 000 000e	Cartes topographiques	6 classes
	GEOlandis Basic 500	1/500 000e	Cartes topographiques	7 classes
	GEOlandis Basic 250	1/250 000e	Cartes topographiques	7 classes
	GEOlandis Basic 200	1/200 000e	Cartes topographiques	7 classes
	GEOlandis Plus 250	1/250 000e	LANDSAT	10 classes
	GEOlandis Plus 200	1/200 000e	LANDSAT	10 classes
ISTAR (Nice) www.istar.com	Region View™	1/50 000e à 1/100 000e	LANDSAT	6 classes
	Urban View™	1/25 000e à 1/50 000e	LANDSAT, SPOT	6 classes

Les sociétés réalisent également des **prestations de services**, autres que la production de base de données thématiques, dont les plus classiques sont la réalisation de prises de vue aérienne, la production de MNT (MNS, MNE), le géoréférencement, la rectification/orthorectification, le mosaïquage d'images (aériennes et satellites), des études thématiques (gestion des risques, …) ou de consultance (analyse des changements), de traitements cartographiques (production de cartes « clé en main » pour l'aide à la décision), et de formation et/ou d'assistance technique (logiciel traitement d'images, SIG). Les principales sociétés sont répertoriées dans le Tableau 4.5.

Tableau 4.5 - Sociétés privées de prestations de services liées aux images satellites.

Sociétés	Adresse Internet
SERTIT (Strasbourg)	sertit.u-strasbg.fr
SCOT (Toulouse)	www.scot.fr
FLEXIMAGE (Toulouse)	www.fleximage.fr
KINOA (Toulouse)	www.kinoa.net
GEO3D (Toulouse)	www.geo3d.com

4.1.5 Conclusion : une multiplication de l'offre sans homogénéisation sémantique

L'analyse des différents produits images à valeur ajoutée, à travers leur nomenclature, permet de différencier (1) les **produits dérivés** principalement **d'images satellites**, et (2) les produits dérivés de **photographies aériennes**. Les nomenclatures de la première catégorie sont basées sur l'identification de **zones**, celles de la deuxième catégorie, sur l'identification **d'objets urbains**.
Très souvent, pour l'identification de zones, les termes « occupation du sol » et « utilisation du sol » sont utilisés simultanément et sans distinction ; à l'inverse pour l'identification d'objets urbains, l'accent est mis sur l'utilisation du sol sans aucune ambiguïté. Toutefois, dans les nomenclatures récentes (LUCAS : annexe 4.8), les deux notions sont strictement différenciées.
Le Tableau 4.6 reprend les principales caractéristiques des produits « publics » de la première catégorie.

Tableau 4.6 - Récapitulatif des caractéristiques des bases de données de l'occupation/utilisation du sol dérivées d'images satellites.

	Produits à valeur ajoutée de type occupation/utilisation du sol				
	CORINE LAND COVER	**BDCARTO**	**SPOT THEMA**	**CLUSTERS**	**MURBANDY**
Nombre de niveaux	3 à 5	1	2	4	4
Nombre de postes : total **pour 1/50 000e**	44 44 (Niv. 3)	13 13	29 8 (Niv. 1)	60 35 (Niv. 3)	52 45 (Niv. 3)
Échelle	1/50 000e au 1/100 000e	1/50 000e	1/25 000e au 1/50 000e	1/25 000e au 1/50 000e	1/25 000e
Surfaces minimales	25 ha	4 à 25 ha	1 à 4 ha	0.04 ha	1 à 3 ha
Images satellites	LANDSAT, SPOT	LANDSAT, SPOT	SPOT	LANDSAT, SPOT	IRS, KVR-1000
Techniques utilisées	PI sur calques	PIAO	PIAO	PIAO	PIAO
Disponibilité	Europe	France	France métropolitaine (17 sites)	≈ 10 agglo. européennes	15 agglo. européennes
Mise à jour	en cours + analyse des changements 1990 - 2000	1 à 3 ans selon le thème	produits « *Evolutions* » à la demande	Non prévu	Continuité par MOLAND

Les niveaux et les **thèmes** utilisables en **milieu urbain**, sont **peu nombreux** (Tableau 4.7). La signification des classes est détaillée en Annexes (Annexe 4.1 à 4.5). CORINE Land Cover est une nomenclature orientée « environnement », c'est pourquoi elle dispose de peu de classes adaptées au milieu urbain à une échelle du **1/100 000e** (4). A cette échelle, la base **GEOpolis Basic** semble la plus adaptée puisqu'elle possède déjà 7 classes. Par contre, **au 1/50 000e**, CORINE Land Cover possède le plus grand nombre de classes, avec MURBANDY. L'avantage de **CORINE Land Cover** est qu'elle est disponible dans tous les pays d'Europe, alors que MURBANDY a été réalisée sur quelques agglomérations européennes. Au **1/25 000e**, la nomenclature **CLUSTERS** semble la plus adaptée au milieu urbain car elle dispose du plus grand nombre de classes.

L'analyse des différentes niveaux de nomenclatures montre également que les niveaux aux 1/50 000e et 1/25 000e, quel que soit le produit (excepté ceux proposés par les sociétés privées), ont été développés en cohérence avec les niveaux I et II de CORINE Land Cover (1/100 000e). Les bases les plus récentes par rapport à CORINE Land Cover apparaissent donc **complémentaires.** Elles ont été créées afin de lui ajouter un niveau 4, adapté aux applications urbaines au 1/25 000e.
En résumé, la nomenclature la plus détaillée susceptible d'être la plus adaptée au milieu urbain est CLUSTERS.

Tableau 4.7 - Nombre de classes par niveau de nomenclature destiné au milieu urbain.

	Niveau I 1/100 000e	**Niveau II 1/100 000e**	**Niveau III 1/50 000e**	**Niveau IV 1/25 000e**
CORINE LAND COVER	1	4	11	38
BDCARTO	/	/	3	/
SPOT THEMA	/	/	4	9
CLUSTERS	1	5	8	23
MURBANDY	/	/	12	15
GEOpolis Basic	7	7	/	/
GEOpolis Plus	/	/	10	/
GEOmetris 2D/3D	/	/	/	16

Le vocable utilisé pour définir les zones en milieu urbain regroupe les termes suivants :

- « territoire ou surface artificialisé(e) » ou « espaces urbanisés » ou « bâti » pour désigner les objets urbains relatifs à l'habitat (différents types de tissus urbains) ;
- « zones ou surfaces industrielles, commerciales » ;
- « infrastructure de communication » ;
- « extraction de matériaux et décharges » ;
- « espaces récréatifs », « végétation arbustive et herbacée » pour tous les objets relatifs à la végétation urbaine.

Si ces nomenclatures sont apparues comme complémentaires, le problème est donc que le **vocabulaire utilisé** dans la définition des classes, est **différent** d'une base de données à l'autre. Ceci perturbe l'utilisateur qui utilise simultanément plusieurs bases de données. **Harmoniser les nomenclatures** d'occupation/utilisation du sol devient alors primordial à l'échelle européenne pour disposer d'informations comparables d'une ville à l'autre et d'un pays à l'autre.

Finalement, la production des bases de données est très chère alors que les utilisateurs habituels « principaux » sont des organismes du domaine public, avec des ressources financières limitées. Une pression sur les coûts de collecte, et l'utilisation de procédures de traitements efficaces devraient permettre de réduire les coûts.

4.2. ETAT DE L'ART DES APPLICATIONS REALISEES A PARTIR D'IMAGES SATELLITES

Parmi les prestations de services des organismes privés relevés dans le paragraphe précédent, nous allons nous intéresser aux **études thématiques** et aux **domaines d'applications** qui concernent l'espace urbain. L'objectif est d'identifier les **applications** actuellement réalisées à l'aide d'images satellites et les produits à valeur ajoutée proposés.

Pour présenter les différentes applications, deux classifications sont possibles. Une classification par thèmes ne semble pas judicieuse car un thème peut être classifié (typologie), cartographié ou suivi dans le temps. Nous avons choisi de présenter les applications selon les **trois niveaux de responsabilité** identifiés à la Figure 3.1 (niveau de gestion opérationnelle du territoire, tactique et stratégique). Le degré de maturité des applications (les professionnels parlent de niveaux d'application) est aussi utilisé car il permet de différencier les **applications opérationnelles**, c'est-à-dire celles proposées comme services aux utilisateurs, et les **applications en développement** c'est-à-dire celles qui nécessitent encore des travaux de recherche et de développement.

Après avoir brièvement présentés les domaines d'applications des images satellites « qui concernent de près ou de loin » le milieu urbain (§ 4.2.1), les applications, classées selon le niveau de responsabilité et leur degré de maturité sont détaillés (§ 4.2.2). L'objectif est d'identifier les **produits à valeur ajoutée** (autres que les cartes d'occupation/utilisation du sol) offerts aux utilisateurs, afin de les confronter à la demande (chapitre 5).

4.2.1 Domaines d'application « liés » au milieu urbain

Les domaines d'application des images satellites « liés » au milieu urbain sont multiples : **planification urbaine et Aménagement du territoire** (cartographie urbaine), **gestion de l'environnement** (gestion des ressources en eau, forêt, études d'impact, déprise agricole, prévention et gestion des risques naturels et humains), **renseignement** (applications militaires), **transports, et télécommunications.**

Les deux premiers domaines ont une place prépondérante dans les préoccupations de la population. En effet, pour répondre aux besoins d'une production accélérée et d'une consommation accrue, la surface du globe est aux prises avec un développement qui altère les ressources : l'urbanisation s'étend en marge des terres agricoles, l'industrie multiplie les implantations, … La **planification** et son **aménagement** sont donc des enjeux primordiaux pour gérer, contrôler, limiter ces impacts sur le territoire environnant (environnement urbain et rural). La surface du globe est également soumise à des **désastres naturels** (inondations, séismes, glissements de terrain) et à des **risques technologiques** (incendies, explosions). Dans les pays industrialisés, les phénomènes naturels les plus récurrents, avec des conséquences dramatiques sur l'environnement urbain, sont les inondations (Aude, 1999 ; Gard, 2002), les séismes (Cobaye, 1995 ; Algérie, 2003), les glissements de terrain (Sarno, Italie, 1998). Ces dernières années, les catastrophes induites par l'homme se sont aussi multipliées : l'explosion d'une usine à Enschede (Pays-Bas, 1999), d'AZF à Toulouse (France, 2002).

Dans ce contexte, les satellites d'observation équipés de capteurs de plus en plus performants sont des outils indispensables car ils représentent une source inégalée de données géographiques à jour, pouvant couvrir de grands ou petits territoires, à des échelles variant du local au régional.
Le « marché » a bien compris ces enjeux et de **nombreuses sociétés privées** se sont spécialisées dans le domaine de (1) **l'Aménagement du territoire et de ses impacts** sur l'environnement urbain et non-urbain et de (2) l'**environnement**, la gestion de ses ressources, avec la prévention et la gestion des **risques** naturels (inondations, glissements de terrains, feux de forêts, tremblements de terre, volcans, tempêtes et cyclones, …), humains (explosions, incendies, conflits) ou induits (réactions en chaîne).

Dans le domaine de **l'Aménagement du territoire,** le développement des **territoires urbains** (régions, pays, structures intercommunales) exige une **vision globale** et **non plus sectorielle de l'espace**. Il doit tenir compte de la cohésion spatiale des effets des décisions en aménagement urbain, environnement, équipements industriels, équipements routiers, agriculture, tourisme, en mettant en avant la notion de **cadre de vie.** Aujourd'hui, la collecte de données géographiques homogènes sur ces territoires n'est pas toujours aisée. Les données sont soit anciennes, soit trop détaillées (comme le cadastre) et donc trop lourdes à exploiter, soit surtout peu adaptées au découpage du territoire, en particulier pour les nouvelles structures intercommunales. Les images satellites représentent donc une source de données complémentaires et à jour.

Dans le **domaine de l'environnement**, l'efficacité des satellites est liée à leurs performances techniques (résolutions spatiales, spectrales, répétitivité des prises de vue et des données). Par exemple, pour la gestion des risques, leur utilisation se situe aux quatre étapes de la maîtrise de tout phénomène de désastre (naturel, humain ou « induit ») : la **prévention (**analyse des signes précurseurs et cartographie des zones exposées, - Correia, 1999 ; Temesgen et al., 2001 -), la **surveillance et l'alerte** (réponses aux questions où, quand, taille de l'événement, Raclot et Puech, 1998 ; Yesou *et al.*, 2001-), la **gestion de la crise** (cartographie rapide des dommages et aide aux opérations de secours, - Raclot et Puech, 1998 ; Yesou *et al.*, 2001 -), et la **post-crise** (inventaire exhaustif des dégâts, développement de stratégies post-crise, - Bourrelier, 1999 ; Van Westen, 2002 -).

Le CNES et l'ESA sont ainsi impliqués dans plusieurs actions, à travers la **Charte Internationale** « Espace et catastrophes majeures » (2000) qui vise à offrir un système unifié d'acquisition et de livraison des données satellites dans les cas de catastrophes d'origine naturelle ou humaine par l'entremise d'utilisateurs autorisés (http://www.disasterscharter.org) ; le programme « **Prévention et Anticipation des Crues au moyen de TEchniques Spatiales** » (PACTES, 2000), qui vise à mettre au point des produits opérationnels à industrialiser (produits de prévention, modèles de prévisions, scénari de référence, cartographie rapide des zones inondées) ; et le programme « **Global Monotoring for Environment and Security** » (GMES, 1998,) qui est conçu pour coordonner les outils spatiaux, mettre en réseau toutes les données issues des moyens terrestres et spatiaux, faciliter et enrichir les modélisations afin de comprendre la pression environnementale et les catastrophes naturelles, et de réduire leurs conséquences désastreuses (cf. § 2.2.2.2.3).

4.2.2 Applications en milieu urbain

Dans le cadre de ce travail, seules les applications dans **les pays industrialisés** sont présentés afin de vérifier leur utilité par rapport à la demande établie dans le chapitre 3 ; les applications dans les pays en voie de développement se posent en termes différents car les problèmes se manifestent

souvent avec une ampleur et une urgence très grande dues à une plus fréquente inadaptation du site au développement de la ville, à la présence d'habitat spontané à la périphérie, à la morphologie des villes (inorganisation), aux gigantismes des surfaces et à la médiocrité générale du bâti (habitat spontané) et des infrastructures (Wilmet, 1996).

4.2.2.1 Applications opérationnelles de forte maturité

Les applications opérationnelles où les images satellites sont utilisées comme principale source d'information sont **peu nombreuses**. Elles sont réalisées essentiellement à partir d'images **LANDSAT et SPOT** en fusionnant les canaux panchromatique et multispectral. Les applications sont présentées dans un tableau récapitulatif qui facilite la lisibilité de l'ensemble (Tableau 4.8).

Tableau 4.8 - Applications opérationnelles réalisées à partir d'images satellites.

Niveau opérationnel
- cartographie de l'occupation/utilisation du sol (du 1/25 000e au 1/100 000e) et production de statistiques : valorisation, enrichissement, actualisation des bases de données existantes et réalisation d'atlas ; - cartographie des changements d'occupation du sol et suivi de la consommation de l'espace ; - cartographie des plaines à risque d'inondations (phase 1 : prévention); - cartographie des zones inondées et marécageuses (phase 2 : période de crise) - cartographie des zones boisées à risque (feux de forêts, rafales de vent ou cyclones) - calcul de densités de thèmes d'occupation du sol (végétation intra-urbaine, bâti) - cartographie et évolution des limites de « l'unité urbaine », correspondant à l'enveloppe de l'espace urbain, encore appelé Zone Morphologique Urbaine (Weber, 1995) ; - contrôle des parcelles déclarées par les agriculteurs dans le cadre de la PAC (Politique Agricole Commune) : depuis 2001, les agriculteurs sont obligés de délimiter sur des photographies aériennes et des images satellites HR (SPOT), voire THR (IRS) leurs parcelles (Van de Steene, 2002) ; - production de modèles numériques de terrain (MNT) ; …
Niveau tactique
- calcul d'un coefficient de ruissellement dans une étude sur l'écoulement de l'eau dans les villes ; - calcul d'un indice de biomasse pour caractériser la structure interne d'une ville, - recherche d'une localisation optimale d'une nouvelle zone d'activités commerciales ou industrielles, - dans les études d'impacts dans le cadre d'un nouveau projet autoroutier, l'évaluation de la consommation par les emprises des différentes catégories d'occupation du sol et de couvert végétal, la rareté et la diversité relative du tapis végétal entamé par rapport au voisinage, l'encombrement et la fragmentation de l'espace, l'exposition des espaces urbanisés localisés à proximité aux niveaux du bruit, de l'exposition aux risques (inondations par exemple) ; …
Niveau Stratégique
- cartographie thématique de support de communication pour présenter l'implantation de nouveaux projets d'aménagement (établis au niveau tactique), … - scénarii de tracés autoroutiers, - simulations 3D …

Au niveau opérationnel, les traitements les plus courants concernent la cartographie thématique et la production de statistiques ; alors qu'au niveau tactique, des calculs d'indice sont le plus souvent réalisés. Au niveau **stratégique,** l'apport de la couleur naturelle permet de développer ce type d'applications car l'image satellite devient alors lisible comme une photographie aérienne par le grand public, alors qu'auparavant, elle était l'apanage des initiés en télédétection (avec ses fausses couleurs). Finalement, l'offre en produits opérationnels a mis une dizaine d'années à se constituer, depuis le lancement des premiers satellites HR (en 1986 avec Spot). En effet, de nombreuses applications restent du domaine de la recherche.

4.2.2.2 Applications non-opérationnelles de faible maturité

Ces applications du domaine exclusif de la recherche ou en phase de démonstration sont de faible maturité. Les images utilisées sont des images LANDSAT, SPOT, voire IRS et de plus en plus IKONOS, QUICKBIRD (à partir de 2000). Elles sont détaillées au tableau 4.9.

Tableau 4.9 - Applications du domaine de la recherche réalisées à partir d'images satellites.

Niveau opérationnel
- mise à jour du cadastre (nouvelle construction, changements, …), - identification des espèces végétales, de leur morphologie, - comptage automatique des arbres, - mise à jour des BD existante (BD TOPO de l'IGN), - production de base de données 3D : Modèle Numérique d'Elévation (MNE), - identification des réseaux de communication (réseau routier principal et secondaire ; réseau ferré) ; - cartographie des zones sinistrées et l'évaluation des dommages matériels suite à un tremblements de terre, à une explosion en zone urbaine, … …
Niveau tactique
- analyse de la morphologie urbaine : identification des différents types de tissus urbains, - mise à jour des documents de planification (schémas de développement territoriaux, …) - recherche de sites potentiels d'implantation de réseaux de communications, - gestion des secours (recherche de trajet le plus court, de site d'implantation des secours), - production ou la mise à jour de plan de prévention des risques, - évaluation de la vulnérabilité des zones urbaines, …
Niveau Stratégique
- prévention des risques (aide à décision), - estimation de la population basée sur des critères de morphologies du bâti - modélisation de la croissance urbaine et de l'étalement urbain - navigation à l'intérieur d'un MNT, MNE …

Ces applications correspondent à celles pour lesquelles, l'amélioration de la résolution spatiale, spectrale, temporelle, avec la multiplication des images satellites THR, devrait engendrer de nouveaux domaines d'applications et multiplier les utilisateurs dans les domaines de l'Aménagement du territoire et de l'Urbanisme. Faudra-t-il également attendre une dizaine d'années pour que les applications « recherche » passent dans le domaine des applications opérationnelles ? C'est ce que nous tenterons de vérifier dans la partie II de ce travail.

4.3 CONCLUSION : IDENTIFICATION DES PRODUITS A VALEUR AJOUTEE OPERATIONNELS OFFERTS AUX UTILISATEURS

Avec la multiplication des satellites commerciaux, les utilisateurs doivent faire face à une multiplication des produits de base et des produits à valeur ajoutée.

L'analyse de l'offre en produits de base (images satellites HR) à travers leur nomenclature permet de préciser les échelles atteintes par les différents capteurs. La figure 4.12 résume ces niveaux d'échelle selon le type de capteur HR.

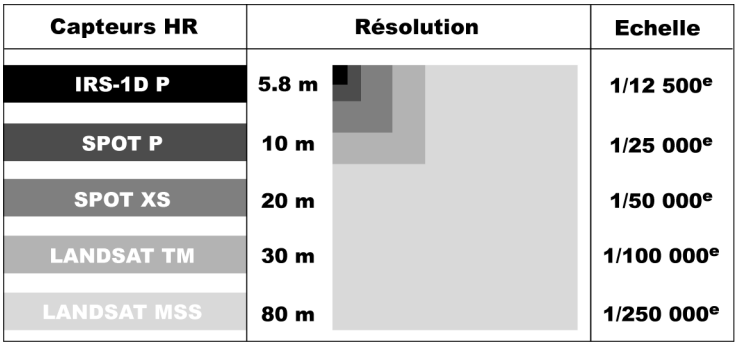


Figure 4.12 – Niveaux d'échelles atteints par l'offre en produits de base HR (sans tenir compte des possibilités de fusion d'images – cf. chapitre 6 -).

Les applications opérationnelles réalisées à partir d'images satellites par des organismes privés sont beaucoup moins nombreuses que les applications qui font encore parties du domaine de la recherche, et peuvent se regrouper en trois catégories de **produits disponibles** aux utilisateurs :

(1) les « **produits de gestion** » qui correspondent à des produits thématiques de type **bases de données vecteurs** issues de traitements semi-automatique (le plus souvent PIAO), destinés à compléter les données du SIG (**niveau opérationnel** : gestion du territoire). Le produit le plus courant est la base de données d'occupation du sol (1/100 000e au 1/25 000e) avec des nomenclatures tels que CORINE Land Cover, BDCARTO®, SPOT Thema, CLUSTERS… La comparaison de leur nomenclature a montré l'intérêt de la nomenclature CLUSTERS pour décrire le milieu urbain (38 classes), et la complémentarité de l'ensemble des bases de données avec CORINE Land Cover.

(2) les « **produits d'information** » qui regroupent les **cartes « d'analyse »** (cartes de densité, cartes de changements, …), et des produits de type **« statistiques »** (produites à partir des cartes d'analyse), intégrées dans des rapports d'étude dans un objectif de connaissance du territoire, à destination des aménageurs, planificateurs (personnes initiées), à un **niveau tactique** ;

(3) les « **produits de démonstration » qui correspondent à des cartes de présentation**, destinés au grand public et aux décideurs (élus), où l'image satellite est utilisée en fond de plan (**niveau stratégique**). Ils regroupent les produits cartographiques en 3D, les simulations, scénarii, …

Ces différents produits à valeur ajoutée, en termes d'objets urbains utiles (nomenclatures) et d'applications urbaines répondent-ils aux besoins et aux attentes des utilisateurs identifiés dans le chapitre 3. C'est ce que nous allons vérifier dans le chapitre suivant.

Chapitre 5 :

ADEQUATION ENTRE L'OFFRE ET LA DEMANDE EN OBJETS URBAINS ET EN APPLICATIONS

SOMMAIRE

INTRODUCTION 197

5.1 ADEQUATION ENTRE L'OFFRE ET LA DEMANDE EN OBJETS URBAINS 197

5.1.1 Seuil de résolution spatiale « minimal » pour l'identification des objets urbains 197

5.1.2 Adéquation entre l'offre et la demande en nomenclatures d'objets urbains et en produits à valeur ajoutée de type occupation du sol 199

5.2 ADEQUATION ENTRE L'OFFRE ET LA DEMANDE EN APPLICATIONS 209

5.3 DISCUSSION ET CONCLUSIONS 210

INTRODUCTION

Ce chapitre a pour objectif de vérifier l'adéquation entre les « demandes » en informations spatialisées des utilisateurs et les informations « offertes » par l'outil télédétection (satellites actuels HR). Il s'agit de mettre en évidence le décalage entre « ce qui est proposé » sous la forme de produits à valeur ajoutée (de type opérationnel, cf. § 4.2.3) et les attentes des utilisateurs. Il s'agit de répondre à la question :

« Les capteurs actuels à Haute Résolution (HR) et leurs produits dérivés offerts, en termes de données images brutes, d'objets urbains et de produits à valeur ajoutée, répondent-ils aux besoins des utilisateurs en milieu urbain ? »

Une comparaison qualitative et quantitative entre l'offre et la demande est réalisée sur la base de critères de qualité des données (cf. § 1.3.2.4.1) et des bases de données (cf. § 1.3.2.4.2).
Les adéquations et inadéquations relevées permettent de mettre en évidence les « critères » techniques et thématiques que les producteurs devront améliorer pour faire évoluer leur offre et répondre aux besoins réels et opérationnels des acteurs du milieu urbain.

5.1 ADEQUATION ENTRE L'OFFRE ET LA DEMANDE EN OBJETS URBAINS

L'analyse est fondée sur la définition d'un **seuil de résolution spatiale minimal** d'identification des objets (§ 5.1.1), et d'autre part, sur la comparaison des **objets urbains** issus des **nomenclatures** de produits à valeur ajoutée dérivés d'images aériennes ou satellites (§ 5.1.2).

5.1.1 Seuil de résolution spatiale « minimal » pour l'identification des objets urbains

Quel est le **seuil de résolution spatiale « minimal »** pour **identifier / reconnaître** un objet urbain, parmi la liste des objets urbains représentative de la demande (cf. Figure 3.15) ?
Dans ce cadre, une typologie d'objets urbains « potentiellement » identifiables sur les données images (aériennes et satellites) a été réalisée. Le seuil est défini de manière qualitative, à partir de l'interprétation d'une orthophotographie IGN (1998, résolution de 50 cm) de la Communauté Urbaine de Strasbourg (CUS). Ce type de données « image » est en effet considéré comme une référence objective du territoire par les utilisateurs (cf. § 3.3.2.1.3).

Le « stade » d'identification correspond à l'un des **trois « stades d'interprétation »** des objets sur une image (détection, identification/reconnaissance et analyse). La **détection** est définie comme l'action de « *déceler la présence d'un objet* », l'**identification** est l'action de « *reconnaître, trouver l'identité d'un objet* », et **l'analyse,** au sens de « *procéder à une analyse* », est l'action de « *procéder à une opération par laquelle l'esprit, pour parvenir à la connaissance d'un objet, le décompose en tous ses éléments* » (Encyclopédie Universalis, 1997).

Concrètement, la Figure 5.1 montre qu'à une résolution de 20 m et 10 m, il est possible uniquement de détecter la présence d'un objet. Ce n'est qu'à partir d'une résolution de 5 m, qu'un utilisateur-interprète averti peut reconnaître la forme de l'objet et l'identifier. L'analyse technique de ce dernier, dans le cas de la Figure 5.1 (compter le nombre d'obus), est seulement possible selon la complexité de l'objet, à partir d'une résolution inférieure ou égale au mètre.

Ces trois stades d'interprétation sont utilisés depuis longtemps par les militaires car ils permettent de déterminer des **seuils de résolution spatiale**, à partir desquelles les objets urbains sont reconnaissables (Steinberg, 1998).

Selon la résolution spatiale des capteurs, certains objets géographiques ne sont que détectables, tandis que d'autres sont identifiables, voire analysables. La résolution spatiale d'un capteur est une contrainte technique très importante à prendre en compte pour définir un capteur adapté aux besoins des utilisateurs en milieu urbain.

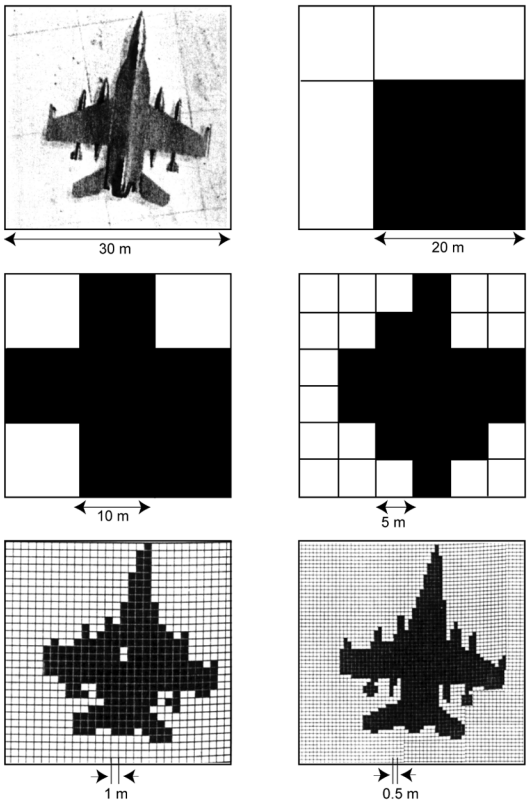


Figure 5.1 - Stade d'interprétation d'un objet urbain à différente résolution
(Sistema terra, 1995).

Les résultats détaillés de cette analyse sont présentés en Annexe 5.1. Le classement des objets urbains selon le seuil de résolution spatiale minimal permet d'identifier **six catégories d'objets urbains** (Tableau 5.1) :

(1) les objets de type « mobilier urbain » **impossible** à identifier à partir d'une photographie aérienne (regard d'assainissement) ;
(2) les objets de type « mobilier urbain » identifiables avec une résolution minimale **inférieure à 20 cm**, qui correspondent à des échelles du 1/200e au 1/500e, avec une précision le plus souvent centimétrique et une mise à jour continue (permanente) ;
(3) les objets de type « mobilier urbain » reconnaissables à une résolution **entre 20 et 50 cm**, à des échelles du 1/200e au 1/500e, avec une précision le plus souvent centimétrique et une mise à jour continue (permanente) ;
(4) les objets de type « bâtiments », « espaces végétalisés », « hydrographie », « emprise des voies de communication » avec des résolutions spatiales minimales **métriques** (**1 m**), des échelles du 1/1000e au 1/2000e, une précision décimétrique à métrique et une mise à jour permanente ;
(5) les objets urbains de type « bâtiment », « espaces végétalisés » et les zonages de type PLU, avec des résolutions spatiales minimales **plurimétriques** (**3-5 m**), des échelles du 1/5000e au 1/10 000e et une précision décamétrique et une mise à jour mensuelle, voire annuelle ;
(6) les zones de documents urbanistiques réglementaires (Plan de Prévention des Risques, Plan d'Exposition au Bruit), avec des résolutions spatiales **décamétriques** (**5-10 m**), pour des échelles du 1/10 000e au 1/25 000e, des précisions décamétriques et des mises à jour irrégulières en fonction de la demande.

Les quatre premières catégories identifient des objets urbains (niveau de gestion opérationnelle du territoire I) alors que les niveaux II et III identifient des zones ; le niveau III identifiant à la fois des objets et des zones.

Tableau 5.1 – Résolution minimale et objets urbains.

	Résolution Minimale	Objets/zones	Niveau de responsabilité		Echelles
1	impossible	Objets	Opérationnel	I.1	1/200e au 1/500e
2	≤ 0.20 m				
3	0.20 > X ≤ 0.50 m				
4	0.5 > X ≤ 1 m	Objets	Opérationnel	I.2	1/1000e au 1/2000e
5	1 m >X ≤ 5 m	Objets /Zones	Tactique	II	1/5000e au 1/10 000e
6	> 5 m	Zones	Stratégique	III	1/10 000e au 1/25 000e

Si l'on considère **l'offre en images satellites brutes** issues des **capteurs HR** actuels, le chapitre précédent a mis en évidence plusieurs catégories d'échelles atteintes, selon le type d'images satellites utilisé (Figure 4.12).

La comparaison de la demande (Tableau 5.1) et de l'offre (Figure 4.12) indique que les données satellitaires actuelles peuvent jouer un rôle à des **échelles proches du 1/25 000e** (niveau III), même si seules les **zones homogènes** sont identifiées. Elles sont, à l'heure de la HR, peu adaptées au niveau II (1/5000e au 1/10 000e) et ne conviennent pas aux niveaux I (1/200e au 1/2000e).
La **compatibilité des nomenclatures** est un problème majeur (cf. chapitre 4). Il n'y a pas de relation directe entre l'information radiométrique issue de l'image satellite et les nomenclatures urbaines, principalement fonctionnelles. Ces problèmes de résolution spatiale et de nomenclature sont donc liés, car une meilleure résolution permet une meilleure identification des objets urbains.

5.1.2 Adéquation entre l'offre et la demande en terme de nomenclatures d'objets urbains et de produits à valeur ajoutée de type occupation du sol

Pour qu'une nomenclature réponde aux besoins des utilisateurs, elle doit satisfaire les conditions suivantes (Meinel et Hennersdorf, 2000) :

- être complète, exhaustive, et indépendante de la collecte des données et des outils de traitement utilisés ;
- être de construction systématique, compatible avec les systèmes de classification existants, orientée utilisateurs et facilement applicable ;
- disposer de règles d'identification assurant une absence de chevauchement des classes ;
- disposer d'une uniformité d'échelle spatiale et temporelle.

Ces critères ont été vérifiés et les nomenclatures existantes ont été comparées aux nomenclatures de référence définies par les utilisateurs. Les critères de qualité des bases de données (§ 1.3.2.4.2) sont également utilisés (**généalogie**, **cohérence logique**, **exhaustivité, précision sémantique**, et **précision géométrique).** Il ne s'agit en aucun cas de porter un jugement sur la qualité intrinsèque des bases de données disponibles, mais d'évaluer leur efficacité opérationnelle à partir de bases de données de référence.

5.1.2.1 Méthodologie des tests

Les **tests réalisés** s'inspirent de la méthodologie proposée par le Ministère de l'Equipement et l'IFEN (Coudercy, 1997), pour vérifier **la « qualité » des nomenclatures** existantes, **en terme d'utilité pour les utilisateurs** sur **un territoire urbain délimité**. L'objectif est d'une part de vérifier leur **superposition géographique et** leur **complémentarité sémantique,** et d'autre part, de vérifier leur adéquation par rapport à une **base de données d'occupation du sol de référence.**

Seules les nomenclatures CORINE Land Cover (CLC) et BD CARTO® sont testées, à l'échelle de la Communauté Urbaine de Strasbourg (CUS), sur une superficie d'environ 310 km² car les bases de données SPOT Thema, CLUSTERS ou MURBANDY sont inexistantes sur cette zone d'étude. La BD Référence utilisée est produite à partir de la généralisation d'une base de données détaillées (de précision métrique), réalisée par digitalisation d'une orthophotographie numérique (50 cm) (échelle d'utilisation optimale, 1/50 000e au 1/100 000e). Les tests portent sur des items de nomenclatures en correspondance entre CLC, la BD CARTO® et la BD Référence. Trois thèmes sont retenus (**« bâti », « forêt » et « eau »)**. Ils correspondent au « plus petit dénominateur commun » entre les trois bases testées (Tableau 5.2)

Tableau 5.2 – Correspondance des thèmes comparés.

BD Référence	**CLC (niveau II)** (1/100 000e)	BD CARTO® (1/100 000e)
Thème bâti	1.1 Zones urbanisées 1.2 Zones industrielles, commerciales et de transport[85]	1. Bâti 2. Zone industrielle, commerciale, de communication ou de loisirs
Thème forêt	3.1 Forêts	6. Forêts
Thème eau	5.1 Eaux continentales	12. eau libre

Quatre tests ont été réalisés, sur chaque thème. Ils portent sur :

- **la granulométrie** qui permet d'évaluer la **cohérence logique** des bases de données pour définir la taille d'objet limite de chaque thème. Le nombre d'objets (polygones) et la surface (ha) ont été calculés pour sept classes de surfaces : moins de 1 ha, de 1 à 4 ha, de 4 à 8 ha, de 8 à 25 ha, de 25 à 50 ha , de 50 à 100 ha et plus de 100 ha ;
- **la matrice de confusion** qui permet de vérifier l'**exhaustivité** et la **précision sémantique** des bases de données (pourcentage global d'objets bien classés, donc de « bonne correspondance » entre les bases de données) ;
- **les isolats** qui permettent également de vérifier l'**exhaustivité** et la **précision sémantique** des bases de données. Les isolats sont définis comme des zones isolées classées dans un thème d'une nomenclature et non classées dans une autre nomenclature. Ils indiquent la complémentarité entre les bases d'occupation du sol ;
- **le décalage** qui permet d'évaluer la **précision géométrique intrinsèque** de la BD (exactitude du positionnement d'une base par rapport à la base de référence). Le décalage est mesuré (en mètres) à partir de points communs remarquables présents dans les bases, et ne présentant pas d'ambiguïté quant à la détermination de la forme. La figure 5.3a illustre un objet dont le décalage a pu être mesuré ; la forme est bien décalée (déplacements identiques des deux côtés), et les principales « pointes » de l'objet ont des formes identiques.

[85] Les autres thèmes de type « surfaces artificialisées » de CLC n'ont pas été testés car ils ne sont pas représentatifs (décharges, carrière) ou ne possèdent pas de correspondant direct dans la BD CARTO® (espaces verts artificialisés, non agricoles) ou la base de référence.

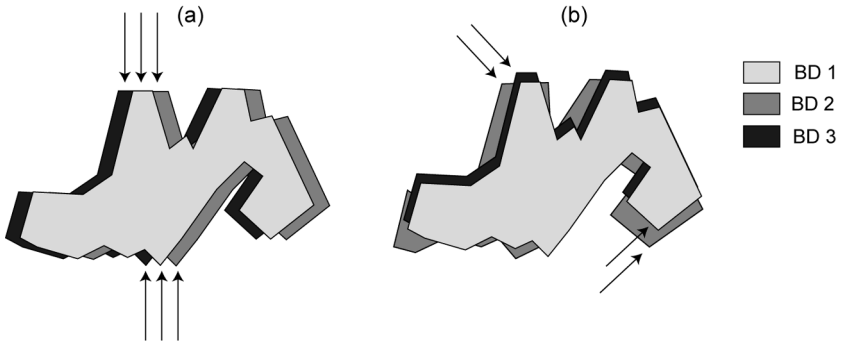


Figure 5.2- Exemple de calcul du décalage de bases de données : repérés (a) sans ambiguïtés et (b) avec ambiguïtés.

5.1.2.2 Qualité des bases données d'occupation du sol issues d'images satellites

La **généalogie** des bases de données **CLC** et de la **BD CARTO®** a déjà été présentée § 4.1.4.1. Leurs principales caractéristiques sont toutefois rappelées au Tableau 5.3.

Tableau 5.3 - Généalogie des bases de données CORINE LAND COVER et BD CARTO®.

	CLC (niveau II) (1/100 000e)	BD CARTO® (1/100 000e)
Date des données	1998	1989 - 1991
Surface minimale	25 ha	4 ha pour l'eau, 8 ha pour la bâti, la forêt 25 ha pour le reste
Digitalisation	Calque sur un tirage papier	A l'écran
Données images sources	Images SPOT	Images SPOT

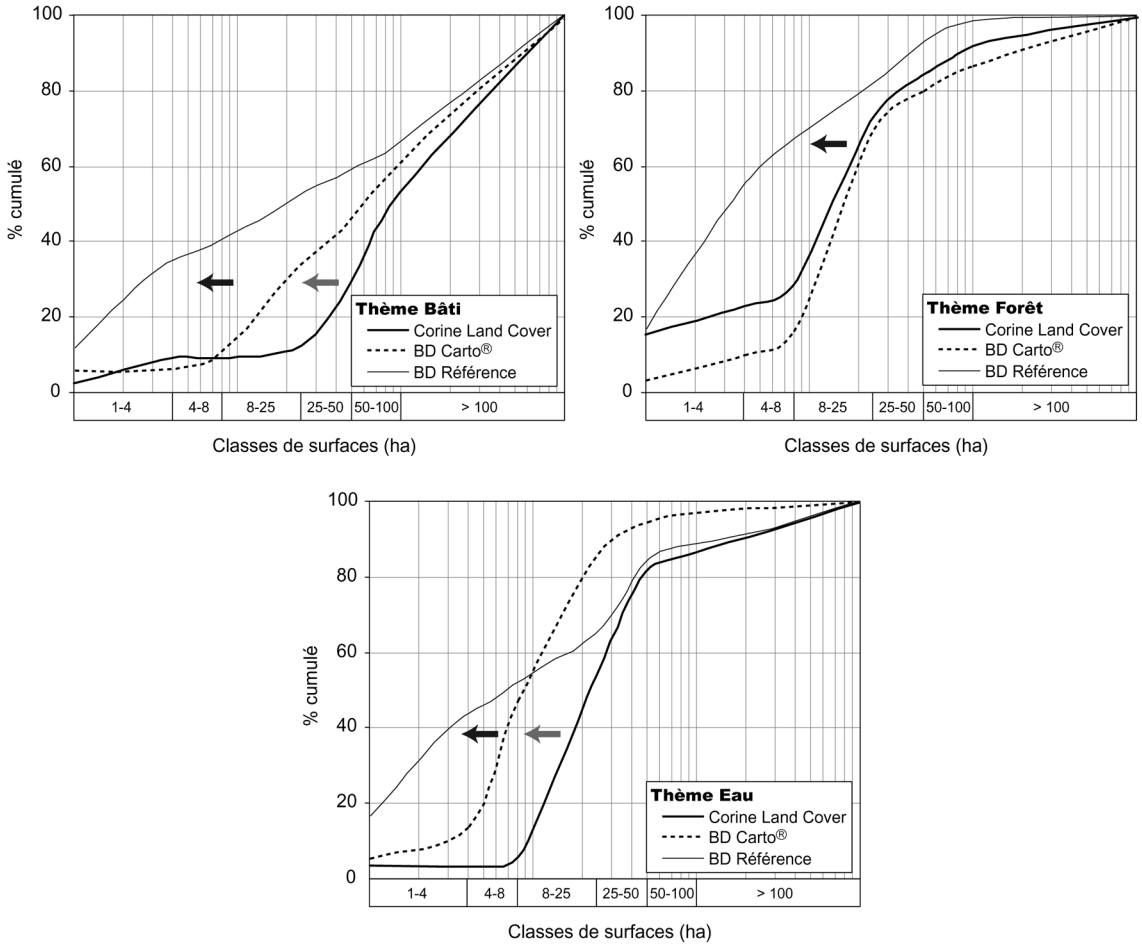
Les trois thèmes (« bâti », « forêt » et « eau ») représentent respectivement 53% de la surface totale de la CUS pour CLC, 51% pour la BD CARTO® et 48% pour la BD Référence.

5.1.2.2.1 Analyse de la cohérence logique : la granulométrie

Les courbes granulométriques qui représentent les pourcentages cumulés de sept classes de surfaces (moins de 1 ha, de 1-4 ha, de 4-8 ha, de 8-25 ha, de 25-50 ha, de 50-100 ha et plus de 100 ha) sont présentées à la Figure 5.3 pour les bases de données CLC, BD CARTO® et BD Référence. Elles permettent d'identifier deux types de comportements liés aux critères de production des bases de données. Les courbes granulométriques de **CLC** et de **BD CARTO®** sont typiques de **granulométries uniformes** (les classes 8-25ha et 25-50 ha représentent 60 à 70% du nombre d'objets) ; celle de **BD Référence** est caractéristique d'une **granulométrie étalée.** Une granulométrie uniforme est révélatrice de la présence de polygones de grandes surfaces (taille > 25 ha). Si la tendance générale est identique pour ces deux bases, les petites surfaces de BD CARTO® sont toutefois deux fois plus représentées, notamment pour le thème « eau », que celles de CLC. A l'opposé, une granulométrie étalée indique une meilleure répartition des différentes tailles de polygones.

L'analyse des courbes granulométriques met en évidence trois comportements différents selon le thème. Pour le **thème « bâti »**, les seuils de surfaces minimales apparaissent clairement (8 ha pour BD CARTO® et 25 ha pour CLC). Les deux BD sont sous-estimées par rapport à BD Référence pour les surfaces < 50 ha. Pour le **thème « forêt »**, CLC et BD CARTO® sont très proches. Elles sont toutefois sous-estimées par rapport à BD référence pour les surfaces < 25 ha. De plus, la granulométrie minimale de CLC (théorique de 25 ha) n'est pas respectée avec plus de 20% de surfaces < 8 ha. Enfin, pour le thème « eau », CLC et BD CARTO® sous-estiment BD Référence pour les surfaces < 8 ha. Par contre, pour les surfaces > 8 ha, BD CARTO® surestiment BD Référence, alors que CLC s'en rapproche.

Ces résultats montrent une plus grande finesse et richesse de la BD Référence avec une plus grande uniformité de la répartition de la taille des polygones. De la même manière, la BD CARTO® dispose d'une granulométrie plus fine que CLC. La complémentarité entre ces deux bases est donc réelle.



Figures 5.3 - Courbes granulométriques cumulatives (échelles logarithmiques).

5.1.2.2.2 Analyse de l'exhaustivité et de la précision sémantique : les matrices de confusions

Les matrices de confusions sont calculées dans un premier temps entre les deux bases de données issues d'images satellites (Tableau 5.4a) et dans un deuxième temps, entre la BD Référence et chacune des deux bases, respectivement CLC (Tableau 5.4b.) et BD CARTO® (Tableau 5.4c.).

Les résultats du tableau 5.4a indiquent un pourcentage de « bonne correspondance » élevé (90%) entre les bases CLC et BD CARTO®, particulièrement pour le thème « bâti » ; par contre, les confusions sont importantes pour les thèmes « forêt » et « eau ». Ces confusions peuvent être le résultat d'un effet multi-date, d'un effet d'interprétation, d'erreurs d'interprétation ou encore de décalages entre les deux bases (cf. § 5.1.2.2.4)

L'analyse des matrices de confusions entre la BD Référence et chacune des deux bases indiquent également un pourcentage de « bonne correspondance » supérieur à 90%, avec un pourcentage très élevé pour la BD CARTO® (97.24%).

Le thème « bâti » est le mieux représenté, alors que les thèmes « forêt » et « eau » présentent en moyenne 50% de confusions pour CLC et moins de 20% pour la BD CARTO®. Pour CLC, le thème « eau » est confondu à plus de 40% avec le thème « bâti ».

En effet, comme le montre la Figure 5.4 (thème forêt), toute la zone du Rhin Est de la CUS (en bordure du Rhin) est classée en forêt, alors que la largeur du Rhin atteint près de 1000 m.

Tableau 5.4 - Matrices de confusion**.**

a.	(%)	**BD CARTO®**		
		Bâti	Forêt	Eau
CLC	Bâti	**95.97**	20.00	30.94
	Forêt	1.77	**69.09**	34.34
	Eau	2.26	10.91	**34.72**
	Total	100	100	100
		Précision globale : 90.71%		

b.	(%)	**CLC**		
		Bâti	Forêt	Eau
BD REF	Bâti	**96.93**	17.06	41.51
	Forêt	0.22	**52.13**	11.32
	Eau	2.85	30.81	**47.17**
	Total	100	100	100
		Précision globale : 91.96%		

c.	(%)	**BD CARTO®**		
		Bâti	Forêt	Eau
BD REF	Bâti	**98.45**	6.71	11.81
	Forêt	1.15	**88.41**	1.27
	Eau	0.40	4.88	**86.92**
	Total	100	100	100
		Précision globale : 97.24%		

En conclusion, certaines confusions s'expliquent par la taille des surfaces minimales retenues par chacune des bases (essentiellement pour la largeur des cours d'eau). Gardons à l'esprit que l'occupation du sol est une information géographique fortement interprétée, à manipuler avec beaucoup de précaution. En particulier les thèmes mixtes, tels que « *les territoires partiellement occupés par* », qui peuvent faire l'objet d'interprétation tant dans leurs limites avec d'autres zones que dans leur affectation.

5.1.2.2.3 Identification des isolats

Le tableau 5.5 détaille les statistiques sur ces isolats, sur un extrait de la CUS (centré sur les zones bâties), et la Figure 5.4 illustre les différents thèmes avec les polygones communs aux trois bases de données et les isolats de chacun des thèmes.

Tableau 5.5 - Statistiques des isolats sur un extrait de la CUS.

		Bâti	**Forêt**	**Eau**
Surfaces totales (%)	**BD Réference**	89	5	6
	CLC	88	7	5
	BD CARTO®	87	7	6
Isolats (%)	**BD Référence**	9.40	14.31	28.48
	CLC	18.17	34.70	35.68
	BD CARTO®	15.95	32.92	23.95
% commun	**Commun**	56.49	18.07	11.89

Plus de la moitié des surfaces bâties sont communes aux trois bases, contre moins de 20% pour les thèmes « forêt » et « eau ». Un pourcentage d'isolats plus élevé indique une plus grande finesse de la base. Ainsi, le thème « eau » est plus détaillé dans BD Référence et BD CARTO® (plus de 70% d'isolats), alors que le thème « forêt » est plus détaillé dans les bases CLC et BD CARTO®. Pour le thème « bâti », la plus faible importance des isolats peut s'expliquer par une différence d'interprétation des thèmes. Par exemple, BD Référence ne tient pas compte des surfaces de communication dans le thème « bâti ».

L'analyse des isolats confirme la complémentarité entre les bases en termes de granulométrie. Ainsi, la complémentarité entre les bases CLC et BD CARTO® notamment pour les thèmes « eau » et « végétation » est réelle. Pour le thème « bâti », les isolats de CLC et dans une moindre mesure de BD CARTO®, s'expliquent par la surface minimale plus importante et la prise en compte des zones industrielles et commerciales.

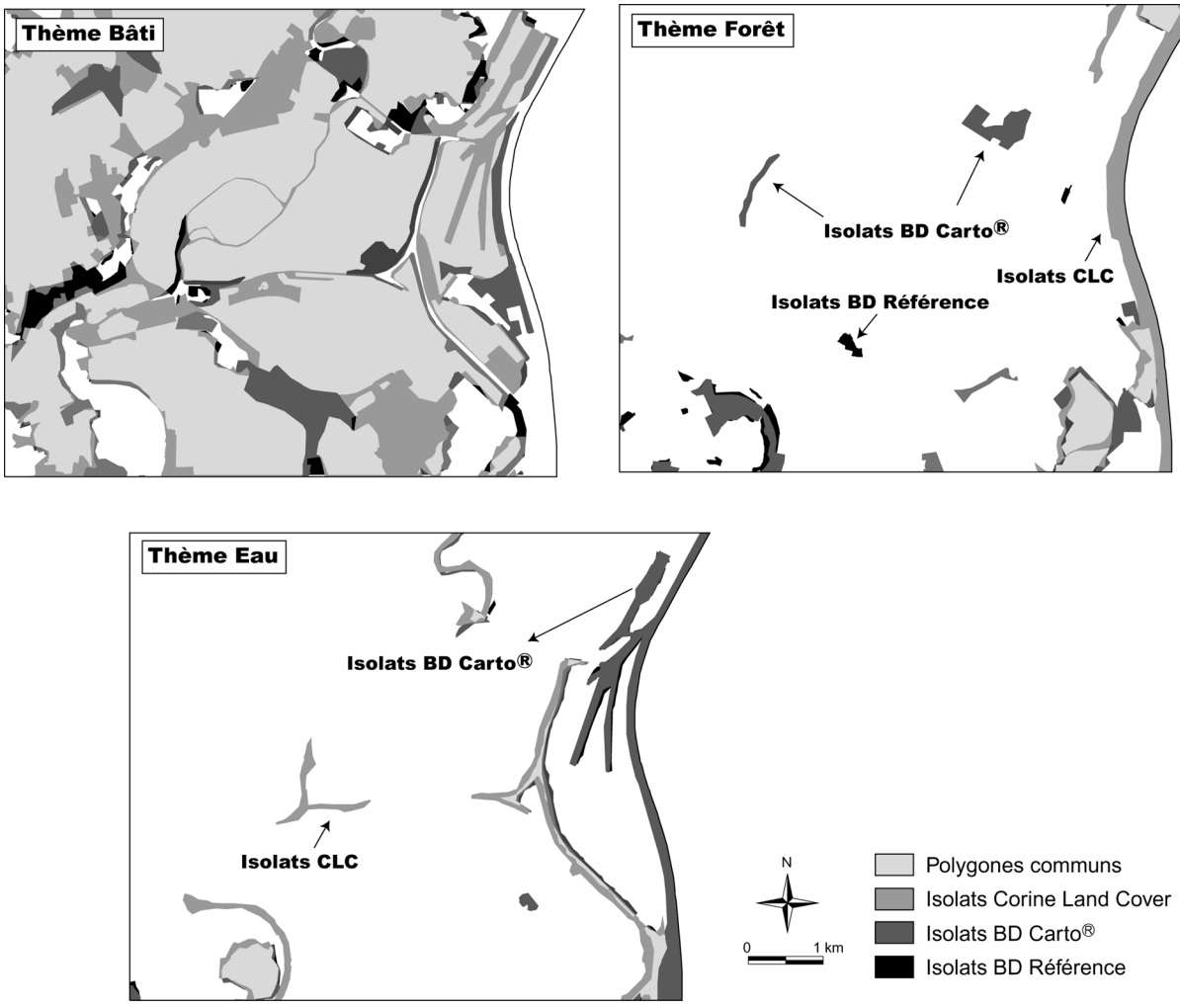


Figure 5.4 - Identification des isolats sur un extrait de la CUS (centre ville).

5.1.2.2.4 Analyse de la précision géométrique : le décalage

Le décalage entre deux couches est le critère le plus important pour l'utilisation conjointe de plusieurs couches d'information. Essentiellement lié à la méthode de production des bases de données, il permet d'apprécier leur **précision géométrique**.

Les résultats des mesures réalisées sur l'ensemble de la CUS, sur les trois thèmes, à partir d'une trentaine de points remarquables (Figure 5.5), mettent en évidence un décalage de 70 m à 100 m entre la BD CARTO® et CLC. Les mesures effectuées avec la couche de référence indiquent un décalage de 30 à 50 m, pour les 3 thèmes avec la BD CARTO®, et un décalage de 100 m et plus avec CLC. Les décalages les plus importants pour le thème « eau » confirment les pourcentages élevés d'isolats dans la base de référence et la BD CARTO®. Ces résultats confirment les conclusions de l'étude du CERTU (Coudercy, 1997) dont une des zones tests portait sur la partie Nord de Strasbourg. Le décalage entre les bases CLC et BD CARTO® viendrait d'une erreur au moment de la digitalisation et serait limité à l'Alsace. Au-delà de 100 m, les résultats de calage sont considérés comme « mauvais » (Coudercy, 1997).

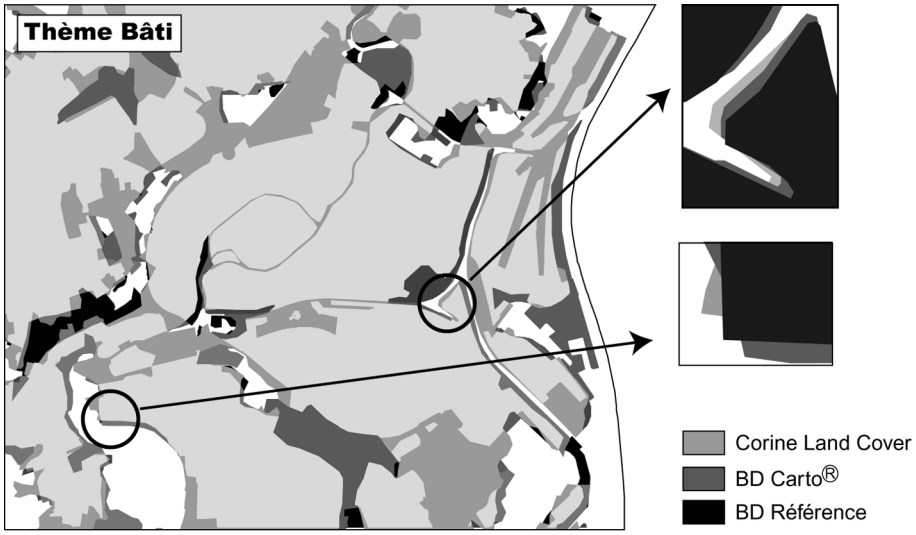


Figure 5.5 - Exemples de mesures de décalage.

Les nomenclatures disponibles permettent d'identifier des zones homogènes du 1/50 000e au 1/100 000e et non des objets urbains au sens strict du terme (défini § 1.2.3). Les différents tests réalisés permettent d'évaluer, selon les critères définis par Coudercy (1997), la qualité « moyenne » des thèmes « eau » et « végétation », et la qualité « médiocre » du thème « bâti » dans les bases disponibles, par rapport à la BD Référence. Les courbes granulométriques confirment que des processus de fabrication différents conduisent à des divergences d'interprétation des classes. Les pourcentages de confusions élevés et les problèmes d'interprétation dus à des nomenclatures différentes sont « criantes » pour le thème « bâti » (analyse des isolats). De plus, même si CLC et BD CARTO® apparaissent complémentaires, elles restent très difficilement utilisables dans une même étude, notamment pour l'analyse des changements d'occupation du sol.

En conclusion, les nomenclatures issues d'images satellites permettent d'identifier des zones homogènes d'occupation du sol pour **les thèmes « forêt » et « eau »** (**adéquation** offre – demande). Par contre, pour le **thème « bâti »**, les nomenclatures ne sont pas adaptées (**inadéquation** offre – demande).

5.1.2.2 Qualité des bases données issues des photographies aériennes

L'unique base de données réalisée à partir de photographies aériennes, est la BD TOPO® de l'IGN (1989). Dans les deux premiers tests, les objets urbains de la BD TOPO® (Annexe 4.6) ont été com-

parés aux objets urbains issus de la proposition du dictionnaire de données (Figure 3.15). Dans le troisième tests, ils ont été superposés à une **base de donnée de référence, appelée** BD CUS, élaborée par restitution photogrammétrique à une échelle du **1/200e** à partir d'orthophotographies numériques à 20 cm, regroupant à part égale des bâtiments publics (150) de type « bâti » et « industrie » (CUS, 1998).

Le **premier test** a consisté à identifier les **objets communs**, et les **objets spécifiques** à chacune des bases de données. Il permet de vérifier l'**exhaustivité et la précision sémantique** de la nomenclature de la BD TOPO®. La comparaison porte sur les objets des trois thèmes communs (les plus utilisés) : les bâtiments et leurs équipements divers, les espaces végétalisés et le transport avec ses équipements (Tableau 5.6).

Tableau 5.6 – Catégories thématiques des objets urbains comparés.

	BD TOPO® (1989) (83 objets)	**DICTONNAIRE DE DONNEES : Objets de référence** (119 objets)
Bâtiment et équipements	Bâtiments Equipements divers	Bâtiment/construction Equipement
Espaces végétalisés	Végétation	Espaces végétalisés
Transport et équipements	Voies de communication Voies ferrées, et transport d'énergie	Transport et mobilier urbain

Les résultats de ce premier test montrent que 70 objets de la BD TOPO® sont communs aux objets demandés, soit près de **60% des objets de référence**. Les objets urbains spécifiques à la BD TOPO® concernent certaines catégories de végétation non présentes en milieu urbain (mangrove , cannes à sucre, etc).

Les objets urbains de référence **absents dans la BD TOPO®** rassemblent des objets dont la localisation (récupérateurs de déchets) ou la morphologie (taille des arbres) varient dans le temps. Cette absence s'explique également par la date de digitalisation des objets (mise à jour irrégulière) ou la non-visibilité sur les photographies aériennes. En effet, si certains objets ne sont déjà pas reconnaissables sur des photographies aériennes, il est peu probable qu'ils le soient à partir d'images satellites même THR. Ils rassemblent :

- pour le thème « bâtiments et équipements divers » : des objets du mobilier urbain (abri bus, bancs, poubelles publiques, horodateurs), des objets liés à l'assainissement (plaque d'égout, grille de ventilation), ou à l'environnement (récupérateurs de déchets spécifiques) ;
- pour le thème « espaces végétalisés » : les arbres de diamètres différents, les massifs floraux, les jardins privés, les espaces verts publics ;
- pour le thème « transport et équipements » : les glissières de sécurité, les parcs à vélo.

Les objets urbains qui distinguent le public du privé (essentiellement pour les bâtiments, les espaces verts) sont également absents de la BD TOPO®. Rappelons que son mode de production ne permet pas de distinguer ces objets. En effet, il est clair qu'aucune fonction, ni notion de propriété ne peut être décelée à partir des photographies aériennes. Il faut donc garder à l'esprit que la **description du bâti** dans la BD TOPO® correspond à une **description physique** où chaque objet désigné comme « **bâtiment quelconque** » se limite à un bloc de bâtiments visibles sur les photographies aériennes. Le bâti se limite donc à décrire l'occupation de l'espace.

Dans le **deuxième test**, la **complémentarité sémantique des nomenclatures** a été vérifiée en superposant la BD CARTO® (référentiel au 1/100 000e) à la BD TOPO® (1/25 000e) (Figure 5.6). Les classes « bâtiments quelconques » et « bâtiments industriels ou agricoles » de la BD TOPO® ont été comparées aux classes de « bâti » et « zones industrielles, commerciales, de communication ou de loisirs » (rebaptisée « industrie ») de la BD CARTO®.

La matrice de confusion (Tableau 5.7) indique une bonne correspondance pour les classes de « bâti ». Par contre, de nombreuses confusions sont observées pour les bâtiments de type « industrie » (Figure 5.6).

Tableau 5.7 - Matrices de confusion**.**

	%	BD CARTO®	
		Bâti	**Industrie**
BD TOPO®	**Bâti**	**98.61**	62.84
	Industrie	1.39	**37.16**
	Total	100	100

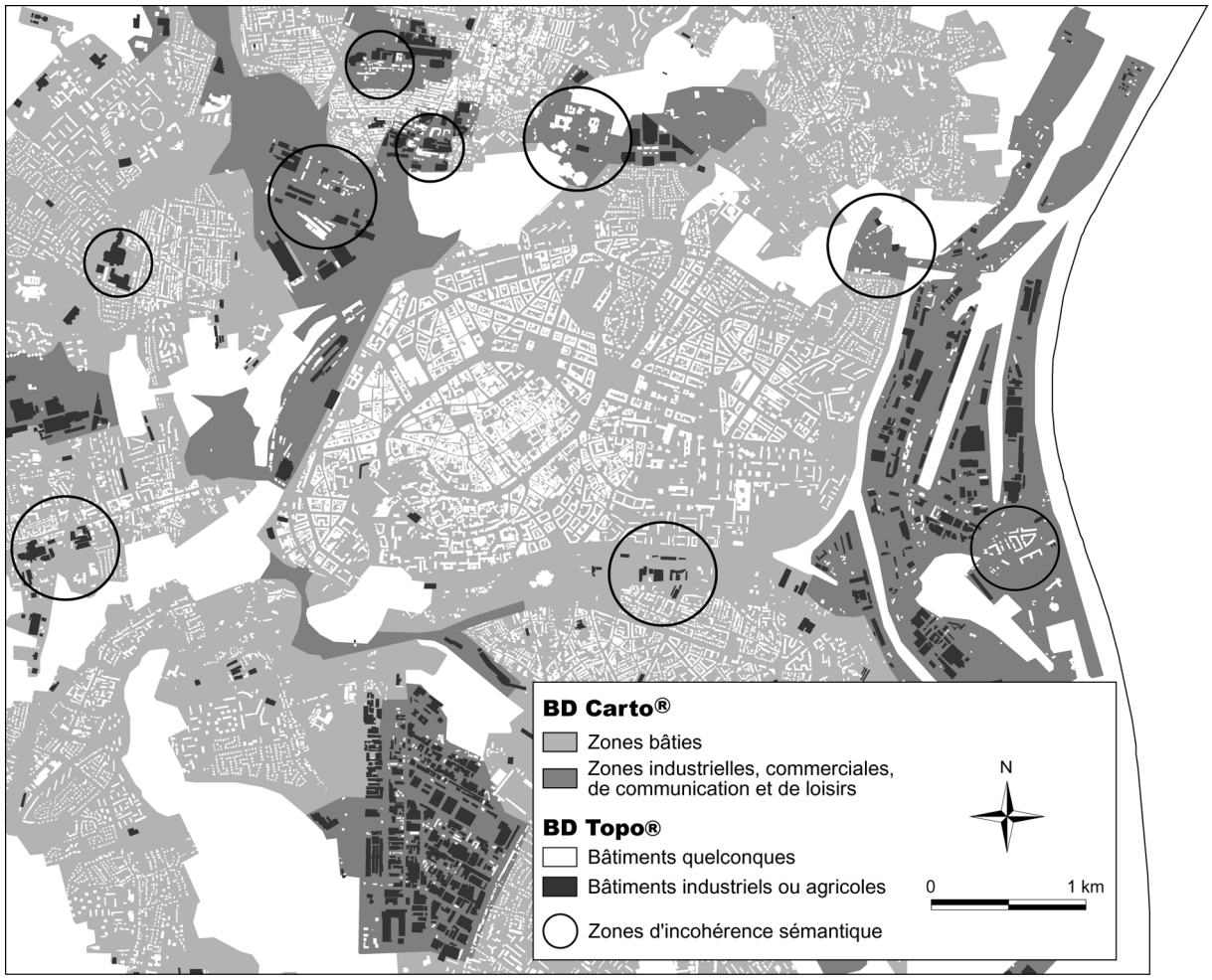


Figure 5.6 –Complémentarité et exemples de confusions entre la BD TOPO® et la BD CARTO® (CUS, centre ville de Strasbourg).

Ces confusions s'expliquent en partie par la taille des surfaces minimales prises en compte pour la constitution de la BD CARTO® (8 ha pour le bâti et 25 ha pour toutes les autres surfaces).

Le **troisième test** a consisté à comparer les **surfaces des bâtiments** de la BD TOPO® avec les surfaces des bâtiments de la BD CUS. Il permet d'évaluer la **cohérence logique** des nomenclatures ainsi que le **décalage entre les deux bases (précision géométrique).**

Près des deux-tiers des surfaces des bâtiments identifiés dans la BD TOPO® sont sous-estimées par rapport aux surfaces de référence. La **sous-estimation** est relevée pour les bâtiments de type **« bâti »** et **« industrie »** dans les mêmes proportions. Elle s'explique par une digitalisation plus détaillée, aboutissant à des surfaces plus grandes (Figure 5.7). De plus, la BD TOPO® datant de 1989, de nombreux bâtiments manquent.

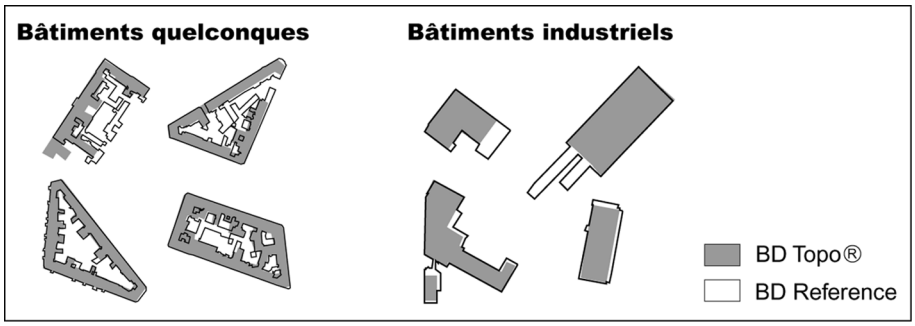


Figure 5.7 – Exemple de sous-estimation des surfaces des bâtiments.

Le décalage entre la BD TOPO® et la BD CUS a été analysé selon la procédure de test détaillée au paragraphe 5.1.2.1. Le décalage moyen calculé sur une cinquantaine de bâtiments, indique une **précision géométrique métrique** en accord avec les spécifications annoncées de la BD TOPO®.

Les différents tests réalisés sur la BD TOPO® ont permis de mettre en évidence les points faibles et les points forts de cette base de données et de sa nomenclature par rapport à des données de référence. Les **points forts** de la BD TOPO® sont la présence du « bâti » dans la mesure où elle est la seule base de données qui peut l'offrir sous cette forme, et la précision métrique, qui renvoie à des gamme d'échelles d'utilisations possibles autour du 1/10 000e (échelle demandée par les utilisateurs).

Les **points faibles** (ou points forts selon le type d'utilisations) concernent (1) la **non-exhaustivité** des objets urbains qui s'explique en partie par une mise à jour irrégulière en raison de la lenteur du processus de fabrication, (2) la **précision sémantique** insuffisamment détaillée des objets urbains de type « bâti »[86], « espaces verts », (3) la **non-interopérabilité** c'est-à-dire la non-correspondance entre les thèmes des autres bases de données offertes par l'IGN (notamment BD CARTO®), et (4) la **précision métrique** qui peut s'avérer insuffisante au regard des applications de l'ordre opérationnel (1/200e au 1/2000e).

Enfin Troipoux (2002) indique d'autres points faibles tels que le manque d'informations parcellaires (le besoin de ce type d'information est important essentiellement pour les applications du 1/200e au 1/2000e) et la taille des fichiers (certaines tables dépassent 100 Mo et deviennent très difficiles à manipuler sur des emprises importantes).

En **conclusion**, si la précision géométrique de la BD TOPO® apparaît suffisante pour des applications de l'ordre du 1/10 000e, la précision sémantique des objets urbains est insuffisante. Les objets urbains identifiés à partir de photographies aériennes ne répondent donc que **partiellement aux besoins** des utilisateurs en milieu urbain (**adéquation partielle offre – demande).**

[86] Il apparaît que la dénomination de « bâtiment quelconque » est trop vague pour beaucoup d'utilisateurs. Une description sémantique plus approfondie est donc nécessaire.

5.2 ADEQUATION ENTRE L'OFFRE ET DE LA DEMANDE EN APPLICATIONS

La demande en applications, classée selon leurs différents niveaux de responsabilité (cf. § 3.3.2.3), et l'offre en applications opérationnelles et en produits à valeur ajoutée dérivés d'images satellites HR (cf. § 4.2.2) ont été comparés. Les résultats sont présentés au Tableau 5.8.

Pour des applications du **niveau de gestion opérationnelle du territoire**, aucun des produits issus de l'image satellite (images brutes ou produits à valeur ajoutée) ne permet d'atteindre des échelles du 1/200e au 1/2000e. Seules les **orthophotographies** sont utilisées et le seront probablement encore longtemps car les politiques spatiales, française et européenne, ne permettront pas de développer des satellites de résolution spatiale décimétrique, avant plusieurs décennies (cf. § 2.2.2). Pour des applications du **niveau tactique**, avec des échelles de l'ordre du 1/5000e au 1/10 000e, les **photographies aériennes** (analogiques ou numériques) sont les produits images les plus utilisés ; les applications qui utilisent des images satellites HR font encore partie du domaine de la recherche (images IRS). Enfin, pour des applications du **niveau stratégique**, des **produits** de type base de **données vecteurs** et **produits cartographiques d'analyse** (carte de densité, carte de changements…) dérivées à partir d'images satellites HR sont proposés uniquement à des **échelles de 1/25 000e au 1/50 000e** (et plus). Toutefois, un **décalage** est observé en terme d'échelle car les utilisateurs ont besoin de données d'occupation du sol mais à des échelles du 1/5000e au 1/10 000e (niveau tactique), avec des nomenclatures compatibles avec les documents réglementaires.

L'analyse de la demande a également montré que l'image satellite HR est très peu utilisée comme support de communication et d'aide à la décision par son manque de « visibilité » (résolutions spatiales et fausses couleurs) par le grand public et les élus. Les **photographies aériennes** sont donc encore largement utilisées pour ces utilisations.

Tableau 5.8 – Applications et produits images utilisés (aériennes ou satellites HR).

Applications	Echelles	Données images brutes	Produits à valeur ajoutée dérivés de l'image
Niveau opérationnel :			
- Aménagement technique	1/200e au 1/500e	Orthophotographies	/
- Cartographie de base	1/1000e au 1/2000e	Orthophotographies	/
Niveau tactique : Planification du territoire	1/5000e au 1/10 000e	Orthophotographies	/
Niveau stratégique : Prospective	1/10 000e au 1/1000 000e	Orthophotographies IRS, SPOT, LANDSAT	Base de données vecteurs Cartes « d'analyse »

En résumé, les applications et les produits à valeur ajoutée dérivés des images satellites HR ne répondent que très partiellement à la demande des utilisateurs, plus particulièrement pour des études régionales sur l'occupation du sol et l'analyse de ces changements. Il n'y a donc **pas** de véritable **adéquation entre l'offre et la demande** du point de vue des **applications et de la définition des produits à valeur ajoutée**, pour les utilisateurs du milieu urbain.

5.3 DISCUSSIONS ET CONCLUSIONS

Avant de conclure sur l'adéquation entre l'offre et la demande, en termes d'objets urbains, d'applications et de produits à valeur ajoutée dérivés des images satellites HR, quelques réflexions s'imposent.

La **prise en compte des besoins des utilisateurs** est indispensable pour faire évoluer l'offre car une nouvelle offre modifiera la demande, qui elle-même diversifiera l'offre en produits. Une **spirale offre/demande** est initiée (Figure 5.8), dont « l'impulsion initiale » correspond à une offre en produits. Dans le cas de la télédétection urbaine, l'impulsion initiale date du lancement des premiers satellites HR (LANDSAT et SPOT), au début des années 80 (cf. § 4.1.1.3). L'offre peut uniquement évoluer si les producteurs et distributeurs connaissent l'adéquation de leur offre à la demande. Dans ce cadre, la **deuxième partie** de ce travail (chapitres 3 à 5) a comparé l'offre à la demande générée par une offre initiale (satellites HR). La **troisième partie** identifiera les **caractéristiques techniques et thématiques** à prendre en compte pour faire évoluer l'offre en images satellites et en produits à valeur ajoutée dérivés, et vérifiera si les satellites THR répondent à la demande actuelle des utilisateurs en milieu urbain.

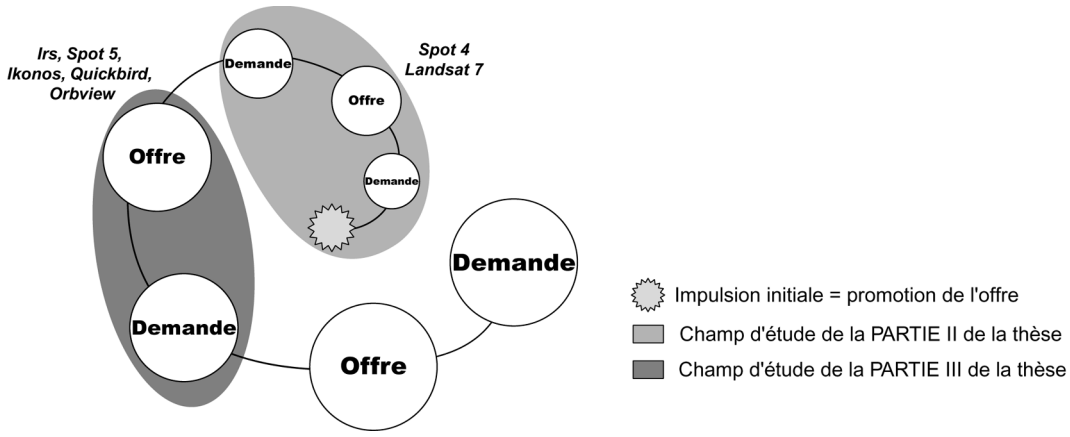


Figure 5.8 - Instigation d'une spirale offre/demande en télédétection urbaine (modifié du Centre de développement de la géomatique, 1997).

L'utilisation « pratique » de l'image satellite et de ses produits dérivés dans des applications urbaines ne pourra s'effectuer que par l'intermédiaire de l'outil SIG. La **synergie entre les SIG et la télédétection** est réelle. Les développeurs de logiciels SIG ont réalisé, depuis la fin des années 90, de très gros efforts pour intégrer des fonctionnalités « images » dans leurs produits (affichage, conversion raster/vecteur, module d'analyse en raster, analyse intégrée raster/vecteur) et ont mené des approches marketing communes avec les fournisseurs d'images. Les distributeurs de données tentent quant à eux de faire évoluer leur offre, par exemple, par le développement de produits cartographiques disponibles sur étagère (bases de données d'occupation du sol) ou la mise en place de licences multi-utilisateurs (progrès marketing).

Les résultats des différents tests ont montré que les images satellites actuelles HR peuvent jouer un rôle important, en termes de précision, d'échelle et de mise à jour, pour l'**identification de zones**

homogènes du **1/25 000e au 1/50 000e** dans des **applications de niveau stratégique**, par la production de bases de données d'occupation du sol ou de cartes de synthèse. Certains utilisateurs ont modifié leurs pratiques et utilisent des images satellites HR pour étudier les changements du milieu urbain au niveau global (échelle de l'agglomération). Or, l'analyse de la demande a montré que les utilisateurs sont principalement intéressés par la discrimination d'**objets urbains,** à des échelles du **1/200e au 1/10 000e,** plutôt que par une information par zone.

Les **nomenclatures** disponibles issues d'**images satellites HR** (CLC, BD CARTO®) ne répondent pas aux besoins des utilisateurs (**inadéquation des classes).** Les résultats des tests de qualité des bases de données disponibles ont montré que si les thèmes « forêt » et « eau » répondent partiellement aux besoins, le thème « bâti » présente des divergences importantes (nomenclatures et interprétations de classes différentes). De plus, les **produits** issus de **photographies aériennes** (BD TOPO®) ne répondent que **partiellement aux besoins** car si la précision géométrique est suffisante pour atteindre des échelles du 1/10 000e, la précision sémantique est encore insuffisante (nature, forme, …).

Les utilisateurs ont également besoin d'une grande exhaustivité sur les objets urbains, qui impose une **mise à jour régulière**. Si la périodicité peut être variable selon le type d'applications urbaines, une mise à jour annuelle apparaît toutefois comme une périodicité « minimale ». Les **produits à valeur ajoutée** actuels ne répondent pas à ce besoin car ils sont le résultat d'un processus de production (manuel à semi-automatique) très long, en raison de l'assurance qualité demandée par les utilisateurs et des moyens financiers et organisationnels attribués à cette tâche. Une anticipation de la demande par la réalisation de « vols spéculatifs » et la participation d'organismes privés permettraient, par exemple, d'assurer une disponibilité des produits dans des délais plus courts (cf. § 3.3.2.1.2).

Les **résolutions spatiales** des capteurs HR **ne répondent pas** aux besoins des utilisateurs car les échelles du 1/200e au 1/10 000e sont encore impossibles à atteindre par les images satellites HR actuelles. Par ailleurs, il est peu probable que les images satellites THR atteignent des résolutions centimétriques. Dès lors, l'identification des objets urbains du 1/200e au 1/2000e fera encore longtemps partie du domaine de la photographie aérienne ; par contre, la multiplication des images THR métriques à décimétriques permettra-t-elle d'atteindre des échelles du 1/5000e au 1/10 000e, c'est ce que nous allons vérifier dans la partie 2 de ce travail.

En conclusion, **l'offre en capteurs HR actuels ne permet pas de satisfaire la majorité des besoins des utilisateurs** en termes d'objets urbains, et de produits à valeur ajoutée (hypothèse générale première partie). Cette situation est identique à l'échelle nationale pour les données géographiques. En effet, la France a accumulé un certain retard dans la production de son référentiel au 1/25 000e et ne dispose pas de données homogènes sur l'ensemble de son territoire à grande échelle, notamment en raison des conflits entre l'IGN et la DGI (cf. § 2.1). Dans le cadre des réflexions en cours sur la production du RGE (prévue en 2007) et des actions entreprises par le gouvernement en matière de décentralisation sur l'usage de l'information géographique (création d'un Schéma Directeur de l'Information Géographique, approuvé en juin 2003), des efforts soutenus sont indispensables afin que tous les producteurs de données tiennent compte des besoins des utilisateurs en milieu urbain.

La demande des utilisateurs formalisée devient plus précise au fur et à mesure qu'elle se diversifie et évolue vers une **augmentation de la résolution spatiale**, pour bénéficier de plus de précision et vers une augmentation du nombre de canaux, pour une meilleure discrimination du territoire et une meilleure visualisation et représentation pour les élus et le grand public.

Les **attentes** en termes d'applications thématiques concernent la morphologie du bâti (collectif, individuel, hauteur, emprise au sol, transformations), les espaces verts interstitiels, le mitage des milieux naturels, l'analyse des friches urbaines, le stationnement des véhicules, le taux de remplissage « des zones d'extensions » (habitat, activités,...), la création de données en 3D, mais aussi une production de produits dans des **délais courts**, une **accessibilité facilitée** aux catalogues de produits…

Pour pallier ces inadéquations, répondre aux besoins des utilisateurs et favoriser l'utilisation des images satellites et des produits à valeur ajoutée dérivés en milieu urbain, **quelques recommandations** s'imposent. En effet, les utilisateurs modifieront leurs **pratiques urbaines** (outils, méthodes), uniquement si les nouvelles sources proposées présentent de réels avantages (y compris dans les coûts d'acquisition, et de reproduction,...), en termes de :

- définition **d'une nomenclature adaptée** au **1/10 000e**, échelle de travail définie comme la plus utilisée, en milieu urbain ;
- mise au point de **chaînes de traitements** des **produits à valeur ajoutée** adaptées aux thématiques (applications) des utilisateurs en milieu urbain ;
- automatisation des **processus de production** (raccourcissement des délais de production tout en assurant une qualité intrinsèque adaptée aux besoins).

Ceci nécessite de préciser les **caractéristiques techniques** (résolution spatiale, spectrale, répétitivité) d'un capteur qui permettrait d'identifier des objets urbains (définis dans la nomenclature) à des échelles du 1/5000e au 1/10 000e. Pour cela, il est indispensable d'identifier les caractéristiques intrinsèques des objets urbains permettant de les différencier de manière univoque.

La définition des caractéristiques techniques dépend des potentialités actuelles des nouveaux satellites THR. Les demandes liées à la résolution spatiale sont moins critiques depuis quelques années, en raison de l'augmentation de l'offre en images satellites THR disponibles depuis peu (IKONOS-2, QUICKBIRD-2, SPOT 5) ou dans un futur proche (ORBVIEW-3). En effet, ils devraient permettre le développement, la multiplication d'applications et de produits à valeur ajoutée adaptées aux besoins du milieu urbain.

Mais quelle est l'utilité « réelle » de ces images THR récentes, quelles sont les applications opérationnelles et les produits qui pourront être atteints ? Très peu d'études existent, dans ce domaine, qui ont testé l'utilité des ces images pour répondre aux besoins des utilisateurs en milieu urbain.

Avant de répondre à ces questions dans la troisième partie de ce travail, nous allons proposer une nomenclature adaptée à l'échelle du 1/10 000e à partir des objets urbains demandés par les utilisateurs (Figure 3.15) et des seuils de résolution minimale définis pour leur identification (§ 5.1.1).

Elaboration d'une nomenclature adaptée aux besoins en milieu urbain au 1/10 000e

Dans cette section, une nomenclature adaptée aux besoins au 1/10 000e a été élaborée à partir de la proposition de dictionnaire des données (Figure 3.15) et des nomenclatures existantes, en tenant compte des critères « qualité » définis § 5.1.2. Elle a été construite en tenant compte des thèmes exclusivement présents en milieu urbain : **surfaces artificialisées** incluant les espaces végétalisés intra-urbain aménagé). Elle se décline en cinq niveaux pour être compatible avec les nomenclatures existantes (CLC, BD CARTO®, SPOT Thema, MURBANDY).

Dans un premier temps, les objets urbains identifiables avec une résolution minimale entre 1 et 5 m ont été sélectionnés comme « objets urbains de base » à la nomenclature. Ensuite, une réflexion sur leur agencement a permis de les « traduire » dans un niveau de nomenclature détaillé qui correspond à une identification au 1/10 000e (Niveau 5). Trente-cinq classes ont été identifiées qui regroupent des tissus urbains (cf § 1.2.2.4), des surfaces fonctionnelles (cimetières, emprises hospitalières, emprises scolaires, …) et des objets/zones biophysiques (arbres, sols nus, …). Les niveaux supérieurs consistent en un regroupement des objet/zones des niveaux les plus détaillés. Le tableau 5.9 présente les **trente-cinq classes** réparties dans les **cinq niveaux** : le niveau I est conçu pour une utilisation au 1/100 000e, le Niveau II convient pour des échelles du 1/50 000e au 1/100 000e, le niveau III pour du 1/25 000e au 1/50 000e, et le niveau IV est adapté au 1/25 000e. La significations de l'ensemble des classes est détaillée en Annexe 5.2.

Tableau 5.9 - Nomenclature des objets urbains destinée à une utilisation au 1/10 000e.

Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4	Niveau 5
1. Surfaces artificialisées	1.1 Zones urbanisées à vocation résidentielle	1.1.1 Tissu urbain continu	1.1.1.1 Tissu urbain continu dense	/
			1.1.1.2 Tissu urbain continu peu dense	/
		1.1.2 Tissu urbain discontinu	1.2.1.1 Tissu urbain de type pavillonnaire individuel	1.2.1.1.1 Pavillonnaire dense
				1.2.1.1.2 Pavillonnaire à densité moyenne
				1.2.1.1.3 Pavillonnaire à faible densité
			1.2.1.2 Tissu urbain de type collectif	1.2.1.2.1 Petit collectif
				1.2.1.2.2 Grands ensembles
			1.2.1.3 Tissu urbain de type mixte	/
		1.1.3 Espaces urbains spécialisés	1.1.3.1 Espaces urbains spécialisés	1.1.3.1.1 Cimetière
				1.1.3.1.2 Emprises militaires
				1.1.3.1.3 Emprises scolaires et universitaires
				1.1.3.1.4 Emprises hospitalières
				1.1.3.1.5 Autres
	1.2 Zones urbanisées à vocation industrielles, commerciales et de transport	1.2.1 Emprises commerciales, industrielles et tertiaires	1.2.1.1 Zones industrielles	/
			1.2.1.2 Zones commerciales	/
			1.2.1.3 Parcs technologiques et zones d'activité tertiaires	/
			1.2.1.4 Emprises liées à l'activité d'extraction	/
		1.2.2 Réseaux de communication et emprises associées	1.2.2.1 Réseau routier et emprises associées	1.2.2.1.1 Réseau routier
				1.2.2.1.2 Emprises des espaces routiers
			1.2.2.2 Réseau ferroviaire et emprises associées	1.2.2.2.1 Réseau ferré
				1.2.2.2.2 Emprises des espaces ferrés
			1.2.2.3 Emprises aériennes	/
			1.2.2.4 Emprises portuaires	/
	1.3 Espaces verts artificialisés (non agricoles)	1.3.1 Espaces verts urbains	1.3.1.1 Surfaces arborées	1.3.1.1.1 Arbre isolé
				1.3.1.1.2 Alignement d'arbres
				1.3.1.1.3 Groupement d'arbres
			1.3.1.2 Surfaces en herbe non agricole	/
			1.3.1.3 Surfaces mixtes ou spécialisées	1.3.1.3.1 Parcs, jardins, squares
				1.3.1.3.2 Jardins de l'habitat discontinu
				1.3.1.3.3 Jardins ouvriers ou familiaux
		1.3.2 Equipements sportifs et de loisirs	/	/
		1.3.3 Ruines, châteaux et espaces associés	/	/
	1.4 Espaces libres	1.4.1 Espaces libres	1.4.1.1 Espaces libres	1.4.1.1.1 Sols nus
				1.4.1.1.2 Friches industrielles
				1.4.1.1.3 Sites en construction

3ème PARTIE

MODIFICATIONS INDUITES PAR LA THR : QUALIFICATION DU PRODUIT-SYSTEME, DES OBJETS URBAINS ET DEMARCHE METHODOLOGIQUE

Chapitre 6 :

VERS LA DEFINITION D'UN PRODUIT-SYSTEME OPERATIONNEL EN MILIEU URBAIN

SOMMAIRE

INTRODUCTION 219

6.1 QUALITE GEOMETRIQUE ET RESOLUTION SPATIALE OPTIMALE 220

6.1.1 Qualité géométrique des images THR 220
6.1.2 Echelle et Résolution spatiale optimale 224

6.2 QUALITE SPECTRALE DES IMAGES 230

6.2.1 Vérification la qualité spectrale des images fusionnées 231
6.2.2 Qualité intrinsèque des bandes spectrales et utilité pour différencier des objets urbains 237
6.2.3 Optimisation du canal Panchromatique 244

6.3 QUALITE STEREOSCOPIQUE 249

6.3.1 Images disponibles et méthodologie du test de stéréoscopie 250
6.3.2 Analyse des résultats du test de stéréoscopie 250

6.4 CONCLUSION ET DISCUSSION 252

Puissant A., Ranchin T., Weber C., Serradj A., 2003b, Fusion of Quickbird MS and Pan data for urban studies, *EARSeL Symposium*, 2-5 June 2003, Gent, Belgium, 6 p.

INTRODUCTION

Répondre aux besoins des utilisateurs en milieu urbain nécessite de préciser les **performances opérationnelles** d'un capteur optique, en termes de précision géométrique, de résolution (spatiale, spectrale, temporelle), de stéréoscopie et de couverture spatiale. Il s'agit de déterminer les spécifications d'un produit de base (cf. § 4.1) aussi appelé « **produit-système** », afin d'atteindre des échelles du 1/10 000e au 1/2000e, utiles pour les applications urbaines. La définition de ces caractéristiques techniques rejoint la problématique du CNES, dans le cadre de la rédaction des spécifications de PLEIADES-HR (composante optique de ORFEO – cf. § 4.1.1.3.3).

Dans ce contexte, la qualité intrinsèque d'images THR disponibles (QUICKBIRD) et de simulations issues du programme PLEIADES-HR a été testée en termes de qualité géométrique et de résolution spatiale (§ 6.1), de résolution spectrale (§ 6.2) et de stéréoscopie (§ 6.3). Les images mises à disposition par le CNES ou acquises par le Laboratoire Image et Ville sont résumées au Tableau 6.1.

Tableau 6.1 – Simulations et images mises à disposition par le CNES et acquises par Image et Ville.

Images / Date de prise de vue	Zone Géographique	Résolution spatiale	Résolution spectrale	Codage Radiométrqiue	Code identification	Tests
Simulations (CNES) ARAT[1] Octobre 1997	Strasbourg Quartier Est	1 m	V : 0.49 – 0.61 µm R : 0.60 – 0.72 µm PIR : 0.75 – 0.95 µm Pan : 0.50 – 0.85 µm	8 bits	Push_c1 Push_c2 Push_c3 Push_Pan	Qualité géométrique et spectrale
Simulations (CNES) Pléiades - ATS 3 Mars 1999	Strasbourg Quartier Est	3.2 m 0.8 m	B : 0.45 – 0.51 µm V : 0.51 – 0.60 µm R : 0.61 – 0.72 µm PIR : 0.76 – 0.95 µm Pan : 0.51 – 0.72 µm	16 bits	ATS3_b0 ATS3_b1 ATS3_b2 ATS3_b3 ATS3Pan	Qualité géométrique
Simulations (CNES) Pléiades - ATS 1 Juin 2000	Toulouse Quartier Le Buscat	0.4 m	Pan :0.50 – 0.70 µm PB0 : 0.44 – 0.70 µm PIR1 : 0.50 - 0.75 µm PIR2 : 0.50 – 0.80 µm PIR3 : 0.50 – 0.85 µm PIR4 : 0.50 - 0.90 µm Pe : 0.44 – 0.90 µm	8 bits	Busca1 Busca2 Busca3 Busca4 Busca5 Busca6 Busca7	Qualité spectrale
Simulations (CNES) Pléiades - ATS 2A Octobre 1999	Toulouse Quartier Les Récollets	0.6 m 0.8 m	Pan : 0.50 – 0.70 (B/H = 0.1 ; 0.3;0.7) Pe : 0.45 – 0.90 (B/H = 0.1 ; 0.3;0.7) Pan : 0.50 – 0.70 (B/H = 0.1 ; 0.3;0.7) Pe : 0.45 – 0.90 (B/H = 0.1 ; 0.3;0.7)	8 bits	Recol1, 2, 3 Recol4, 5, 6 Recol7, 8, 9 Recol10, 11, 12	Qualité stéréoscopique
Quickbird (LIV) Mai 2002	Strasbourg Quartier Est	2.8 m 0.7 m	B : 0.45 – 0.52 µm V : 0.53 – 0.59 µm R : 0.63 – 0.69 µm PIR : 0.77 – 0.90 µm Pan : 0.45 – 0.90 µm	11 bits codés sur 16 bits	QbMS_b0 QbMS_b1 QbMS_b2 QbMS_b3 QbPan	Qualité géométrique et spectrale

[1] Les simulations des produits SPOT 5 sont obtenues à l'aide du capteur multi-bande Push-Broom du CNES, embarqué sur l'Avion de Recherche Atmosphérique et de Télédétection (ARAT).

La qualité des images est vérifiée par rapport à des **bases de données de référence**, dont les caractéristiques sont détaillées au Tableau 6.2. La qualité géométrique de ces bases a été elle-même quantifiée par l'acquisition d'une quarantaine de points GPS (GPS différentiel, Trimble 5700[2], prêté par l'Institut de Physique du Globe de Strasbourg) sur la zone de Strasbourg. Ces tests confirment la « bonne qualité » des données de référence, caractérisées par des précisions géométriques submétriques de l'ordre de 20 cm pour la BD CUS et la BD TOULOUSE, de 50 cm pour la BD ORTHO®.

Tableau 6.2 – Bases de données de référence utilisées pour chaque test.

BD Référence	Zone Géographique	Type de données	Résolution Spatiale / Echelle
BD CUS 1999	Strasbourg Quartier Est	vecteur	1/2000e
BD ORTHO® 1998	Strasbourg Quartier Est	raster	0.5 m
BD TOULOUSE	Toulouse Quatier le Buscat	vecteur	1/2000e

6.1 QUALITE GEOMETRIQUE ET RESOLUTION SPATIALE OPTIMALE

6.1.1 Qualité géométrique des images THR

Les corrections géométriques sont nécessaires car l'image brute issue des enregistrements satellitaires est affectée de déformations ; leur utilisation et intégration dans un SIG opérationnel nécessitent des transformations spatiales (Bonn et Rochon, 2001). Plusieurs sources d'erreurs peuvent entraîner ces déformations. Selon leur origine, il est possible de différencier trois catégories de distorsions : (1) les distorsions causées par l'environnement observé (courbure de la Terre, variation de l'altitude, réfraction atmosphérique, etc) ; (2) les distorsions dues aux erreurs des capteurs et (3) les distorsions occasionnées par le mouvement du satellite. Ces distorsions sont toujours plus fortes pour des capteurs aéroportés que pour des capteurs satellites (Bonn et Rochon, 2001).

Une correction géométrique comprend deux étapes : **(1)** l'établissement du **lien mathématique** entre les coordonnées « image » et les coordonnées dans un systèmes de référence et **(2)** le **rééchantillonnage.**

Pour la **première étape**, deux types de méthodes sont appliquées :

- une **modélisation polynomiale** qui estime les coefficients de transformation permettant de faire correspondre aux points de la carte (appelés points d'appui ou de contrôle), les pixels correspondants de l'image. Une description des principes de la correction polynomiale peut être trouvée dans tous les manuels de traitement d'images (Lillesland et Kiefer, 1987 ; Bonn et Rochon, 2001 ; Wilmet, 1996). Cette transformation ne nécessite aucune connaissance *a priori* du système d'acquisition ; par contre, elle s'avère insuffisante pour corriger les déformations dues au relief. En zone accidentée, un modèle numérique de terrain est le plus souvent utilisé. Des précisions de l'ordre du demi-pixel sont envisageables dans des conditions optimales de traitement (points de contrôle précis, nombreux et bien répartis sur l'image) et de site (faible dénivelé). Pour la correction des images satellites HR, les coordonnées des

[2] Les points GPS ont été acquis et traités en mode statique long, avec une durée de session de vingt minutes pour chaque point. La précision atteint 3-4 mm en planimétrie et 8 mm en altimétrie.

points de contrôles sont mesurées sur des cartes topographiques ; comme la précision de pointé moyenne d'un opérateur est d'environ 0.2 mm, sur une carte au 1/25 000e la précision est de 5 m. Par contre, pour la correction des images THR, les cartes topographiques sont insuffisantes et des points GPS sont utilisés (précision métrique à décamétrique pour un GPS du commerce démodulé ou centimétrique pour un GPS de précision en mode différentiel) ;

- une **méthode photogrammétrique** qui est fondée sur la connaissance précise des paramètres liés au satellite (position, altitude, vitesse), à la terre (rotation, relief, rotondité) et au système de projection cartographique (ellipsoïde). L'explication et le développement mathématique de ce type de transformation peuvent être trouvés dans Toutin (1985, 1989).

Si la première étape permet de localiser correctement les pixels par rapport à une carte, des points GPS ou un MNT , elle entraîne cependant une modification plus ou moins importante de la trame des pixels par rapport à la matrice originale de l'enregistrement (Wilmet, 1996). Or à chaque pixel correspond une valeur spectrale fournie par le capteur. La **seconde étape** (**opération de rééchantillonnage)** consiste à affecter une valeur de réflectance à chaque pixel selon l'un des trois modes de rééchantillonnage proposés habituellement : le rééchantillonnage au plus proche voisin, l'interpolation quadratique ou la convolution cubique. L'interpolation quadratique et surtout la convolution cubique modifient les valeurs originales de l'enregistrement et opèrent un lissage de celles-ci ; c'est pourquoi elles sont déconseillées avant une classification (Wilmet, 1996).

La validation d'une image corrigée géométriquement nécessite également l'utilisation de points de contrôle. Les indicateurs statistiques retenus habituellement sont l'Erreur Moyenne Quadratique (EMQ) (cf. § 6.1.2). Une autre manière plus qualitative de valider une orthoimage consiste à la comparer avec des objets cartographiques « de référence » (réseau routier, bâtiments). Les décalages éventuels renseignent sur les endroits où les corrections géométriques ne sont pas satisfaisantes (Terretaz, 1998) (cf. § 5.1.2.1).

De nombreuses études ont testé la qualité des images IKONOS et QUICKBIRD par des traitements photogrammétriques (Li *et al.*, 2000 ; Muller *et al.*, 2001) ou des transformations polynomiales (Fraser *et al.*, 2001, 2002 ; Baltsavias *et al.*, 2001). Ces études ont montré que la **précision géométrique** des **images IKONOS** est **suffisante** pour la **cartographie thématique à grande échelle** (1/4800e) (Dial, 2000). Plus précisément, une précision planimétrique de 2 à 3 m peut être obtenue lorsque des modèles de corrections géométriques paramétriques, avec quelques points de contrôle, sont utilisés (Toutin et Cheng, 2000 ; Kersten *et al.*, 2000 ; Davies et Wang, 2001). Toutin (2001), qui a appliqué un modèle de correction photogrammétrique, sur treize images urbaines panchromatiques et multispectrales de type IKONOS (Geo-product) et sur 7 sites d'études localisés à des altitudes différentes, a analysé la propagation de l'erreur dans le processus d'ortho-rectification. Les résultats montrent qu'avec des points de contrôle précis à moins de 3 m, 20 points de contrôle permettent d'obtenir une précision de 3 à 4 m, alors qu'avec des points de contrôle précis à plus de 1 m, 10 points de contrôle suffisent pour atteindre une précision de 2 à 3 m. D'autres études, sur des images QUICKBIRD et IKONOS, ont également montré qu'une meilleure précision géométrique est obtenue lorsque les points de contrôle sont extraits d'un modèle numérique de terrain (Baltasavias *et al.*, 2001a ; Cheng *et al.*, 2002).

6.1.1.1 Méthodologie des tests de qualité géométrique

Deux tests de qualité géométrique ont été appliqués sur les images satellites panchromatiques THR simulées (Push et ATS 3) et QUICKBIRD, sur un extrait de l'agglomération de Strasbourg (Annexe 6.1).

Le **premier test** consiste à localiser des **points remarquables** (angle des bâtiments), à partir des bâtiments de la BD CUS et de la BD ORTHO® utilisés comme référence, et à tracer des **segments directionnels** entre le point de référence et le même point sur les images (Figure 6.1). Quatre-vingt seize points ont été collectés uniformément sur chacune des images tests. L'EMQ séparant chaque couple de points et la direction du segment ont ensuite été calculés et analysés par leurs statistiques descriptives.

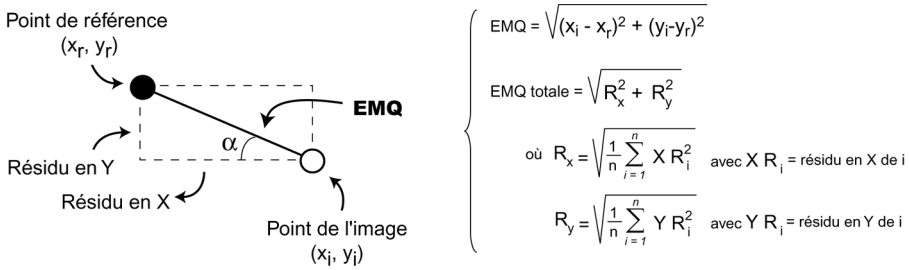


Figure 6.1 – Calcul de l'EMQ.

Le **deuxième test** consiste à construire une matrice « de distances » (entre tous les points) à partir des points de référence (matrice 1), des points de l'image (matrice 2) et à calculer un ratio (noté $\mathbf{R_{xy}}$). La moyenne et l'écart-type de ces ratios, exprimés en pourcentages et classés selon leur orientation (1-α), sont ensuite analysés afin d'identifier les **directions préférentielles** des erreurs géométriques et de caractériser l'**homogénéité de la précision géométrique** de l'image.

6.1.1.2 Analyse et interprétation des résultats des tests géométriques

Les images simulées Push et ATS3 ont été fournies avec un niveau de correction équivalent au niveau 3B (niveau de corrections radiométrique, géométrique et mise en projection cartographique). L'image QUICKBIRD correspond au produit « standard » étalonné radiométriquement et corrigé géométriquement des distorsions dues au capteur et à la plate-forme d'enregistrement. Elles sont également géoréférencées dans une projection cartographique (UTM). A la base, la précision géométrique est de 14 à 23 m en planimétrie (DigitalGlobe, 2002). Cette précision n'étant pas suffisante ni pour les utilisateurs, ni pour être comparée aux images simulées, une transformation polynomiale de premier degré a été appliquée. Douze points de contrôle issus de relevés GPS de précision ont permis d'obtenir des EMQ inférieures à un pixel.

Les résultats de la comparaison de la qualité géométrique des images panchromatiques simulées (Push_Pan et ATS3Pan) et de l'image QUICKBIRD (QB_Pan) sont détaillés au Tableau 6.3. La précision géométrique atteint 2 à 3 m sur les trois images en terrain plat. Ces résultats confirment ceux obtenus par les études réalisées sur des images IKONOS en terrain plat (Toutin, 1995). Cela signifie que les **modèles de correction** appliqués **conviennent aux applications urbaines à des échelles du 1/10 000e**, mais pas à celles au 1/2000e. Une précision métrique demande l'utilisation d'un modèle

numérique de terrain précis sur la zone d'étude (Bonn et Rochon, 2001).

Les directions des déformations sont assez homogènes sur l'ensemble des images (Figure 6.2). Cette variabilité est cependant plus importante entre 110° et 160°, quelle que soit l'image. Les segments les plus longs (EMQ les plus grandes) se situent entre 110° et 150°. Une plus grande erreur dans ces directions s'expliquent par la direction de l'ensoleillement S-SE de la zone d'étude et par la date de prise de vue des images. En effet, alors que les images QUICKBIRD et l'image simulée ATS3 ont été prises au printemps, l'image simulée Pushbroom date d'octobre.

Tableau 6.3 - Résultats de l'évaluation de la qualité géométrique (test 1).

	QUICKBIRD (QB_Pan 0.7 m)		**Simulation (CNES)** (Push_Pan 1 m)		**Simulation (CNES)** (ATS3Pan 0.8 m)	
96 points	**EMQ (m)**	**Angle(°)**	**EMQ (m)**	**Angle (°)**	**EMQ (m)**	**Angle (°)**
moyenne	2.48	100	2.07	106	1.94	99
totale	2.82	/	2.23	/	2.21	/
min	0.32	15	0.37	23	0.15	0.44
max	8.15	176	6.23	179	5.29	179
Variance	1.83	1084	1.37	2379	1.23	3342
Ecart-type	1.35	33	1.17	49	1.11	58
Répartition X<%EMQ<X	15% ≤ 1 1 <24%≤ 2 2 < 32% ≤ 3 29% > à 3	8% ≤ 45 45 < 28 % ≤ 90 90 < 24% ≤ 135 10% > 135	7% ≤ 1 1 < 40% ≤ 2 2 < 40% ≤ 3 13% > à 3	13% ≤ 45 45 < 31 % ≤ 90 90 < 16% ≤ 135 40% > 135	12% ≤ 1 1 < 27% ≤ 2 2 < 19% ≤ 3 8% > à 3	25% ≤ 45 45 < 14 % ≤ 90 90 < 23% ≤ 135 38% > 135

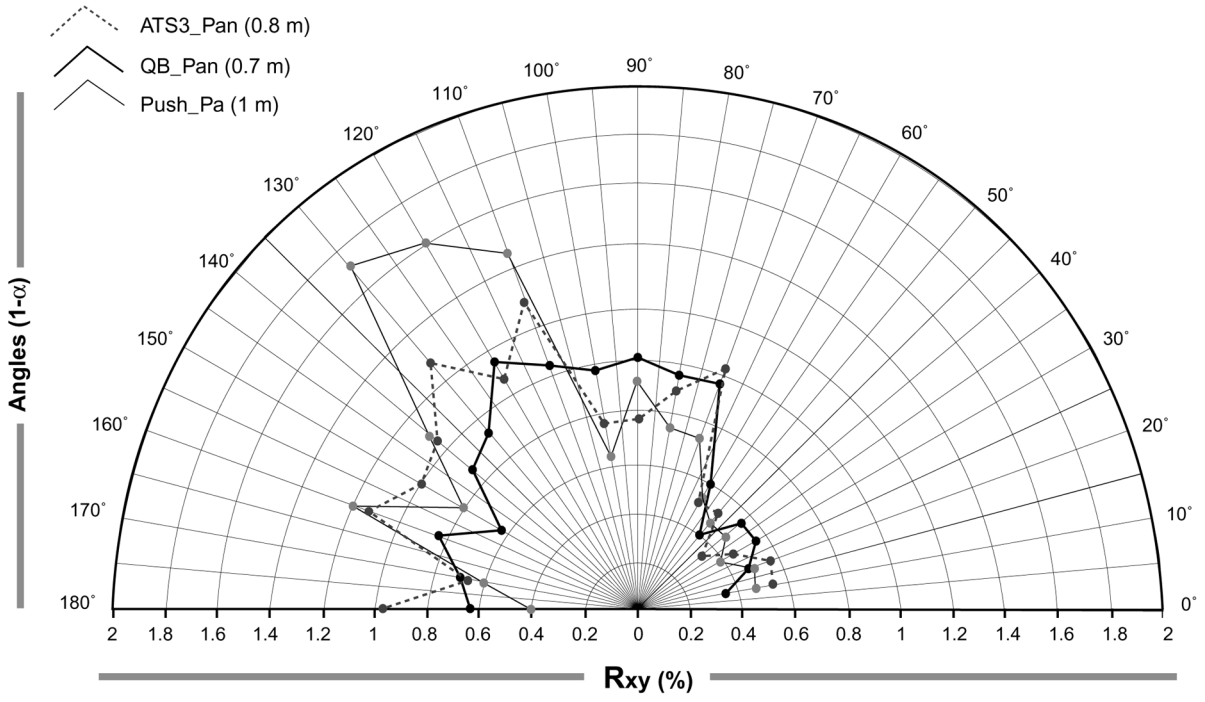


Figure 6.2 – Ratio des erreurs en fonction de leur orientation (test 2).

6.1.2 Echelle et Résolution spatiale optimale

L'échelle est, avec la précision géométrique, un des premiers attributs utilisés pour décrire la qualité et les performances des données géographiques (cf. § 1.3.2.4.1). Ce terme regroupe plusieurs significations (échelle spatiale, temporelle, spatio-temporelle) et est utilisé dans plusieurs disciplines (sciences sociales, physiques, etc). Dans cette section, nous allons nous intéresser aux significations de la notion d'**échelle spatiale** qui peut faire référence à quatre significations différentes (Lam et Quattrochi, 1992) :

(1) l'échelle **cartographique** (cf. § 1.3.2.4.1) ;
(2) l'échelle **géographique** ou échelle **d'observation** qui correspond à l'extension spatiale de la zone d'étude (une étude à grande échelle couvre, dès lors, une grande zone géographique) ;
(3) l'échelle **opérationnelle** qui correspond à l'échelle à laquelle certains processus s'opèrent à la surface du globe. Certains chercheurs parlent « d'échelle d'action ». Elle est héritée des phénomènes géographiques ;
(4) et **l'échelle de mesure** c'est-à-dire la **résolution** qui est définie par la taille du pixel (cf. § 1.3.3.3). Une grande échelle est ainsi associée à une résolution spatiale fine et une petite échelle, à une résolution spatiale plus grossière en raison du volume de données produits et des capacités de stockage.

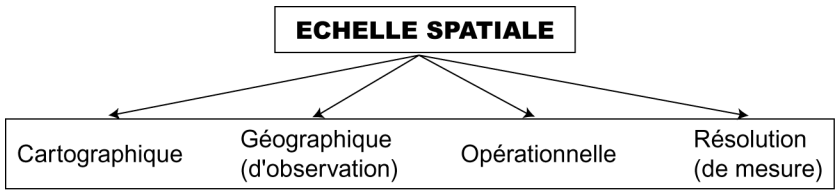


Figure 6.3 – Les significations de la notion d'échelle (modifié de Cao et Lam, 1997).

En télédétection, une échelle de mesure de 30 m correspond à une résolution de 30 m, alors que plusieurs pixels et une plus grande zone d'étude sont nécessaires pour, respectivement, reconnaître un objet (échelle opérationnelle) et comprendre l'organisation spatiale des objets urbains (échelle géographique). La plupart du temps, le terme d'échelle tient compte de ces quatre significations (Cao et Lam, 1997). Dans ce travail, le terme d'échelle est utilisé dans son acceptation **géographique et opérationnelle**, sauf si le terme est précisé explicitement.

De nombreux auteurs se sont intéressés aux problèmes d'échelle et de résolution spatiale. Openshaw (1984) a montré l'importance des « **surfaces unitaires »** étudiées (Modifiable Aeral Unit Problem, MAUP) et ses conséquences sur l'observation et l'analyse des phénomènes spatiaux à différentes échelles. Il montre que le problème fondamental de l'étude des données agrégées est la dépendance des résultats vis-à-vis des surfaces unitaires étudiées. Un phénomène qui apparaît homogène à une petite échelle peut devenir hétérogène à une grande échelle. Extrapoler des résultats d'une échelle à une autre peut entraîner des erreurs d'interprétation, particulièrement quand l'hétérogénéité prédomine (Hendersen *et al.*, 1985 ; Meentemeyer et Box, 1987). Grégoire *et al.* (1993) précisent que l'homogénéité d'un milieu est relative à une grandeur particulière et se définit par rapport à une échelle de mesure qui est la résolution. L'homogénéité étant basée sur la comparaison entre des zones voisines en fonction de leur contenu, elle dépend des **objets élémentaires** que l'utilisateur cherche à appréhender ; c'est pourquoi les besoins et la définition des objets utiles

aux applications urbaines a été formalisée dans les chapitres précédents (chapitre 3).

En télédétection spatiale, la diversité des capteurs existants conduit à la **coexistence** de nombreux types d'**images complémentaires** en termes de résolutions spatiale, spectrale, et temporelle. Actuellement, la résolution spatiale varie entre 0.6 m et 1 km. Le **choix d'une résolution spatiale** adaptée à l'identification des objets pour répondre à ses applications **est de plus en plus difficile**. Il s'agit, en premier lieu d'examiner les caractéristiques de la zone d'étude, et particulièrement les changements d'organisation spatiale de la scène comme une fonction des changements d'échelle et de résolution. Autrement dit, les critères d'échelle et de résolution jouent un rôle important qui ne cesse de croître.

Quatre méthodes ont été développées pour analyser les effets d'échelle et de résolution : la variance, la variance locale, l'analyse de texture, et les fractales (Cao et Lam, 1997).

L'**analyse de variance**, première tentative d'analyse quantitative proposée par Moelling et Tobler (1972), a montré qu'il est possible de déterminer une échelle de variabilité maximale des données par le calcul de variance à différents niveaux hiérarchiques d'échelles géographiques (pays, régions, départements). Cette méthode n'est cependant pas directement applicable en télédétection car les valeurs numériques d'une image satellite à une résolution grossière ne correspondent pas à leur simple agrégation à une plus fine résolution. De plus, les pixels à différentes résolutions spatiales ne peuvent pas être emboîtés.

Woodcock et Strahler (1987) ont développé une méthode de **variance locale**, directement applicable sur des images satellites. En effet, alors que l'objectif est identique à celui de l'analyse de variance simple, les données ne doivent plus être hiérarchiques et la variance locale est définie comme la valeur moyenne de la variance calculée dans une fenêtre mobile 3x3, sur toute l'image. Cette méthode a été adaptée par Marceau *et al.* (1994) afin d'être appliquée en milieu forestier. Par comparaison avec la méthode développée par Woodcock et Strahler (1987), elle ne considère pas une scène entière, mais différentes classes représentées par plusieurs échantillons non-corrélés et de tailles suffisantes. En effet, Marceau *et al.* (1994) ont démontré que la définition d'une entité géographique (objet) est le résultat d'un « échantillon spatial » où chaque élément est considéré comme une composante essentielle, en référence à l'échelle d'observation (niveau particulier d'agrégation spatiale des différents éléments qui constituent l'objet). Lorsque la taille du pixel est plus petite que l'objet étudié, le pixel représente une des composantes de l'objet (toit ou l'ombre d'un bâtiment, par exemple). Ceci se traduit, en terme spectral, par une forte variance interne de la classe. A l'opposé, lorsque la taille du pixel est plus grande que l'objet étudié, les pixels regroupent plusieurs objets connexes (mixels), qui se traduisent également par une forte variance intra-classe. Entre ces deux extrêmes, il existe une situation d'équilibre où la taille du pixel correspond à la taille de l'objet. Dans ce cas, la **variance interne** est à son **plus faible niveau** (Dionne *et al.*, 1996). Cette taille de pixel optimale est appelée la « **résolution spatiale optimale ».**

Cette méthode, corroborée par d'autres études, repose sur les conclusions suivantes (Markham et Townshend, 1981 ; Cushnie, 1987 ; Woodcock et Strahler ; Puech *et al.*, 1995 ; Aplin *et al.*, 1999) :

(1) l'information contenue dans les images numériques dépend de l'échelle de mesure (résolution spatiale) et l'information spectrale ne doit pas être dissociée de l'échelle et du niveau d'agrégation des objets ;
(2) la non-prise en compte de l'échelle et du niveau d'agrégation des entités géographiques lors des classifications, donnent lieu à des résultats aléatoires avec une faible correspondance avec les objets réels ;
(3) il n'existe pas de résolution spatiale optimale unique pour l'identification de tous les objets

géographiques, en particulier dans des environnements complexes.
Malgré sa simplicité, cette méthode n'a **jamais** été testée **en milieu urbain** caractérisé par une grande diversité d'objets.

La méthode de variance locale est également un critère utilisé dans les **analyses de texture.** En effet, elle fournit une mesure des propriétés de la surface telles que la « grossièreté » (coarseness), le lissage (smoothness) et la régularité (regularity) (Gonzalez et Wintz, 1987). Dans une analyse de texture, la variation des valeurs numériques calculée à partir d'une fenêtre mobile se présente sous la forme d'un indice. Ce type d'analyse est détaillé au chapitre 7 (§ 7.1.1.1).

Les **fractales** sont également utilisées pour détecter les effets d'échelle et de résolution. L'échelle de plus grande dimension fractale correspond le plus fréquemment à l'échelle du phénomène (Goodchild et Mark, 1987; Lam et Quattrochi, 1992). Les fractales ont été utilisées pour caractériser différents types de paysage selon les types de sols (Burrough, 1983), la topographie (Mark et Aronson, 1984). Da Cola (1989) et Lam (1990) ont étendu leurs utilisations aux images satellites. Plusieurs méthodes pour déterminer la dimension fractale ont été proposées et une description détaillée peut être trouvée dans Lam et Da Cola (1993).

Ainsi, avec l'augmentation de la résolution spatiale, le milieu étudié devient hétérogène. Il est possible de quantifier cette hétérogénéité par un calcul de **variance globale** sur l'ensemble de l'image à différentes résolutions. La Figure 6.4, qui présente l'évolution de la variabilité d'une image de 10 km² en milieu urbain, confirme cette hétérogénéité. L'objectif de la section 6.1.2.1 est d'approfondir cette analyse pour des résolutions inférieures à 10 m et d'identifier une **résolution spatiale optimale (RSO) par type d'objets urbains** (en terrain plat).

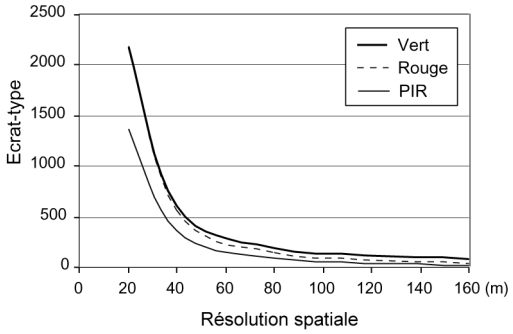


Figure 6.4 – Évolution de la variabilité globale par bandes spectrales avec l'augmentation de la résolution.

6.1.2.1 Méthodologie d'identification de la résolution spatiale optimale selon le type d'objets urbains

La méthode de Marceau *et al.* (1994), appliquée uniquement en milieu forestier, a été testée en milieu urbain sur les quartiers Est de la ville de Strasbourg. Ces quartiers sont représentatifs des différentes entités ou objets dont l'identification est demandée par les utilisateurs au 1/10 000e (cf. § 5.3). Les calculs sont réalisés sur l'image simulée multispectrale à 0.8 m THR (PLEIADES – ATS3).

La **première étape** consiste à définir précisément les entités géographiques étudiées, ici les objets urbains élémentaires qui devront permettre de reconstituer les classes de la nomenclature définies au § 5.3. Trois types d'objets ont été choisis (bâtiment, végétation, route) à partir des objets élémen-

taires définis § 1.2.3. Chaque objet élémentaire est défini comme une **unité homogène** selon **deux attributs**. Le premier attribut (matériau) fait directement référence au comportement **spectral** de l'objet, alors que le deuxième attribut fait référence à la **géométrie** des objets (forme, surface, dimension). Soixante types d'objets élémentaires ont été identifiés ; la Figure 6.5 illustre les niveaux d'agrégation pour les dix matériaux les plus répandus en milieu urbain.

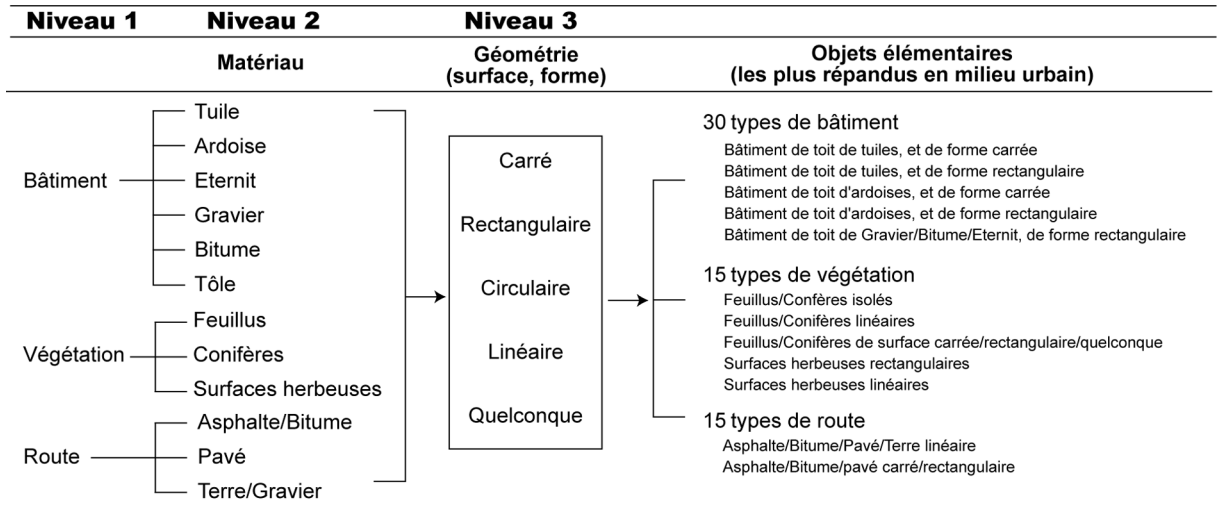


Figure 6.5 – Catégories d'objets retenues et leurs attributs.

Cinq échantillons de chaque type d'objets de forme spécifique ont été sélectionnés sur l'image simulée ATS3 (quartiers Est de Strasbourg). La surface des échantillons définie à 0.8 m regroupe au minimum 25 pixels. Pour les objets de type végétation, les échantillons sont extraits des images QUICKBIRD car l'image ATS3 ne présente pas de végétation arbustive significative en raison de la saison de la prise de vue (début du printemps).

La **deuxième étape** consiste à agréger spatialement les données spectrales autour du pixel central de chacun des échantillons. L'image est ainsi progressivement dégradée, d'une résolution de 0.8 m jusqu'à une résolution de 10 m, dans les quatre bandes spectrales (B0, B1, B2, et B3). La moyenne des pixels dans une fenêtre mobile est calculée en augmentant la taille de la fenêtre d'un incrément de deux (3x3, 5x5, etc). Un **jeu de données** avec **onze résolutions spatiales différentes** est ainsi créée. La moyenne arithmétique des valeurs spectrales des pixels apparaît appropriée pour représenter ce processus d'agrégation physique (Marceau *et al.*, 1994). Il faut cependant remarquer que les données dégradées obtenues ont une meilleure qualité que des données qui auraient été acquises directement à ce niveau d'agrégation : le procédé ne simule pas la FTM[3] du capteur et diminue totalement le bruit (pollution, bruit atmosphériques). Par la suite, les variances spectrales ont été calculées à partir des valeurs moyennes des cinq échantillons retenus, par classe d'objets, et pour chacune des résolutions. La **valeur minimale,** pour la majorité des bandes, est considérée comme l'**indicateur de la RSO**.

[3] La Fonction de Transfert de Modulation représente l'atténuation de la transmission par un capteur, des contrastes d'une mire en fonction de leur fréquence spatiale mesurée en nombre de traits blancs et noirs par millimètre (Robin, 1995).

6.1.2.2 Analyse des résultats et identification d'une résolution spatiale optimale selon le type d'objets élémentaires

La Figure 6.6 présente l'évolution de la variance sur les objets élémentaires les plus courants. L'observation de l'ensemble des courbes de variance met en évidence des tendances différentes selon les catégories d'objets.

Pour les **objets urbains carré/rectangulaire** (bâtiment), la variance, élevée à 0.8 m, décroît jusqu'à une résolution de 2 à 3 m. Au-delà de ce seuil, la variance augmente jusqu'à une résolution de 4 à 5 m, avant de diminuer à nouveau. Le premier seuil, à **2 m**, correspond au seuil de **résolution optimale** (Figure 6.6a à 6d), où par exemple le toit d'un bâtiment apparaît sur une image comme le plus homogène. Ensuite, avec l'augmentation de la résolution, des mixels apparaissent en bordure des objets, ce qui explique l'augmentation de la variance. Au-delà d'une certaine résolution (5 m), la variance diminue car l'objet est « englobé » par son environnement. A partir de cette résolution, l'objet n'est plus identifiable car il est constitué par une zone, qui peut devenir de plus en plus hétérogène, avec la diminution progressive de la résolution spatiale (de plus en plus de mixels). Pour les **objets linéaires** de type route, la même tendance est observée avec un seuil de résolution spatial optimal **inférieur à 2 m** (Figure 6.6e et 6f) ; alors que pour les **objets circulaire**s de type arbre individuel, le seuil passe au mètre **(de 0.8 à 1 m)** (Figure 6.6g). Les grandes zones de forme quelconque ont un seuil de résolution optimal plus élevé aux alentours de 6 m (Figure 6.6h). Une diminution de la taille des objets entraîne une diminution du seuil de résolution optimale.

Les graphiques de la Figure 6.6 montrent également que de part et d'autre de la résolution spatiale optimale, il existe des résolutions pour lesquelles les variances ne sont pas significativement différentes. Ainsi la résolution spatiale optimale et la plage des résolutions acceptables d'un point de vue statistique constituent **un intervalle de résolution « quasi-optimale »**. Ainsi, (1) pour les objets urbains rectangulaire/carré (bâtiment) la gamme de **RSO** est comprise entre **2 et 3 m** ; (2) pour les objets linéaires, elle est de **1 à 2 m** ; (3) pour les objets individuels de type circulaire, **0.8 à 1 m** et pour les zones quelconques, elle est proche de **6 à 8 m**. Ces gammes de résolutions optimales ont été validées par l'application de la même méthodologie sur une image satellite existante (QUICKBIRD) et sur la simulation à 1 m (Push). Les courbes de variance obtenues ne montrent pas d'écarts significatifs selon le type d'images utilisées (ratio proche de 1.2).

Ces résultats indiquent que les objets élémentaires du milieu urbain ne sont observables que dans une plage de résolutions limitée par un seuil inférieur ou égal à la résolution spatiale optimale (seuil d'homogénéité) et un seuil supérieur à partir duquel le pixel « déborde » de l'objet (seuil d'hétérogénéité). Ceci a des **répercussions directes** sur le **choix des méthodes de traitement d'image** qui dépend alors de la comparaison des trois valeurs : la **résolution de l'image** et les **seuils d'homogénéité** et d'**hétérogénéité** (Puech, 1994 ; Dionne *et al.*, 1996). Si la résolution est inférieure au seuil d'homogénéité, la caractérisation de l'objet est impossible directement : il faut passer par l'étude préalable de ces éléments constitutifs de niveau inférieur, ou bien dégrader l'image. Lorsque la résolution est comprise entre le seuil d'homogénéité et d'hétérogénéité, les traitements numériques de classifications par pixel sont favorables (cf. chapitre 7). Enfin lorsque la résolution est supérieure au seuil d'hétérogénéité, le pixel est trop grossier par rapport à l'objet qui ne peut être caractérisé par classification directe.

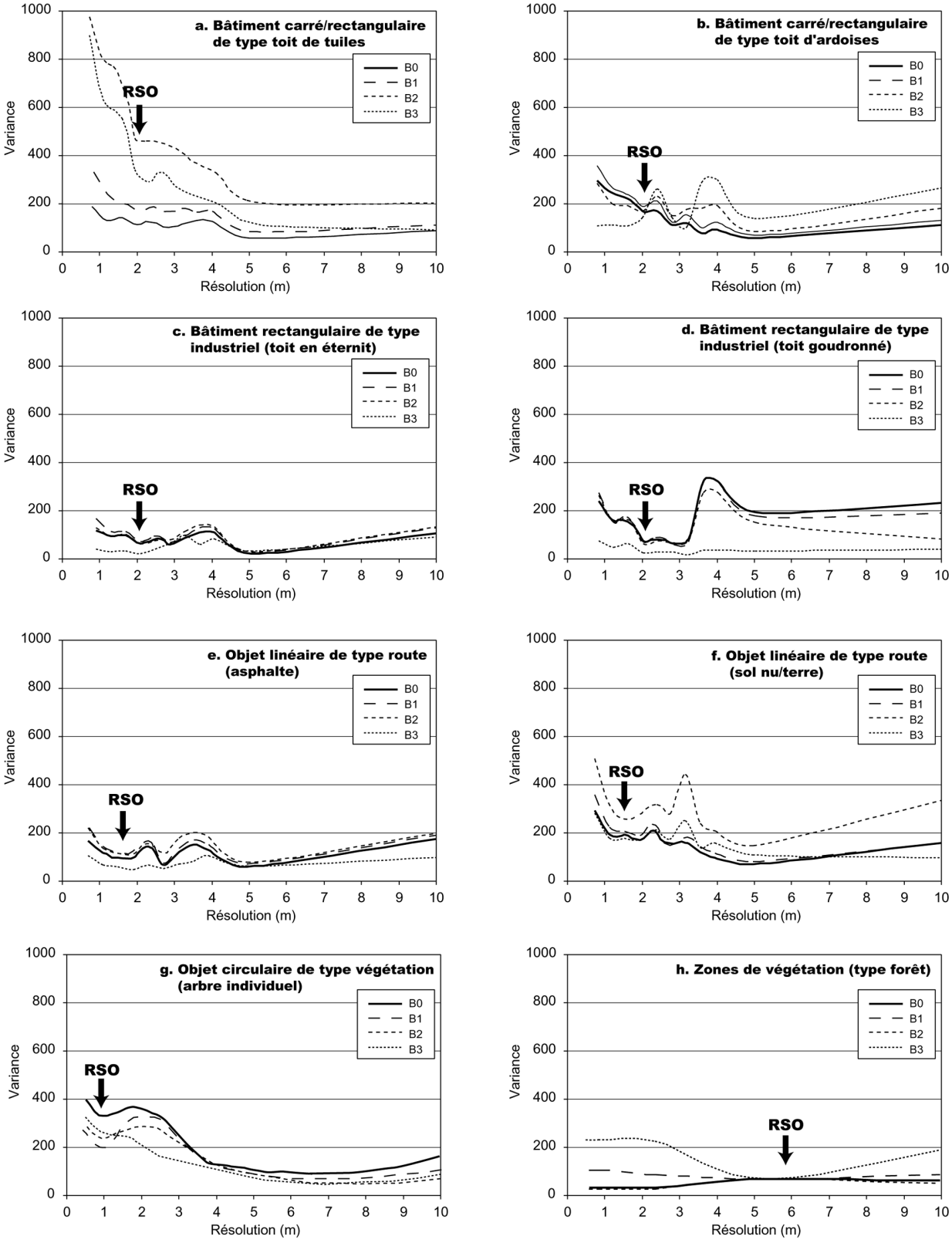


Figure 6.6 – Variance et résolution spatiale optimale.

6.2 QUALITE SPECTRALE DES IMAGES

Avec le développement des capteurs THR dont les longueurs d'onde balayent les gammes du visible et de l'infrarouge (Figure 6.7), des capteurs aéroportés hyperspectraux (AVIRIS[4], DAIS[5], CASI[6]) avec plusieurs centaines de longueurs d'onde (des plus étroites - environ 0.1 µm -, aux plus larges - plusieurs centaines de nanomètres -), se multiplient et compliquent le choix des utilisateurs.

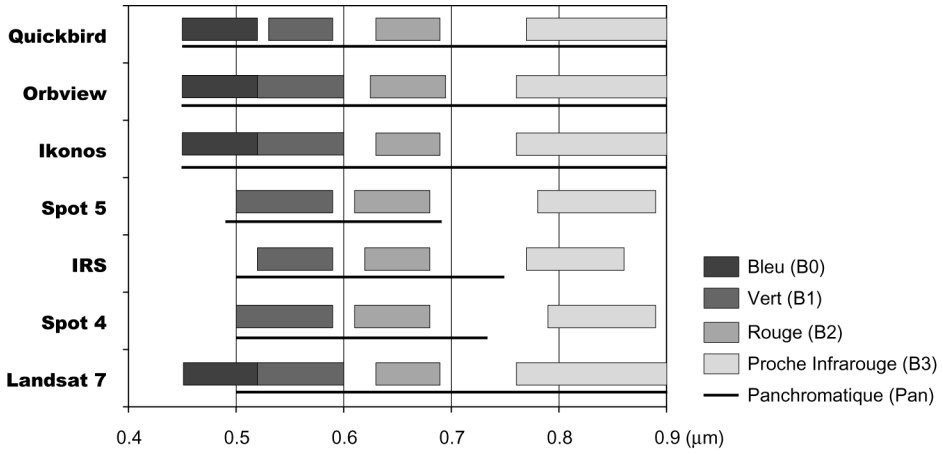


Figure 6.7 – Bandes spectrales des capteurs actuels.

Pour les satellites THR, les **contraintes technologiques**, au niveau du capteur, de la transmission et du stockage à bord des données, empêchent l'obtention d'images en sortie d'instrument ayant à la fois de **hautes résolutions spatiales et spectrales** (cf. chapitre 2) alors que de telles données seraient utiles aux utilisateurs. La fusion panchromatique/multispectral permet, à l'aide des données panchromatiques (large bande spectrale) à haute résolution et de données multispectrales à plus basse résolution, de produire des données multispectrales à haute résolution. Cette technique est utilisée, depuis le lancement des satellites SPOT (www.spotimage.fr). De la qualité spectrale des images à plus basse résolution, dépend la qualité de la fusion (Ranchin, 2001).

Par ailleurs, les corrections atmosphériques, la validation et l'étalonnage de la réflectance des images de télédétection nécessitent des mesures de la réflectance des surfaces observées (Gray *et al.*, 1997 ; Middelton *et al.*, 1997). Ces mesures sont également utilisées dans de nombreuses approches analytiques en télédétection, par exemple, pour modéliser la réflectance de la canopée (Li et Strahler, 1992 ; Rosema *et al.*, 1992), pour la reconnaissance géologique (Adams *et al.*, 1993), pour les classifications des images satellites et aéroportées et la modélisation prédictive (Franklin, 1995) et pour étudier les processus d'évaporation à l'interface sol-atmosphère (Sellers et Schimel, 1993 ; Blackburn et Milton, 1995).

[4] Le capteur aéroporté AVIRIS (NASA Airborne Visible and Infrared Imaging Spectrometer, lancé en 2000, USA) dispose de 224 bandes spectrales d'une largeur d'environ 0.01 µm, s'étalant de 0.35 à 2.5 µm avec une résolution spatiale d'approximativement 4 m, comparable à IKONOS.

[5] DAIS (Digital Airborne Imaging Spectrometer, Europe) est un capteur aéroporté hyperspectral constitué de 76 canaux (0.5 à 12.6 µm) récemment embarqué à bord de Orbview3 –propriété de Orbimage), avec une résolution spatiale de 5 m.

[6] CASI (Compact Airborne Spectrographic Imager, Canada) est un capteur aéroporté hyperspectrale (288 canaux entre 0.4 et 0.9 µm). Chaque bande couvre une longueur d'onde de 0.018 µm, et dispose d'une résolution spatiale de 10 m.

Les mesures de réflectances sont typiquement obtenues à partir de petites surfaces (cibles) au sol ou d'une plate-forme dans une variété de configurations utilisant un **radiomètre portable** (Deering, 1989 ; Milton *et al.*, 1995). Elles fournissent des informations spectrales détaillées de cibles bien identifiées à la surface de la terre (Teillet, 1995).

Dans ce contexte, plusieurs **bibliothèques spectrales** américaines disponibles via Internet (ASTER Spectral Library, USGS Digital Spectral Library, ASU Thermal Emission Spectral Library,…) donnent accès à de nombreuses mesures spectrales réalisées, essentiellement en laboratoire ou en extérieur, sur des minéraux et des espèces végétales (Roberts *et al.*, 1998 ; Clark, 1999 ; Van der Meer et Jong, 2001). **Très peu de mesures existent en milieu urbain** et peu de recherches sont menées dans ce domaine (Herold *et al.*, 2003). A l'échelle européenne aucune bibliothèque spectrale n'existe (en accès libre).

Dans ce contexte, dans un premier temps, la **qualité des produits fusionnés** à THR est analysée car elle permet aux utilisateurs de disposer à la fois de résolutions spatiale et spectrale élevées (§ 6.2.1). Dans un deuxième temps, la **qualité spectrale intrinsèque** des images THR est comparée avec des mesures radiométriques afin de vérifier la « validité » (en termes de différenciation des matériaux des objets urbains) des bandes spectrales utilisées à l'heure actuelle, et de **définir des bandes spectrales « optimales »** au milieu urbain (§ 6.2.2). Cette analyse est réalisée sous l'hypothèse que à différents types de matériaux correspondent des objets urbains spécifiques. Il s'agit de répondre à la question suivante : **« Quelles sont les bandes spectrales qui permettent de différencier des objets urbains constitués de matériaux divers ? ».** Enfin, dans un troisième temps, la qualité de différentes **images simulées panchromatiques** est analysée afin de définir les longueurs d'onde les plus adaptées pour **améliorer la visibilité dans les ombres** (§ 6.2.3). En effet, avec l'augmentation de la résolution spatiale, des artefacts inévitables (ombres portées des bâtiments) perturbent le signal et cachent certaines zones de l'image.

6.2.1 Vérification de la qualité spectrale des images fusionnées

Parmi les produits proposés, les images multispectrales THR obtenues par fusion d'une image panchromatique sub-métrique et d'images multispectrales métriques constituent une attente pour les utilisateurs à des fins d'intégration dans un SIG. Plusieurs définitions du terme de « fusion » existent. Dans ce travail, nous retiendrons la définition de Wald (1998) : « *data fusion is a formal framework in which are expressed the means and tools for the alliance of data originating from different sources. It aims at obtaining information of greater quality; the exact definition of "greater quality" will depend on the application* ».

De nombreuses méthodes de fusion existent à l'heure actuelle. Trois types de méthodes se différencient selon qu'elles sont issues (Laporterie, 2003) :

(1) du **domaine de la statistique** : elles concernent la dégradation des pixels mixtes (Zhukov et al, 1998 ; Minghelli *et al.*, 2001), l'analyse en composantes principales (Yésou *et al.*, 1994 ; Chavez et Kwarteng, 1989), la régression linéaire (Price, 1987 ; Hill *et al.*, 1999) et les champs aléatoires markoviens (Ersboll *et al.*, 1998) ;

(2) du **domaine de la colorimétrie** : elles regroupent les combinaisons arithmétiques de bandes ; par exemple la méthode de Brovey (Pradines, 1986 ; Price, 1987), la méthode de corrélation (Serradj *et al.*, 1991), le codage RVB (Toutin, 1995) et le changement d'espace[7] (transformée RVB→IHS - Welch et Ehlers, 1987 ; De Béthune *et al.*, 1997 ; Latry, 2002) ;

[7] Cette méthode est employée dans la chaîne de traitement de SPOT 5 (Latry, 2002).

(3) du **traitement du signal :** elles concernent le filtrage passe-haut (Chavez et Bowell, 1988), les ondelettes (Ranchin et Wald, 2000 ; Nunez *et al.*, 1999) et les algorithmes pyramidaux (Aiazzi *et al.*, 1998 ; Laporterie et Flouzat, 2002).

Parmi ces méthodes, certaines injectent des informations à haute résolution d'une image dans une autre (c'est le cas des méthodes de filtrage passe-haut, de la transformée en ondelettes, des algorithmes pyramidaux et de la régression linéaire). Les autres réalisent un mélange spectral ou colorimétrique des différentes données (c'est le cas de l'ACP, de la transformée IHS et du codage RVB). Une analyse bibliographique des méthodes de fusion montre que les méthodes de transformation RVB→IHS et les ondelettes sont les plus répandues en télédétection ; ce sont elles qui donnent les « meilleurs » résultats (Laporterie, 2003).

La **multiplication de ces méthodes** pose deux types de **problèmes**. Tout d'abord, aucune justification théorique de l'emploi de l'une ou l'autre méthode de fusion n'est explicitée. Ensuite, même si les caractéristiques des images fusionnées sont connues, indépendamment les unes des autres, l'évaluation des méthodes de fusion est un problème délicat car il n'existe pas d'indicateur « universel » pour comparer deux images. De plus, l'évaluation ne sera pas identique en fonction de l'objectif de la fusion : la fusion est-elle réalisée à des fins de visualisation ? de classifications ? Ces questions conditionnent l'évaluation du processus de fusion.

Wald *et al.* (1997) ont proposé un protocole d'évaluation quantitative de la qualité des images fusionnées dans le cadre du développement de la fusion selon le concept ARSIS (Annexe 6.3). Appliqué aux images fusionnées QUICKBIRD sur la région de Strasbourg, celui-ci a été complété par un protocole de comparaison qualitatif adapté en milieu urbain (Weber *et al.*, 2003 ; Puissant *et al.*, 2003b). Le CNES, dans le cadre de son activité de recherche et de développement (1999-2002) et afin de préparer le choix de l'algorithme de fusion pour PLEIADES-HR, a également mis en place un protocole expérimental qualitatif et quantitatif d'évaluation d'images fusionnées obtenues selon cinq méthodes de fusion retenues comme les plus efficaces pour des résolutions sub-métriques et à partir d'un même jeu de données (de Boissezon et Laporterie, 2003).
Pour vérifier la qualité spectrale des images fusionnées en milieu urbain, les images QUICKBIRD ont été fusionnées par la méthode de corrélation (Serradj *et al.*, 1991) et selon le concept ARSIS (Wald et Ranchin, 1993). Le protocole qualitatif adapté au milieu urbain proposé par Puissant *et al.* (2003b) et le protocole quantitatif proposé par Wald *et al.* (1997) ont été utilisés.

6.2.1.1 Méthodologie des protocoles d'évaluation qualitative et quantitative

Le **protocole d'évaluation qualitative** est réalisé en deux étapes. La **première étape** consiste à comparer visuellement les images fusionnées selon le **critère colorimétrique** (conservation de la radiométrie), à une orthophotographie en couleurs naturelles, produit habituellement utilisé en milieu urbain. Afin d'optimiser l'interprétation, douze imagettes (200x200 pixels) ont été extraites sur des zones constituées d'objets urbains spécifiques (cf. Figure 6.9). Le protocole de comparaison visuelle a été réalisé par dix personnes (cinq expertes et cinq non-expertes en photo-interprétation). Pour chacune des fusions, l'utilisateur évalue (à l'écran) la qualité colorimétrique des images fusionnées par l'attribution d'un indice :

- 0 : pas de différences perceptibles entre l'image et l'orthophotographie,
- 1 : image de meilleure qualité colorimétrique (ou de qualité équivalente) que l'orthophotographie ;
- 2 : image de moins bonne qualité que l'orthophotographie.

La **seconde étape** consiste à réaliser des **profils radiométriques transversaux** et des **graphiques de dispersion** afin d'analyser précisément le comportement radiométrique des **objets urbains**.
Cette analyse est réalisée sur les objets urbains « bâtiment » (toits de tuiles, de tôle et de gravier), « végétation » (arbres et pelouses), « route » (bitume) et « surface en eau ». Une catégorie « ombre portée » est ajoutée car elles sont omniprésentes sur des images THR.
Quatre profils transversaux ont été réalisés, sur chaque image fusionnée, sur une longueur moyenne de 150 m en fonction des objets urbains traversés (au minimum quatre catégories d'objets). Les profils radiométriques ont été ensuite comparés à un profil de référence (les images multispectrales qui ont servi à la fusion, rééchantillonnées à la même résolution que la fusion), canal par canal. Les statistiques relevées (sous-estimation, surestimation ou égalité des courbes des images fusionnées par rapport à la référence) permettent d'identifier le comportement spectral le plus récurrent pour chaque type d'objets urbains. Cette comparaison est complétée par l'analyse des graphiques de dispersion, réalisés entre les valeurs spectrales fusionnées et les valeurs spectrales de référence, pour les différentes catégories d'objets urbains.

Le **protocole d'évaluation quantitative** est celui proposé par Wald *et al.* (1997) pour l'analyse de qualité de la fusion selon le concept ARSIS. Comme il n'existe pas d'images multispectrales de référence à la résolution du panchromatique, il est difficile de comparer le résultat de la fusion aux images multispectrales originales. Dès lors, le problème est déplacé par la construction d'un ensemble d'images présentant les mêmes caractéristiques mais décalées d'un rapport de 4 (Annexe 6.3). Ainsi, en fusionnant un panchromatique ramené à la résolution du multispectral et un multispectral ramené à une résolution quatre fois plus petite, l'image fusionnée est comparable aux images multispectrales originales. Un ensemble de paramètres statistiques basés sur la différence entre l'image originale et l'image fusionnées sont ensuite calculés (biais, différence des variances, coefficient de corrélation et écart-type des différences). Le **biais** représente l'erreur systématique introduite par la méthode. La **différence des variances** relativement à la variance originale (exprimée en pourcentages) représente la quantité d'information introduite ou perdue par la méthode par rapport à l'image originale. Si la méthode introduit trop d'information, cette différence est négative (la variance estimée est supérieure à la variance vraie) ; si la méthode n'en introduit pas assez, cette différence est positive. Le **coefficient de corrélation** indique le degré de similarité globale des structures de petite taille entre l'image originale et celle fusionnée. L'**écart-type des différences** permet de juger de l'étalement des erreurs autour de la valeur moyenne.

6.2.1.2 Analyses des résultats : comparaison des images fusionnées

La méthode de **fusion par corrélation**, développée par Serradj *et al.* (1991), est inspirée des travaux de Cliche et Bonn (1985), Welch et Ehlers (1987) et Chavez *et al.* (1991). Elle est basée sur le principe que les modifications au niveau des valeurs radiométriques des canaux multispectraux sont dépendantes de la largeur de la bande de longueur d'onde du canal panchromatique et donc des coefficients de corrélation. Les résultats des différents tests effectués, sur les images Quickbird, pour identifier la fusion « optimale » d'un point de vue statistique sont présentés à l'annexe 6.2. Le **concept ARSIS** (Amélioration de la résolution Spatiale par Injection de Structure, -Wald et Ranchin, 2001-), développée par l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris (CENERG – Groupe Télédétection et Modélisation), est basée sur les transformées en ondelettes (Annexe 6.3). La fusion des images Quickbird est réalisée à partir de l'image panchromatique ramenée à 2.8 m et des images multispectrales ramenées à 11.2 m. Le résultat est une image fusionnée à 2.8 m dont la qualité spectrale est comparable aux images multispectrales originales à 2.8 m. La Figure 6.8 localise les imagettes qui ont servi à l'analyse qualitative et la Figure 6.9 présente un extrait des images originales et des images fusionnées sur la zone de Strasbourg-centre.

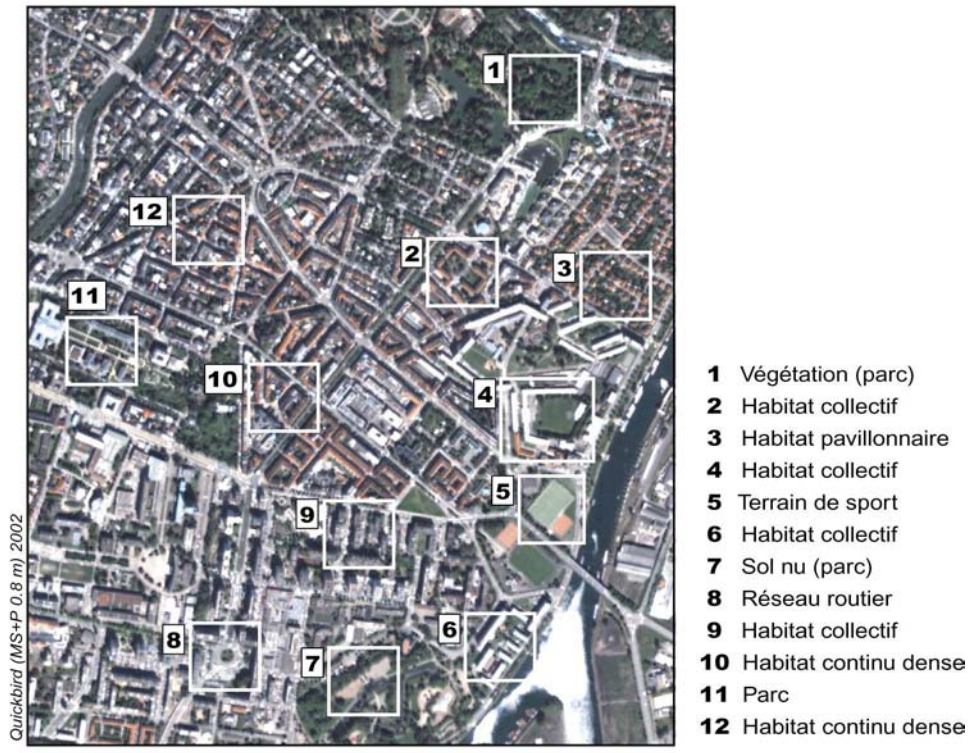


Figure 6.8 – Localisation des imagettes pour l'évaluation qualitative ***(C)***.

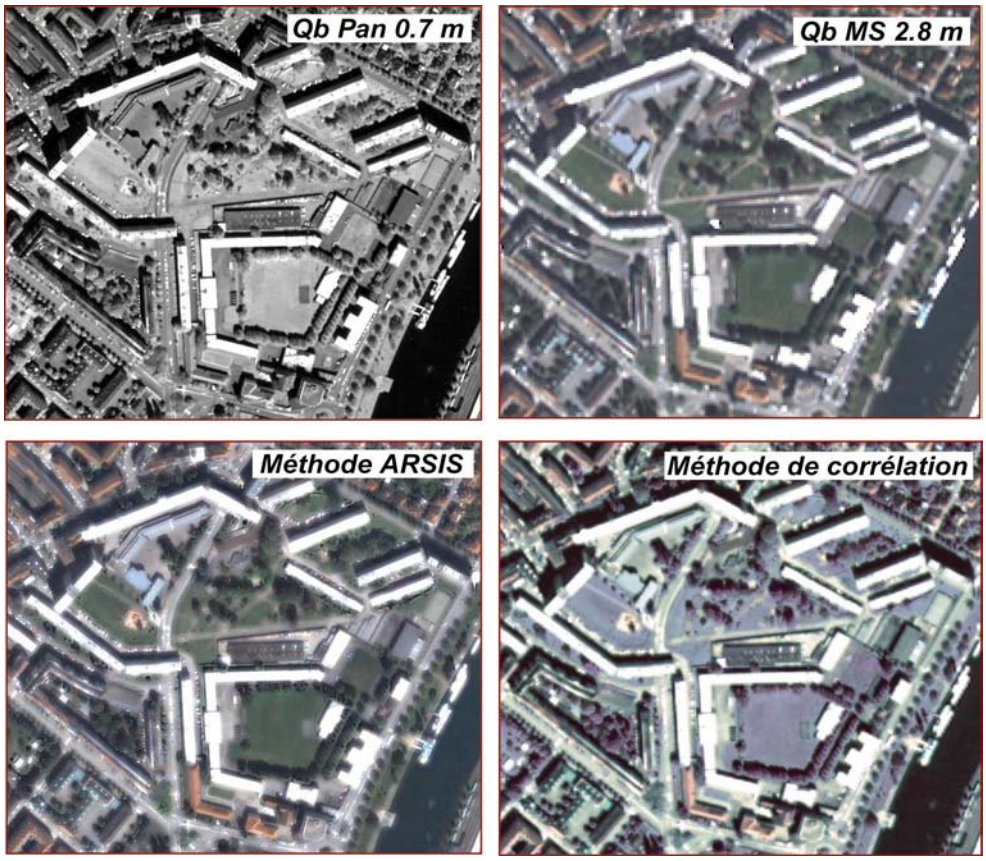


Figure 6.9 – Extrait des images brutes multispectrales et panchromatiques QUICKBIRD et des images fusionnées selon la méthode de corrélation et selon la méthode ARSIS (couleurs naturelles) ***(C)***.

6.2.1.2.1 Analyse qualitative

Pour la **première étape** de l'analyse qualitative, une orthophotographie en couleurs naturelles sur la zone de Strasbourg (IGN, 1998) a été réchantillonnée à 0.7 m afin de ne pas biaiser la comparaison visuelle réalisée par les dix utilisateurs. Les résultats de l'analyse qualitative par les utilisateurs (experts ou non-experts) sont unanimes. Les **images fusionnées** selon le concept ARSIS sont restituées avec une **qualité spectrale proche de la réalité** (orthophotographie couleur), quel que soit le type d'objets. Par contre, la fusion par la méthode de corrélation, si elle restitue de manière suffisante la qualité spectrale des objets de type « bâtiments » (toits de matériaux différents), elle ne permet pas d'interpréter correctement la végétation urbaine (Figure 6.9).

L'analyse des quatre **profils radiométriques** dont deux sont présentés en exemple à la Figure 6.10, permet de préciser ces résultats de manière plus objective. L'analyse des courbes des profils confirme la qualité de restitution des images fusionnées selon le concept ARSIS. Ils confirment également les bons résultats de la méthode de corrélation pour les objets de type « routes », « surfaces en eau » et « ombres ». Par contre, avec cette méthode, les objets de type « végétation » (pelouses et arbres) sont sous-estimés dans la bande B3 (proche infrarouge) et surestimés dans la bande B0 (bleu). Une surestimation est significative d'une sur-texturation, alors qu'une sous-estimation met en évidence un lissage des valeurs de réflectance. L'observation des résultats canal par canal montre que le canal B0 est le moins bien restitué avec la méthode de corrélation, pour la majorité des objets, alors que le canal B3 restitue mal uniquement les objets de type « végétation ».

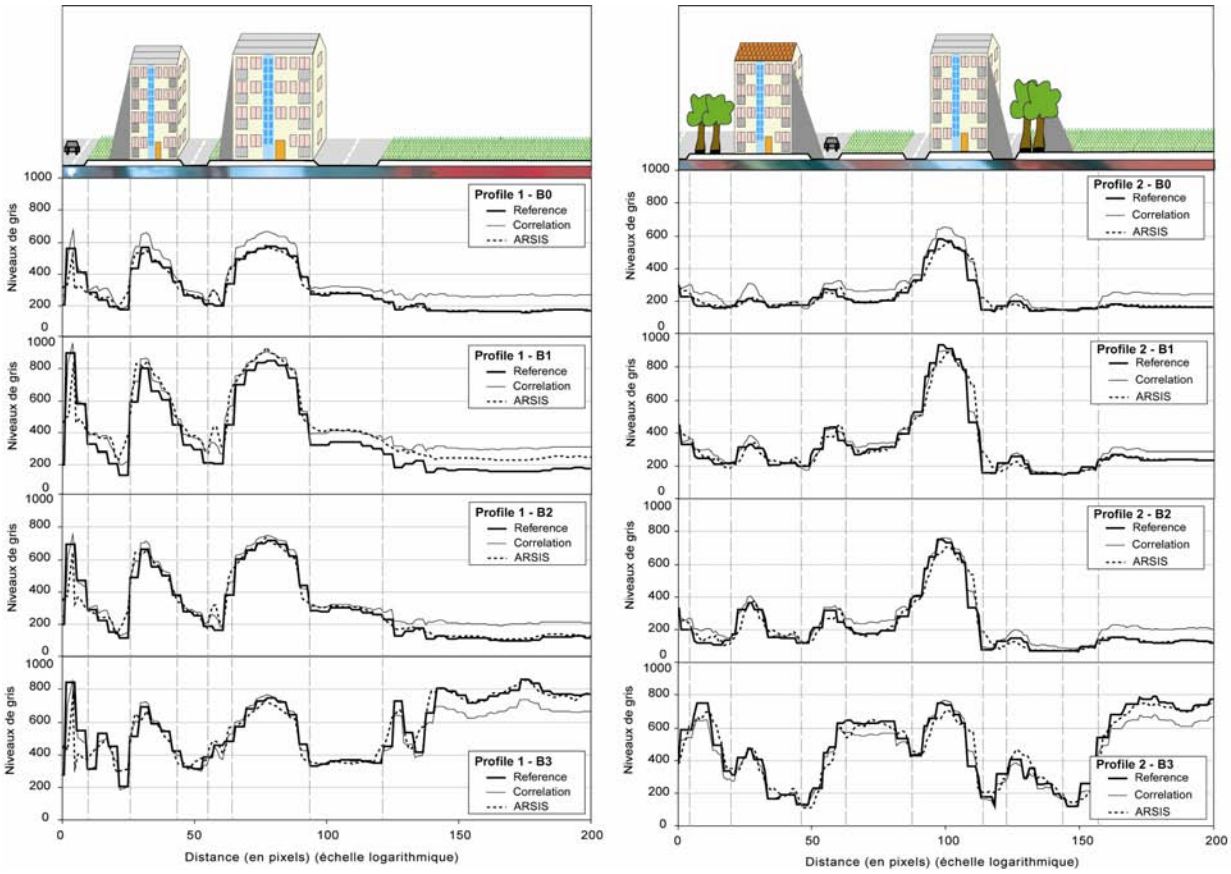


Figure 6.10 – Comparaison des profils radiométriques transversaux entre les images fusionnées et les images multispectrales originales (Puissant *et al.*, 2003b, Weber *et al.*, 2003).

L'analyse du comportement spatial le plus récurrent (canal par canal) pour chaque type d'objets urbains sur des diagrammes de dispersion (Figure 6.11) confirme la sur-texturation apportée par la méthode de corrélation pour les objets de type « végétation » dans les bandes B0, B1 et B2 et le lissage dans la bande B3. A l'inverse, les objets de type « surface en eau » et « ombre » sont lissés dans B0 et B1 et sur-texturés dans B2 et B3. Leur analyse met également en évidence une moins bonne restitution des bâtiments à toits de tuiles, par rapport aux autres matériaux urbains (gravier, tôle) dans le canal B3.

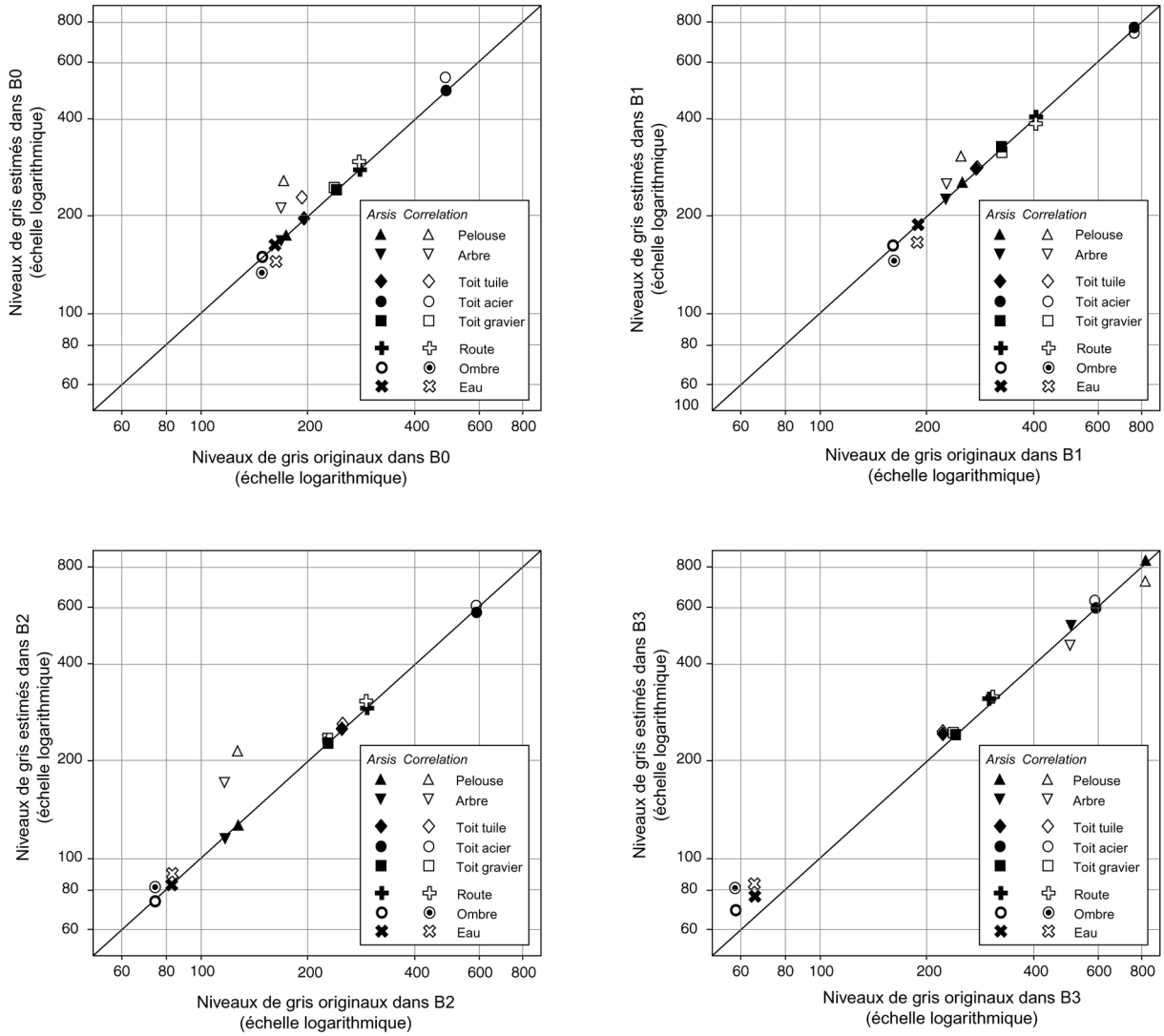


Figure 6.11 – Comparaison des valeurs spectrales des images fusionnées et des images multispectrales originales (Puissant *et al.*, 2003b, Weber *et al.*, 2003).

6.2.1.2.2 Analyse quantitative

Le tableau 6.4 présente les paramètres statistiques globaux sur les différences entre les images multispectrales originales et fusionnées QUICKBIRD selon la méthode ARSIS et la méthode par corrélation. L'analyse des différents coefficients confirment la meilleure qualité spectrale des images issues de la fusion ARSIS ; la méthode de corrélation introduit un biais élevé. Les écart-types des différences sont comparables dans les deux méthodes, même si les valeurs sont plus faibles pour la méthode ARSIS.

Tableau 6.4 - Statistiques* sur les différences entre images originales et images synthétisées QUICKBIRD (Puissant *et al.*, 2003 ; Weber *et al.*, 2003).

		Biais (%)	Différence des variances* (%)	Coefficient de corrélation (%)	Ecart-type des différences** (%)
B0	CORRELATION	-11.3	-7.6	0.793	29.4
	ARSIS	-0.02	-14.2	0.852	25.4
B1	CORRELATION	1.25	22.8	0.700	34.5
	ARSIS	0.03	-19.7	0.860	29.9
B2	CORRELATION	-20.7	15.9	0.797	42.6
	ARSIS	-0.23	-17.6	0.848	40.1
B3	CORRELATION	2.8	17.8	0.643	44.8
	ARSIS	-0.14	-20.7	0.851	32.2

* relativement à la variance vraie
** relativement à la moyenne

Par rapport à d'autres résultats de fusion obtenus selon le concept ARSIS, les résultats sur les images QUICKBIRD sont de moins bonne qualité que ceux obtenus par exemple sur des images IKONOS (PNTS, 2002). Or les résultats à partir des images IKONOS étaient meilleurs que ceux obtenus pour les images QUICKBIRD. La comparaison de ces résultats de fusion, selon le même algorithme, appliqué sur les images QUICKBIRD et IKONOS, s'expliquent peut être par le fait qu'en passant d'une résolution métrique à une résolution réellement sub-métrique, le champ d'applications des méthodes de fusion change. Ce passage semble similaire aux changements constatés en passant de l'image décamétrique à l'image métrique (PNTS, 2002). Des algorithmes de fusion mieux adaptés aux images THR sub-métriques devraient peut-être être développés ?

6.2.2 Qualité intrinsèque des bandes spectrales et utilité pour différencier les objets urbains selon leurs matériaux

La «validité» des bandes multispectrales actuelles, c'est-à-dire leur « aptitude à différencier » les objets urbains selon leurs divers matériaux constitutifs, est vérifiée sous l'**hypothèse** que **à des matériaux spécifiques correspondent des objets urbains particuliers**. Une des méthodes la plus souvent utilisée pour ce type d'analyse est de comparer la réflectance des objets urbains avec des mesures spectrales réalisées au sol. Si de nombreuses mesures existent pour les différents types de minéraux (Groove *et al.*, 1992 ; Clark *et al.*, 1990), très peu de mesures spectrales des matériaux caractéristiques du milieu urbain existent (Van der Meer, 2002). Dans ce contexte, des **mesures** ont été réalisées sur les **matériaux urbains les plus répandus** et dont le comportement spectral est stable dans le temps (cf. § 6.3.1.1), à l'aide d'un **radiomètre portatif** (radiomètre Barringer MKII, Groupe de Recherche en Télédétection et Radiométrie – LSIIT, Strasbourg).

Un radiomètre mesure le montant d'énergie réfléchie d'une surface au sol ou d'un objet dans différentes longueurs d'ondes (Milton, 1987). Ces mesures sont converties en mesures de **luminance**[8]. La magnitude de la luminance dépend de la somme d'énergie solaire entrant (**irradiance**) qui atteint la cible ; elle peut varier significativement selon la date, l'heure du jour (angle zénithal solaire), les conditions atmosphériques, le temps, la topographie, l'orientation de la surface mesurée. Le ratio entre le flux d'énergie incident et réfléchi, dans les différentes longueurs d'onde, correspond à la **réflectance spectrale**, laquelle comme le souligne Curran (1985) est un terme souvent utilisé par erreur dans la littérature à la place de la luminance. En effet, la réflectance est une pro-

[8] La luminance correspond à la puissance reçue, par unité d'angle solide et de surface du capteur (radiance en anglais).

priété inhérente à l'objet qui malgré les valeurs de luminance et d'irradiance, est indépendante de l'intensité et de la nature de l'illumination. La réflectance est donc une unité standard en télédétection lorsque les images proviennent de différents capteurs, prises à des heures différentes. Les mesures de réflectance permettent de comparer n'importe quelles autres mesures spectrales issues de bibliothèques existantes.

Le paragraphe 6.2.2.1 détaille la méthodologie d'expérimentation des mesures radiométriques. Ces mesures sont comparées sur des matériaux identiques aux réponses spectrales issues d'images AVRIS, et aux réponses spectrales de l'image QUICKBIRD de Strasbourg (2002). L'objectif est de **vérifier si les bandes spectrales actuelles sont adaptées à l'identification des matériaux urbains** (§ 6.2.2.2). Le paragraphe 6.2.2.3 discutera de la résolution spectrale adaptée aux objets urbains et aux matériaux qui les constituent.

6.2.2.1 Méthodologie d'expérimentation du radiomètre Barringer MK-II

Le mode opératoire des mesures radiométriques, réalisées avec le radiomètre portatif Barringer MK-II, est le suivant (Figure 6.12) :

- le radiomètre est tenu à la verticale du sol, à 1 m de hauteur de la cible ;
- le champ de prise de vue du radiomètre permet d'effectuer des mesures sur des surfaces au sol de mesure d'un demi mètre carré ;
- les conditions de prises de vue, pour des mesures optimales sont un ciel bleu sans nuages, entre 10h et 16h GMT dans la direction du soleil pour éviter les effets d'ombre portée ;
- pour chaque objet, 2 ou 3 enregistrements sont effectués canal par canal.

Le radiomètre est constitué de deux « canaux », le premier constitué de filtres de type TM 1 à 4 (canal 1) et le deuxième de filtres de type XS 1 à 3 (canal 2). Ils sont distants de 3.5 cm, ce qui permet un recouvrement du champ de vue de 85 %. Les valeurs mesurées expérimentalement sur le terrain par le radiomètre correspondent à **l'irradiance spectrale** globale au niveau de la surface-objet, qui est normalisée par rapport à une **surface de référence** dont la réflexion est totale (Gladwell *et al.*, 1983 ; Whithney *et al.*, 1983). Le ratio entre les deux mesures permet de calculer une valeur de réflectance, exprimée en pourcentage.

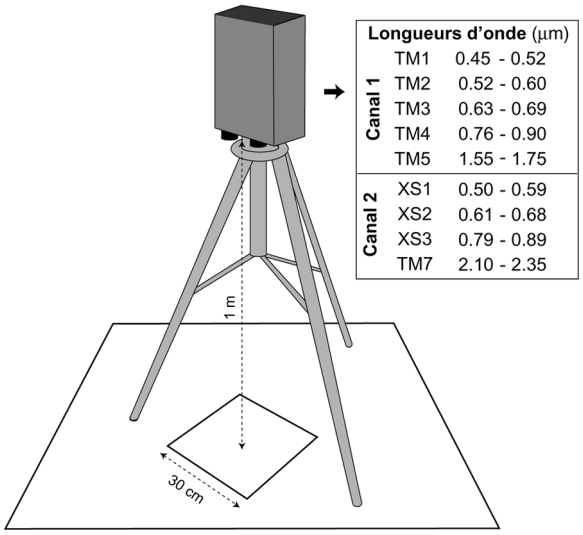


Figure 6.12 – Mesures spectrales avec le radiomètre Barringer.

Les pourcentages de réflectance ne sont pas directement comparables aux réponses spectrales extraites de l'image qui donnent des valeurs de niveaux de gris (Digital Number). Le passage d'une valeurs de niveaux de gris d'une image à une valeur de réflectance passe par le calcul préalable de la luminance, dont la formule est donnée par Markham et Barker (1987) (1). La transformation de la luminance à la réflectance exo-atmosphérique (Price, 1985 ; Alchrona, 1988) est ensuite calculée selon (2). La valeur de réflectance obtenue en pourcentages est comparable aux mesures spectrales réalisées au sol par le radiomètre.

(1) $L_\lambda = N.K + L_{min}$ exprimé en $mW/m^2/sr/\mu m$ où N = valeur lue sur l'enregistrement en D.N. (Digital Number)

$$K = \frac{L_{max\lambda} - L_{min\lambda}}{N_{max\lambda}}$$ avec $N_{max\lambda}$ = nombre maximum de D.N sur le capteur (64,128,256)

(2) $$\rho_\lambda = \frac{\pi \cdot L_\lambda \cdot d^2}{E_{sun\lambda} \cdot \cos \theta_s}$$

où ρ_λ = réflectance au niveau du capteur

L_λ = valeur calculée à partir de l'enregistrement

$E_{sun\lambda}$ = irradiance exo-atmosphérique solaire (constante = 1367 W/m^2)

θ_s = angle d'élévation solaire (en degrés)

d = Distance Terre-Soleil à la date de l'enregistrement
= 1 + 0.0167 sin [2π(D-93.5)/365] où D = nombre qui correpond au jour de l'enregistrement

6.2.2.2 Comparaison des mesures spectrales issues du radiomètre et d'images THR optique et hyperspectrale

Comme il est impossible de fournir un état des lieux exhaustif de tous les matériaux caractéristiques du milieu urbain, constitués de matériaux naturels qui peuvent être mono ou multi-minéraux, les mesures radiométriques ont été réalisées sur les matériaux urbains les plus répandus :

(1) des **surfaces au sol** (bitume/asphalte, pavé, surfaces chlorophylliennes de type pelouse) ;
(2) et des **toits des bâtiments** (tuile de céramique rouge, ardoise, éternit, tôle, recouvrement bitumé).

Les propriétés spectroscopiques sont directement liées à ces matériaux de base.

Les mesures obtenues avec le **radiomètre Barringer MK-II** ont ensuite été **comparées** à des mesures dérivées du **capteur hyperspectral AVIRIS** (National Consortium on Remote Sensing in Transportation, 2002). En effet, alors que le radiomètre Barringer mesure la réflectance des matériaux dans une « gamme » de longueurs d'onde (0.07 à 0.2), le capteur AVIRIS la mesure dans des bandes spectrales plus étroites (0.1 µm). Leur comparaison devrait permettre d'**affiner l'analyse du comportement spectral** des matériaux urbains et d'**identifier des bandes spectrales** supplémentaires « en dehors » des bandes classiques utiles pour différencier les matériaux urbains.
A partir des données AVIRIS sur la région de Santa Barbara (Californie), une **bibliothèque spectrale « régionale » des matériaux urbains** a été construite. Cette librairie spectrale, disponible sur Internet, contient les spectres de vingt types de matériaux (130 spectres individuels) obtenus à partir d'échantillons considérés « purs » (bien qu'il soit extrêmement difficile de choisir des zones de pixels purs sur une image). De cette base de données, les spectres des matériaux, comparables aux mesures réalisées par le radiomètre Barringer, ont été extraits.

Pour les **images QUICKBIRD**, les moyennes des niveaux de gris (DN) de cinq échantillons par type de matériaux ont été extraits dans un premier temps. Ils ont été choisis sur l'ensemble de l'image multispectrale à 2.8 m selon les mêmes caractéristiques d'éclairement. Dans un deuxième temps, la valeur moyenne des niveaux de gris a été utilisée pour calculer la luminance, puis le pourcentage de réflectance des différents matériaux, pour permettre la comparaison avec les mesures dérivées du radiomètre et du capteur AVIRIS. La Figure 6.13 (a et b) présente les résultats de ces différentes mesures accompagnées d'illustrations des matériaux. Les discontinuités observées dans les spectres des données AVIRIS sont dues aux bandes spectrales bruitées du capteur AVIRIS (entre 1.32 et 1.43 µm, 1.80 et 2.00 µm et 2.43 et 2.50 µm) en raison des perturbations atmosphériques et des bandes d'absorption (Herold *et al.*, 2002). Signalons que pour les matériaux de toit de bâtiments, les mesures ont été réalisées à l'horizontale. Les bandes spectrales du capteur LANDSAT 7 sont représentées afin de faciliter l'analyse et l'interprétation des différents graphiques.

Avant d'analyser et de comparer les courbes spectrales, il faut être conscient que les **mesures spectrales** représentent une **réponse à un instant *t*,** sans tenir compte des critères qui font varier ces mesures tels que l'orientation, l'éclairement (une partie d'un toit peut être éclairée alors que l'autre se trouve dans l'ombre), l'angle d'inclinaison du toit, l'âge du matériau, son état (hydrique, conservation, …), sa composition. Il existe, par exemple, plusieurs types de toits de tôle (acier, aluminium) ou plusieurs types de tuiles selon leurs formes (tuile plate, galbée, emboîtées et galbées) et leurs surfaces (mat, brillant). Dans ce cadre, nous ne considérons pas les mesures prises par le radiomètre comme des mesures « absolues » mais comme des exemples représentatifs des comportements spectraux des matériaux. De plus, **les mesures issues du radiomètre** constituent une **« phase de test »** avant de réaliser une bibliothèque spectrale plus complète des matériaux urbains.

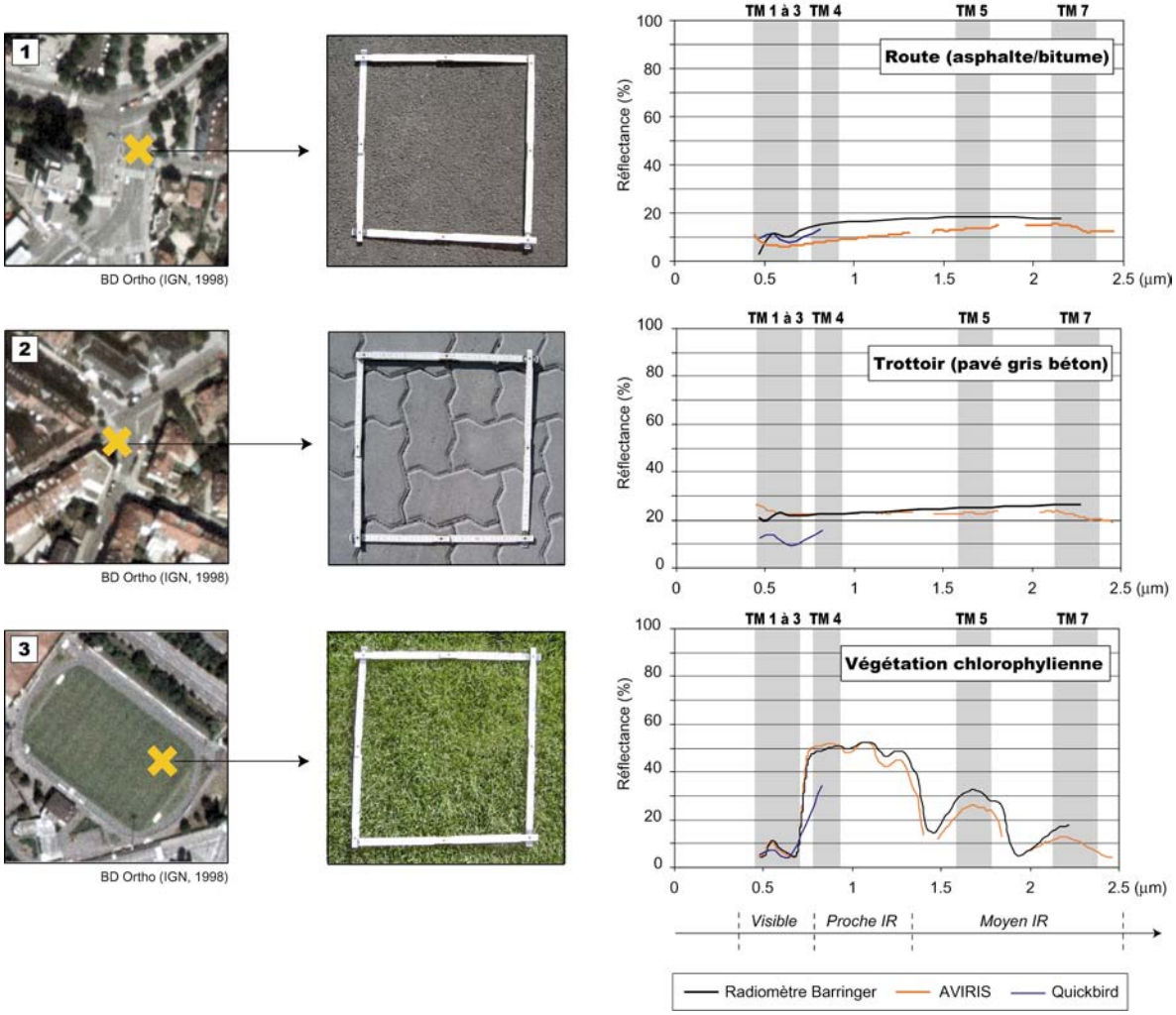


Figure 6.13a – Comparaison des mesures spectrales de matériaux « surfaces au sol » ***(C)***.

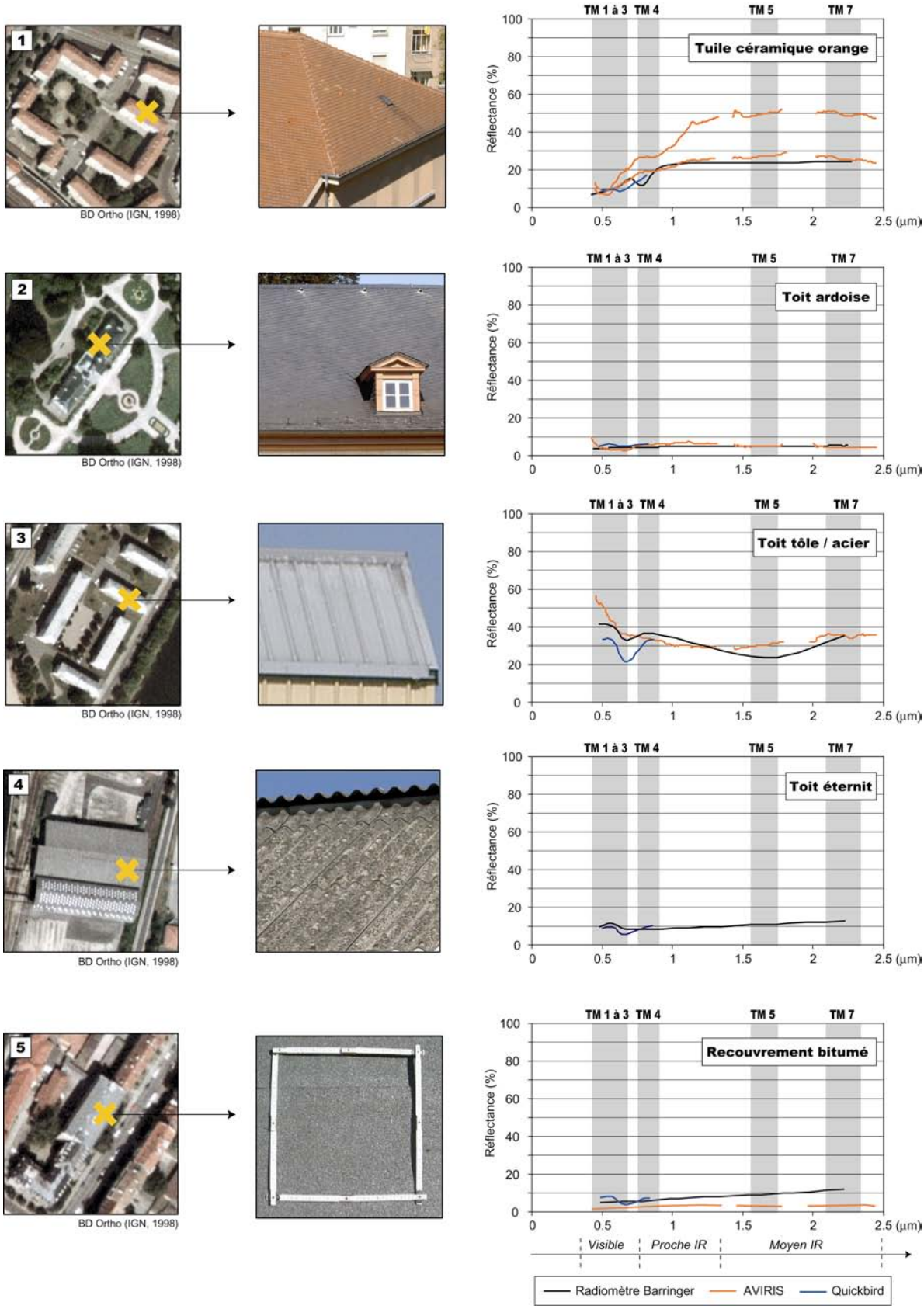


Figure 6.13b – Comparaison des mesures spectrales de matériaux « toits de bâtiment » ***(C)***.

La comparaison des courbes spectrales indique que **quel que soit le type de matériaux** :

(1) les courbes spectrales suivent une même tendance : une **augmentation de la réflectance** est observée lorsque les **longueurs d'onde** sont **plus élevées**, sauf pour les objets de type « toit de tôle » dont la réflectance diminue dans les grandes longueurs d'onde, avant d'augmenter à nouveau dans le MIR (2.1 et 2.35) et les objets de type « végétation chlorophyllienne » dont la réflectance est faible dans le rouge et élevée dans le PIR ;

(2) l'**augmentation dans les grandes longueurs d'onde** est plus importante pour les matériaux de type toit de tuiles, dont la réflectance varie dans le MIR en fonction de l'âge de la tuile, du type de tuile, de son orientation, de son degré d'inclinaison ;

(3) l'**augmentation dans les grandes longueurs d'onde** est **faible** pour les objets de type « bitume/asphalte » et « béton » (route, toit ou trottoir), et **quasi nulle** pour les objets de type toit d'« ardoises » ou « éternit ». Leur comportement similaire explique les confusions dans les classifications spectrales. En effet, en milieu urbain et selon le type de tissus urbains, ces matériaux sont le plus souvent contigus. Lorsqu'ils sont entourés de végétation, ces confusions peuvent être moins marquées.

De plus, **selon les types de matériaux** :

(4) les courbes spectrales issues du **radiomètre** suivent la **même tendance** sur les images QUICKBIRD et AVIRIS. Ces dernières sont toutefois plus précises que celles fournies par le radiomètre en raison du nombre de bandes dans lesquelles les mesures sont effectuées (109 bandes spectrales utilisables dérivées de AVIRIS, sur un total de 224 bandes, contre cinq à sept bandes pour le radiomètre.

(5) sur les **images QUICKBIRD**, les réponses spectrales apparaissent assez **semblables** quel que soit le type de matériaux. Seul le plus ou moins grand pourcentage de réflectance dans le PIR permet de les discriminer.

Cette analyse met en évidence les **limites des capteurs actuels THR** pour différencier, uniquement sur la base de quatre canaux, les différents matériaux urbains. En effet, une certaine variabilité spectrale apparaît dans plusieurs longueurs d'onde des différents matériaux analysés. Dans ce contexte, d'autres bandes spectrales, en dehors des canaux actuels, permettraient-elles d'améliorer la discrimination des matériaux urbains ? C'est ce que nous allons vérifier au paragraphe suivant.

6.2.2.3 Définition de bandes spectrales « optimales » pour discriminer les matériaux urbains ?

Les bandes spectrales les plus adaptées pour discriminer les différents types de matériaux urbains ont été identifiées à partir des courbes de réflectance des images AVIRIS (Figure 6.14). En effet, comme nous l'avons signalé ci-dessus, contrairement aux mesures issues du radiomètre pour lequel une mesure est donnée dans un canal (représentant une gamme de longueurs d'onde), les bandes spectrales de AVIRIS sont beaucoup plus étroites (0.1 µm). Les longueurs d'ondes où de **petites variations spectrales** apparaissent sous forme de « pics », sont considérées comme une **source d'information potentielle** pour améliorer la discrimination des objets urbains.

Douze bandes spectrales ont été identifiées comme les plus adaptées pour l'identification des matériaux urbains : **trois dans le visible** (0.45 à 0.76 µm) et **une dans le PIR** (0.90 µm) conformément aux capteurs existants ; les **huit autres** bandes « optimales » sont localisées en dehors des bandes spectrales de LANDSAT et de QUICKBIRD, à l'exception d'une bande spectrale à **2.12** et **2.30 µm** (bande 7 de LANDSAT). Elles correspondent aux longueurs d'onde **0.95 µm (PIR), 1.12 µm, 1.25 µm, 1.45 µm 1.78 µm et 2.05** µm.

Ces conclusions rejoignent les résultats d'une étude récente réalisée dans ce domaine (Herold *et al.*, 2002 ; Herold *et al.*, 2003). Cette étude a mis en évidence 14 bandes spectrales dont la plupart correspondent à celles que nous avons identifiées. Les deux bandes supplémentaires identifiées (1.96 µm et 2.46 µm) dans cette étude correspondent à des bandes spectrales bruitées.

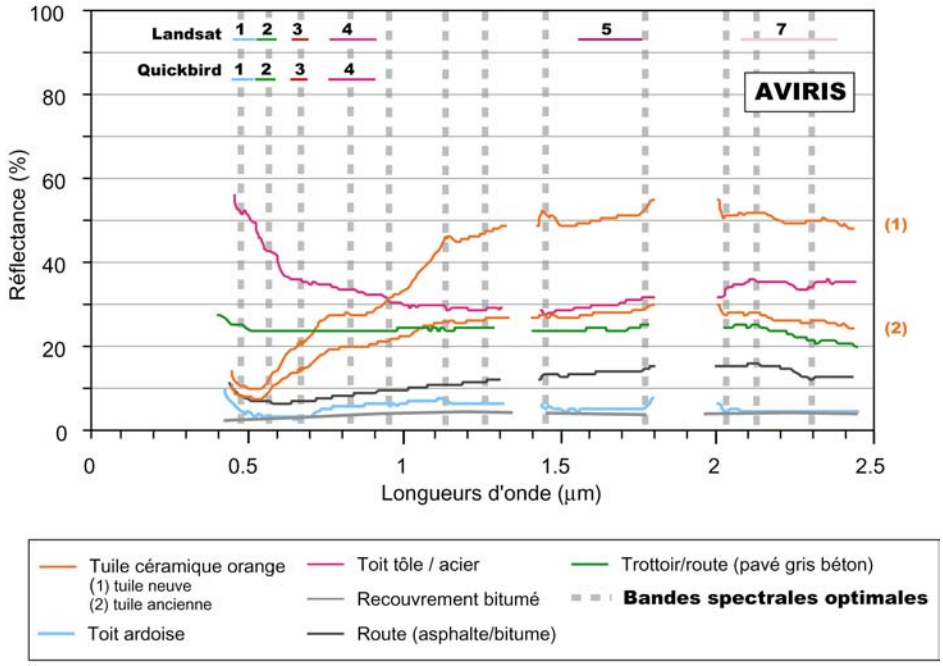


Figure 6.14 – Pourcentage de réflectance des matériaux urbains selon les données AVIRIS et identification de bandes spectrales optimales ***(C)***.

Pour chaque type de matériaux urbains, les bandes spectrales les plus utiles sont précisées au Tableau 6.5.

Tableau 6.5 – Bandes spectrales utiles pour discriminer les matériaux urbains.

Objets	Matériaux urbains	Bandes spectrales adaptées (µm)
Toits de bâtiments	Tuile céramique orange	1.12 et 1.45 (PIR) 1.78 et 2.05 (MIR)
	Ardoise	0.95, 1.12 et 1.45 (PIR) 2.05 (MIR)
	Tôle/acier	1.25 et 1.45 (PIR) 2.05 (MIR)
	Recouvrement bitumé	1.45 (PIR) 1.78, 2.12 et 2.30
Surfaces au sol Type route/trottoir	Asphalte/bitume	1.45 (PIR) 1.78, 2.12 et 2.30 (MIR)
	Béton	1.12 (PIR) 2.12 et 2.30 (MIR)

Il aurait été intéressant de vérifier leur apport dans un processus de classification uniquement spectrale. La non-disponibilité d'images hyperspectrales sur la zone de Strasbourg ne nous a pas permis de le vérifier. Herold *et al.* (2002 et 2003) ont montré, par la comparaison de classifications spectrales réalisées sur des images IKONOS et AVIRIS de la région de Santa Barbara (Californie), que les bandes spectrales supplémentaires identifiées dans le MIR permettent une meilleure dis-

crimination des objets urbains. Toutefois, à THR, les objets urbains sont constitués de plusieurs « zones homogènes de pixel » (par exemple, un toit est constitué d'une zone homogène de pixel éclairé et d'une autre zone non-éclairée). Ces résultats mettent en évidence les limites des classifications spectrales et suggèrent l'utilisation d'autres méthodes de classification (orientée-objets). Cet aspect est détaillé au chapitre 8.

Cette étude exploratoire démontre tout l'intérêt de disposer de **plusieurs bandes spectrales autres** que celles dont dispose les **capteurs actuels** et des bandes spectrales de **largeur plus étroite** pour différencier les matériaux proches spectralement. Dans ce cadre, l'élaboration d'une bibliothèque spectrale plus complète des matériaux caractéristiques du milieu urbain devrait utiliser un radiomètre prenant des mesures à toutes les longueurs d'onde (en continu jusque dans l'IR thermique). Signalons également qu'il serait utile d'explorer le comportement spectral des objets urbains **au-delà de longueur d'onde de 2.5 µm** (IR thermique). Par ailleurs, l'analyse de la **variabilité annuelle des radiométries** des différents objets urbains pourrait conduire à définir des dates de prises de vues mieux adaptées à chaque type d'objet urbain. Ceci nécessiterait l'acquisition d'images et de mesures radiométriques à des dates différentes.

6.2.3 Optimisation du canal Panchromatique

Les longueurs d'onde du canal Panchromatique des capteurs actuels HR et THR varient de 0.4 à 0.9 µm (Figure 6.7). Deux groupes de capteurs se différencient : les **capteurs à THR récents** (IKONOS, QUICKBIRD et ORBVIEW) avec un canal Panchromatique large et les **capteurs plus « anciens »** (LANDSAT, IRS, SPOT 4 et 5) avec un canal Panchromatique étroit. La tendance des nouveaux capteurs est donc à l'élargissement du canal Panchromatique. Aucune explication scientifique n'est fournie par les constructeurs sur cet élargissement. L'**hypothèse** est qu'une **bande panchromatique plus large améliore la visibilité dans les ombres**.

Le CNES, dans le cadre de l'activité de recherche et de développement de PLEIADES-HR, a simulé des images « ATS1 » avec **sept filtres panchromatiques** (résolution de 27 cm) sur l'agglomération de Toulouse (cf. Tableau 6.1 et Figure 6.15). L'objectif est de vérifier s'il existe **une bande panchromatique spécifique qui améliore la visibilité dans les ombres**, par l'établissement d'un protocole reproductible.

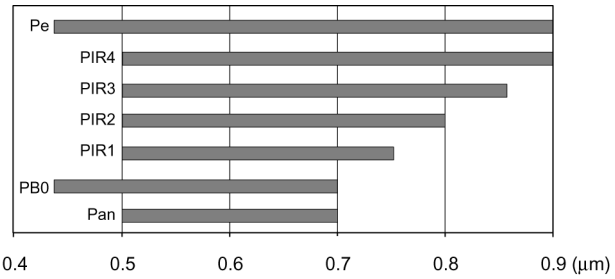


Figure 6.15 – Bandes spectrales des sept filtres panchromatiques (ATS1 – PLEIADES-HR).

6.2.3.1 Méthodologie du protocole pour optimiser le canal Panchromatique en milieu urbain

Le test se présente sous la forme d'une fiche d'évaluation qualitative (Annexe 6.3). Deux questions sont posées à dix utilisateurs ; cinq experts en photo-interprétation et cinq non-experts. La **première partie du test** (question 1) consiste en une **photo-interprétation à l'écran** des sept images panchromatiques sur trois zones d'ombres « d'intensité différente » (Figure 6.16). Il est demandé aux utilisateurs d'attribuer, pour les **trois types de zones d'ombres**, un indice en termes de facilité d'interprétation : (1) « aisée », (2) « moyennement aisée » ou (3) « difficile ». Ce test a été effectué à partir d'**images brutes** et d'**images filtrées** par un opérateur Laplacien de type « passe-haut » :

-1	-1	-1
-1	16	-1
-1	-1	-1

Filtre Laplacien de type « passe-haut »

Pour vérifier si un canal panchromatique permet d'améliorer la photo-interprétation des objets urbains proprement dit, le test a été effectué, dans un deuxième temps, sur les objets « visibles » (en dehors des zones d'ombre) de la zone 1 à partir de l'image brute (Figure 6.16). Les mêmes indices de facilité d'interprétation ont été attribués, par les dix utilisateurs, aux contours du bâti, à la forme des arbres et à la différence entre la pelouse et la route.

La somme des indices obtenus (1) pour les objets visibles dans les trois zones d'ombre et (2) pour les objets urbains en dehors des zones d'ombres, constitue un **indicateur de qualité**. Plus la valeur de l'indicateur est élevée, plus l'image panchromatique est difficile à interpréter et plus les zones d'ombres sont opaques.

La **seconde partie du test** (question 2) consiste à identifier les seuils inférieur et supérieur (amélioration de contraste entre 0 et 255) qui permettent une photo-interprétation aisée des objets listés dans les trois zones d'observation. Un seuil faible indique le besoin d'une plus grande amélioration de contraste.

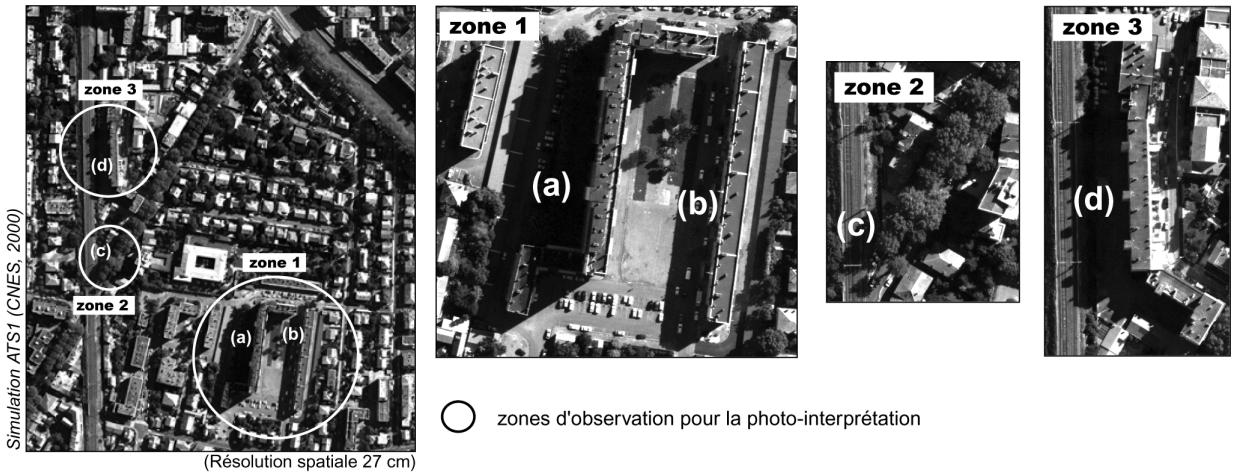


Figure 6.16 – Zones d'observation des images ATS1 : zone 1 (ombre moyenne), zone 2 (ombre claire) et zone 3 (ombre foncée).

6.2.3.2 Identification du canal Panchromatique optimal pour une meilleure visibilité dans les ombres et une meilleure identification des objets urbains

Avant d'interpréter les résultats des tests effectués par les utilisateurs, le **comportement spectral des trois zones d'ombre** (Figure 6.17) ainsi que les **histogrammes** des sept images sont analysés (Figure 6.18). Les histogrammes mettent en évidence un étalement de la dynamique des niveaux de gris avec l'élargissement de la bande vers l'infrarouge qui s'explique par l'augmentation du flux d'énergie. L'analyse de l'homogénéité des zones d'ombre (écart-type) indique deux tendances :

(1) les ombres « foncées » deviennent homogènes avec l'élargissement du panchromatique vers l'infrarouge (excepté dans la Pe), par contre elles deviennent hétérogènes avec un élargissement vers le bleu ;

(2) à l'inverse, les ombres « medium » et « claires » deviennent hétérogènes avec l'élargissement du panchromatique vers l'infrarouge.

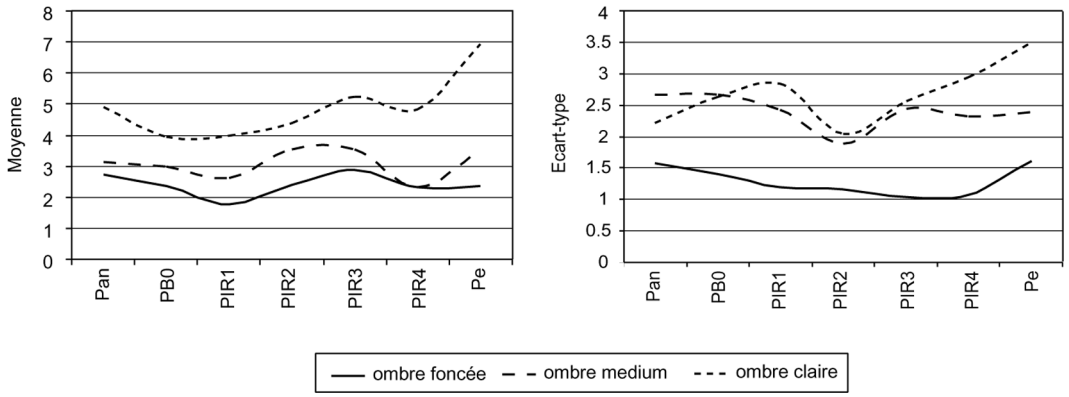


Figure 6.17 – Comportement spectral des trois zones d'ombre.

Il est remarquable de préciser que les réponses par les experts et les non-experts sont concordants, ce qui permet de valider le test. Les **résultats pour la visibilité dans les zones d'ombres**, détaillés au tableau 6.6, montrent une amélioration de l'interprétation lorsque les images panchromatiques sont élargies vers l'infrarouge. L'analyse des seuils indique l'utilité de seuils faibles pour les ombres foncées et de seuils plus élevés pour les ombres moyennes à claires.

Tableau 6.6 – Résultats des tests (question 1) sur les images brutes et filtrées.

	Visibilité dans les ombres « brutes »			**Visibilité dans les ombres « filtrées »**			**Identification des objets Urbains (image brute)**		
Bandes panchromatiques (µm)	Zone 1 Ombre clair	Zone 2 Ombre medium	Zone 3 Ombre foncé	Zone 1 Ombre clair	Zone 2 Ombre médium	Zone 3 Ombre foncé	Zone 1 Bâti (contour)	Zone 2 Arbres	Zone 3 Pelouse /Route
Pan : 0.50-0.70	28	36	36	10	28	28	22	22	30
PB0 : 0.44-0.70	28	34	36	10	20	30	22	24	28
PIR1 : 0.50-0.75	28	34	36	10	10	28	20	22	26
PIR2 : 0.50-0.80	24	34	36	10	10	10	22	28	24
PIR3 : 0.50-0.85	24	32	36	10	10	10	22	14	16
PIR4 : 0.50-0.90	24	32	36	10	10	10	24	14	14
Pe : 0.44-0.90	22	32	34	10	10	10	22	14	16

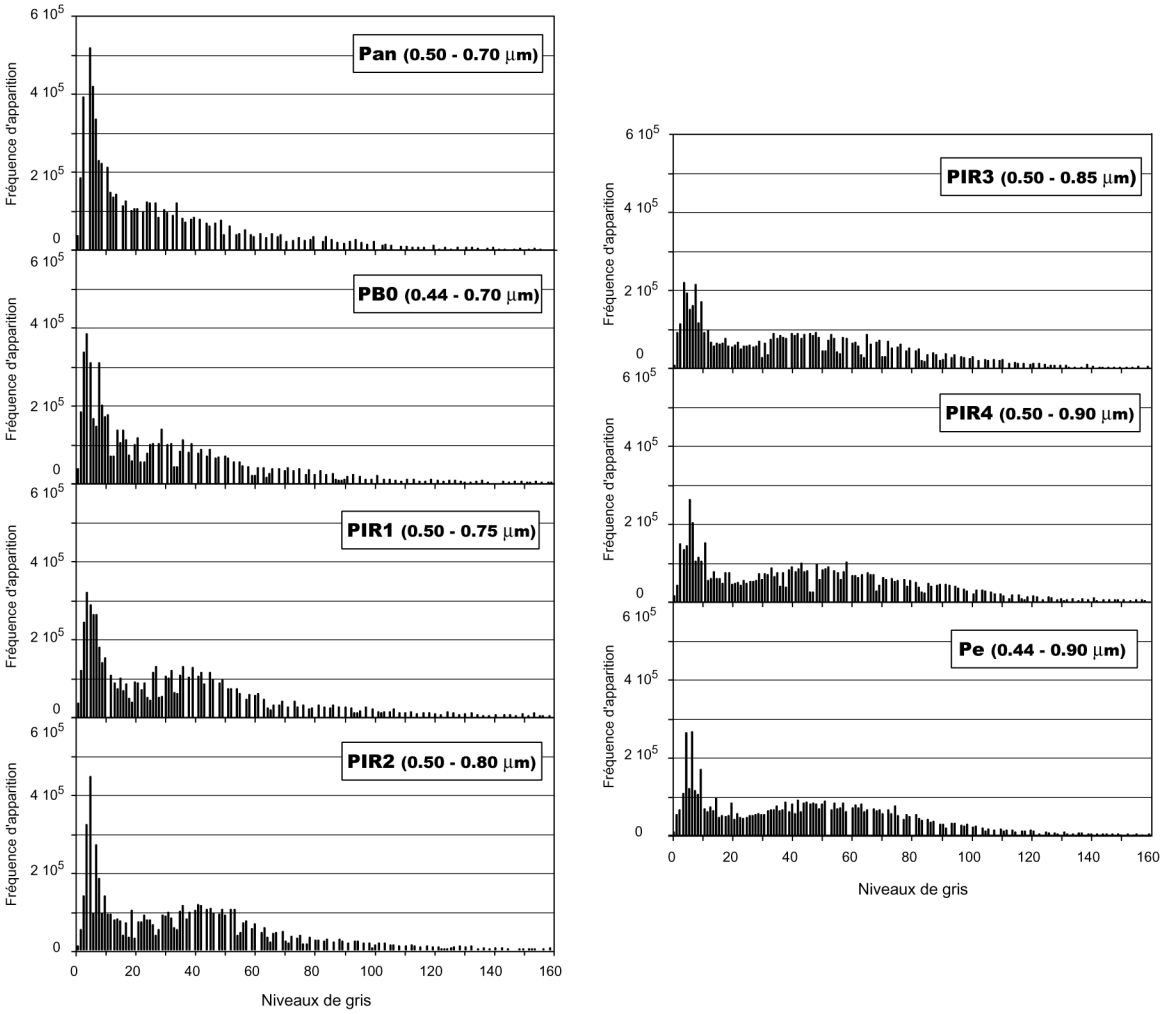


Figure 6.18 – Histogrammes des images simulées panchromatiques.

Les résultats des tests pour vérifier une **meilleure discrimination des objets urbains** (Tableau 6.6) confirment l'intérêt d'un élargissement de la bande panchromatique vers le PIR pour différencier la pelouse et les arbres des autres objets urbains (route). Ceci s'explique par le comportement spécifique de la végétation qui réfléchit dans l'infrarouge.

Pour compléter ces résultats et vérifier si un canal panchromatique élargi vers le PIR permet également une meilleure identification des **contours des bâtiments**, à des fins de mises à jour de bases de données par exemple, **quatre filtres directionnels classiques de détection de contours** ont été appliqués sur un extrait de l'image brute (Figure 6.19a). Au regard de l'orientation des bâtiments, les filtres qui identifient les contours des bâtiments orientés NW-SE ont été testés :

0	1	1
-1	0	1
-1	-1	0

Filtre de type « Prewitt »

0	1	2
-1	0	1
-2	-1	0

Filtre de type « Sobel »

1	0	0
-1	1	0
-1	-1	1

Filtre de type « Roberts »

-3	-3	-3
5	0	-3
5	5	-3

Filtre de type « Kirsch »

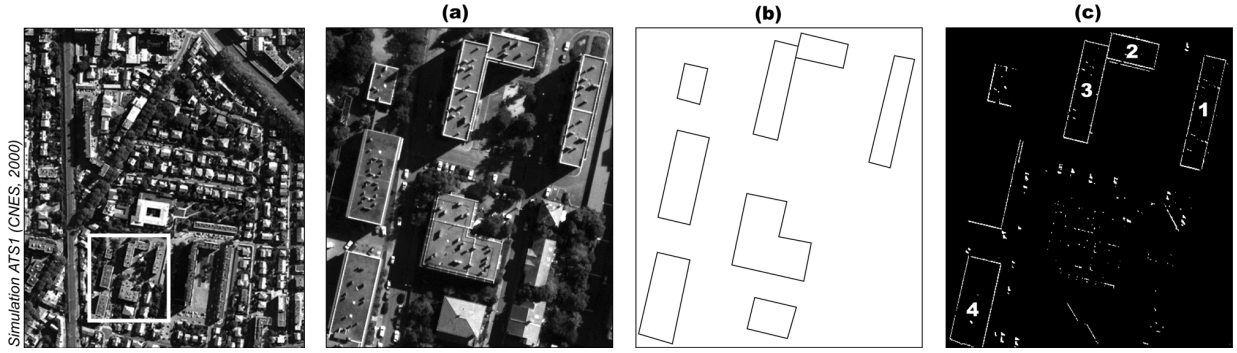


Figure 6.19 – (a) Extrait de l'image panchromatique utilisée dans le test de détection des contours (Pan), (b) contour des bâtiments à identifier et (c) exemple de résultat de détection des contours selon le filtre de Prewitt (identification de quatre bâtiments).

Les images filtrées obtenues ont été ensuite binarisées (blanc : contour de bâtiment et noir : le reste) selon le choix d'un seuil identique sur toutes les images panchromatiques. Le **nombre de bâtiments** dont le contour est totalement identifié est utilisé comme **indicateur de qualité** (Figure 19c). L'objectif est de vérifier l'influence de l'élargissement de la bande panchromatique sur la détection des contours. Les résultats sont détaillés à la Figure 6.20 par bande panchromatique et par type de filtre. Ils montrent, à l'inverse de la végétation, qu'un élargissement de la bande spectrale vers l'infrarouge permet de détecter automatiquement un plus petit nombre de bâtiments.

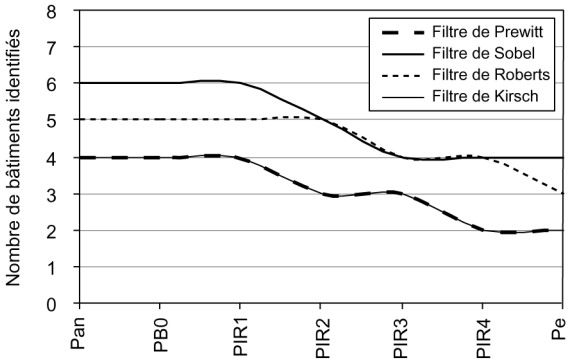


Figure 6.20 – Résultats du test de détection des contours des bâtiments.

En résumé, le panchromatique à partir duquel les **améliorations** sont visibles dans les **zones d'ombres** et qui permet de différencier la **végétation** correspond à la **bande PIR3** (0.50 – 0.85 µm). Par contre, un panchromatique étroit (0.44 - 0.75 µm), du type SPOT 4 et 5, apparaît plus adapté pour une détection automatique des bâtiments.

6.3 QUALITE STEREOSCOPIQUE

L'exagération stéréoscopique, qui est le rapport entre la hauteur réelle d'un objet sur le terrain et la hauteur perçue par observation stéréoscopique, résulte du rapport B/H (Base sur Hauteur) et du pourcentage de recouvrement longitudinal. Par définition, le rapport B/H est le rapport entre la base d'observation B (distance entre les deux positions de l'avion ou du satellite, variable jusqu'à 850 km dans le cas de SPOT) et la hauteur H (altitude de l'avion ou du satellite, proche de 832 km pour SPOT) (Figure 6.21). Plus le B/H est faible, plus le pourcentage de recouvrement est élevé, moins l'exagération verticale est forte.

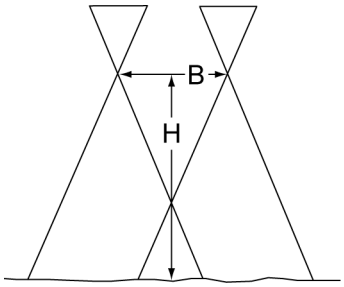


Figure 6.21 - Définition du rapport Base sur Hauteur (Gagnon, 1974).

Le rapport B/H peut atteindre la valeur 1,15 dans le cas où les incidences obliques sont proches des maxima. Ceci induit souvent des contraintes de programmation des satellites très importantes qui réduisent les possibilités d'acquisition. De plus, une telle valeur forte, nécessaire pour une exploitation visuelle sur films, peut être gênante pour une exploitation numérique en corrélation automatique si le relief est très accentué, car elle augmente le nombre et la taille des parties cachées. Si l'on se réfère à la fiche de commande de programmation SPOT 4 et 5, le rapport B/H peut être choisi autour des valeurs suivantes (www.spotimage.fr) : 1.0 (valeur forte, valable surtout en traitement analogique), 0.8 (valeur moyenne, valable pour tous types d'applications) ou 0,6 (valeur faible, utilisable en traitement numérique).

Les **couples stéréoscopiques** se présentent sous la forme d'**images « droite » et « gauche »** ou sous la forme d'**anaglyphes**. La vue en relief est rendue possible par la superposition de deux images, chacune étant exclusivement destinée à l'un des deux yeux. Un filtre spécifique à chaque œil permet de leur « cacher » l'image qui ne leur est pas destinée. En effet, le filtre rouge sur l'œil gauche rend invisible la longueur d'onde rouge de l'image destinée à l'œil droit. Par contre, il permet de distinguer nettement les longueurs d'onde (verte et bleu) de l'image qui lui est destinée. L'œil droit est soumis au même phénomène mais en inversant les couleurs. Ce type de vision en relief allie l'avantage d'une vision « quasi » naturelle, tout en n'utilisant qu'un appareillage minimum. Le couple stéréoscopique peut ainsi être analysé en numérique, à l'aide de lunettes spéciales, de logiciel spécifique (module stéréo-Analyst d'Arcview) ou à l'aide d'un stéréoscope, après tirage des images sur papier.

Dans ce contexte, l'enjeu de la stéréoscopie à l'aide d'anaglyphes en milieu urbain est de procurer aux utilisateurs des données images qui permettent de différencier les hauteurs des objets urbains (bâtiments, végétation, …).

Dans le cadre de la définition des caractéristiques de stéréoscopie de PLEIADES-HR, des **images simulées** (ATS-2A) de **trois B/H différents** (0.1, 0.3 et 0.7) ont été mises à disposition par le CNES pour vérifier leur utilité en milieu urbain. Ces images ont également été fournies avec **différentes caractéristiques de résolution spatiale** (0.6 et 0.8 m) **et spectrale** (Pan : 0.50-0.70 µm et Pe : 0.45-0.90 µm) pour vérifier leur influence sur l'interprétation des images stéréoscopiques (Tableau 6.7).

Au total **douze couples différents** combinant ces critères sont disponibles sur le quartier des Récollets, au SE de l'agglomération de Toulouse (Annexe 6.5).

Tableau 6.7 – Caractéristiques des couples stéréoscopiques de la série ATS2A.

Images n°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Rapport B/H	0.1	0.3	0.7	0.1	0.3	0.7	0.1	0.3	0.7	0.1	0.3	0.7
Bande spectrale	Pan	Pan	Pan	Pe	Pe	Pe	Pan	Pan	Pan	Pe	Pe	Pe
Résolution spatiale (m)	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8

6.3.1 Méthodologie du test de stéréoscopie

La disponibilité d'images combinant les critères de stéréoscopie, de résolution spatiale et spectrale doit permettre de déterminer quel critère est prépondérant pour une photo-interprétation en milieu urbain. Dans ce cadre, **un test** sous la forme d'**une fiche d'évaluation qualitative** (Annexe 6.6) a été réalisé par dix utilisateurs (cinq experts et cinq non-experts en photo-interprétation).

La **première partie de ce test** (question 1) a consisté, comme au § 6.2.3.1, à évaluer le « degré d'identification et d'analyse », par l'attribution d'un indice (aisée -1-, moyennement aisée -2- et difficile à impossible -3-), de seize objets urbains demandés par les utilisateurs (bâtiments, végétation, mobilier urbain), sur les douze couples stéréoscopiques. Un schéma de localisation des objets (Annexe 6.7), accompagné d'une description détaillée basée sur trois critères à identifier, est fourni aux utilisateurs : le type de bâtiments (immeuble, hangar, maison individuelle), une estimation de la hauteur des bâtiments en nombre d'étages et en relatif par rapport aux objets environnants, et le type de toit avec la caractérisation de son angle d'inclinaison.

La **deuxième partie du test** (question 2) consiste à décrire le plus précisément possible et sur la base des critères utilisés à la question 1, huit objets urbains, sur l'image où la photo-interprétation est « optimale » (tous les critères sont identifiés). L'objectif est de vérifier si il est nécessaire de disposer d'un rapport B/H différent selon le type d'objets urbains.

6.3.2 Analyse des résultats du test de stéréoscopie

Dans un **premier temps**, les résultats des experts et non-experts ont été interprétés de **manière globale** par des graphiques de fréquences, où les couples sont classés selon leur numéro (1 à 12). Ces résultats ne montrent pas de différences entre les utilisateurs experts et non-experts en photo-interpétation ; ils mettent en évidence trois « tendances » d'interprétation, résumées en Annexe 6.8. Malgré l'hétérogénéité des réponses, les couples stéréoscopiques 1 et 4 (respectivement Pan et Pe avec un B/H de 0.1 et une résolution de 0.6 m) ont été interprétés de manière aisée par la majorité des utilisateurs, alors que les couples 3 et 9 (les Pan avec un B/H de 0.7 et une résolution de 0.6 et 0.8 m) ont été interprétés difficilement.

Dans un **second temps**, les résultats ont été analysés à l'aide de graphiques relatant le nombre d'observations et le degré d'identification/analyse des photos-interprètes. Ainsi, les couples stéréoscopiques ont été classés selon (Figure 6.22) :

(1) le rapport B/H
(2) le rapport B/H couplé à la bande spectrale
(3) le rapport B/H couplé à la résolution spatiale

Les résultats des indicateurs de qualité sont présentés à la Figure 6.21. Plus la valeur de l'indicateur est faible et plus l'interprétation des objets urbains est aisée.

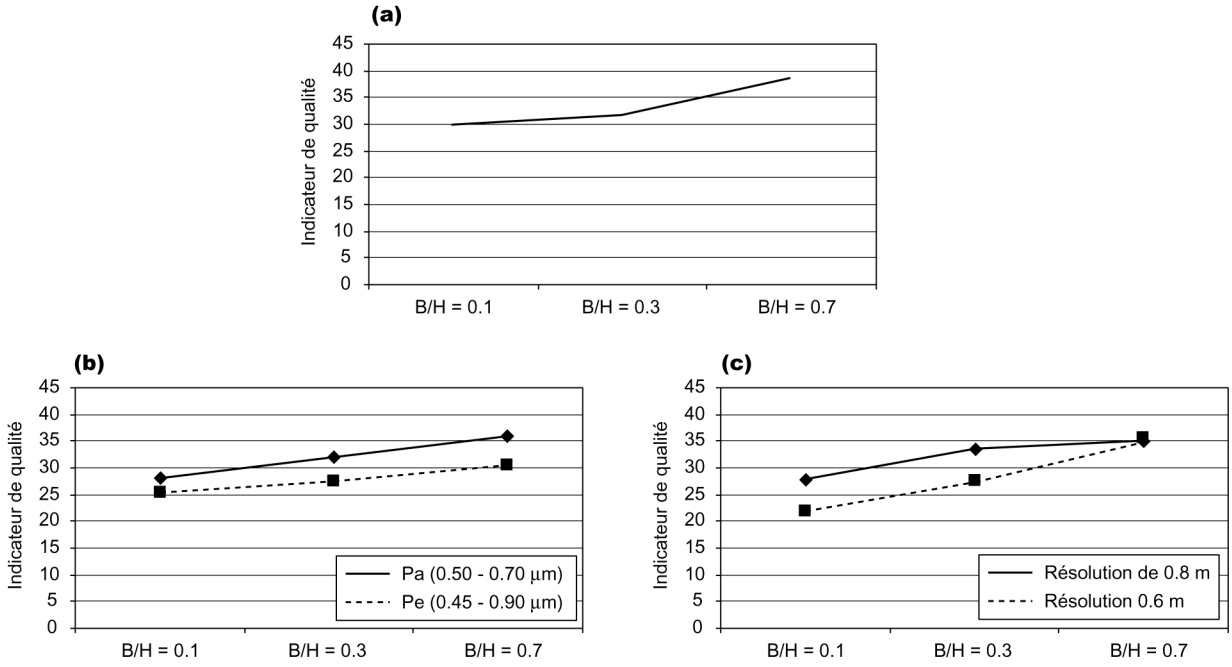


Figure 6.22 – Indicateur de qualité des images en fonction du B/H.

Choix des B/H pour une interprétation « optimale »

Parmi les trois valeurs de B/H simulées pour les image de 1 à 12, la valeur de 0.1 répond le mieux aux contraintes décrites dans la méthodologie ; ce rapport B/H permet une bonne identification et analyse des objets urbains de type « bâtiment », « végétation », et « mobilier urbain » et une prise en compte correcte de la hauteur des bâtiments (Figure 6.22a). Les valeurs de B/H élevées (0.3 et 0.7) donnent une appréciation exagérée de la hauteur des bâtiments, par rapport aux observations de référence fournies aux utilisateurs.

Choix des B/H couplés à la bande spectrale

Les panchromatiques de type SPOT 4 (Pan) et élargis vers l'infrarouge de type IKONOS (Pe) offrent des résultats d'identification des objets urbains sensiblement différents (Figure 6.22b). Si le Pan est adapté pour l'identification de la hauteur bâtiments, le Pe permet de discriminer la végétation et les objets de réflectances similaires dans le visible (route). La forme des houppiers, la hauteur des arbres par rapport aux objets environnants (bâtiments ou autres arbres) et l'homogénéité du feuillage sont également visibles avec le Pe.

Choix des B/H couplés à la résolution spatiale

Les résolutions analysées (0.6 et 0.8 m) permettent d'identifier les bâtiments, leur contour, le type de toit, les éléments présents sur les toits, les arbres de façon individuelle et la forme du houppier mais aussi les routes, avec la marquage au sol, mais pas le mobilier urbain. La résolution de 0.6 m avec des B/H faible (0.1 à 0.3) permet une meilleure identification du contour des bâtiments, du type de toit et de ses éléments constitutifs. Le comptage des voitures (parking) et le marquage au sol est également plus net à 0.6 m. Pour le B/H élevé (0.7), le passage d'une résolution de 0.6 à 0.8 m présente peu d'intérêt (Figure 6.22c).

Globalement, l'analyse des résultats indique une hiérarchie des paramètres. L'effet du B/H sur la qualité d'interprétation est prépondérant sur celui de la bande spectrale et la résolution spatiale intervient dans une moindre mesure.

L'analyse des résultats de la question 2 confirme la qualité de l'image 4 (B/H = 0.1, Pe avec une résolution de 0.6 m) qui permet d'identifier et d'analyser les objets urbains de type « bâtiments », « végétation » et « route ».

6.4 CONCLUSION ET DISCUSSION

La définition des performances opérationnelles en termes de résolution spatiale, spectrale et de stéréoscopie est une étape importante dans la chaîne de conception d'un capteur optique spécifique, optimisé pour la reconnaissance d'objets caractéristiques du milieu urbain tels que les bâtiments, les routes ou la végétation intra-urbaine.

Les différents tests effectués dans ce chapitre ont mis en évidence plusieurs éléments :

(1) la correction géométrique des produits standards THR (corrections radiométriques et géométriques) avec 6 à 8 points de contrôle selon une polynomiale de degré 1 permet d'obtenir une **précision géométrique** de 2 à 3 m en terrain plat. Ce type de corrections convient aux applications au 1/10 000^{e} qui nécessitent une précision pluri-métrique. Pour les applications du 1/2000^{e} au 1/5000^{e}, où la précision recherchée est métrique, l'utilisation d'une correction géométrique basée sur un modèle numérique de terrain précis est nécessaire. La recherche d'une résolution spatiale optimale par type d'objets, réalisée à partir d'un jeu d'images dégradées (de 0.8 à 10 m), a mis en évidence une **résolution spatiale optimale** comprise entre **2 et 3 m** pour les objets urbains rectangulaire/carré (de type « bâtiment »), de **1 à 2 m** pour les objets linéaires, et de 0.8 à 1 m pour les objets individuels de type circulaire. Pour les zones larges de forme quelconque (par exemple, une zone de végétation), une résolution spatiale optimale de **6 à 8 m** est requise. Ces résultats dépendent de la résolution spatiale utilisée au départ (0.8 m) ; la disponibilité d'images de résolution spatiale supérieure modifierait peut-être ces résultats ;

(2) la **qualité spectrale** des images fusionnées dépend de la qualité radiométrique des images multispectrales de départ. La méthode de fusion selon le concept ARSIS permet une meilleure conservation de la radiométrie et une meilleure différenciation des objets urbains que la méthode par corrélation (Puissant *et al.*, 2003b). Les mesures spectrales réalisées au sol confirment une meilleure différenciation des principaux matériaux urbains (tuile de céramique, ardoise, éternit, tôle, asphalte) dans les **bandes du visible** (0.4 à 0.9 µm). Des **ban-**

des spectrales complémentaires à celles de LANDSAT et QUICKBIRD sont identifiées pour différencier les matériaux urbains (six bandes de 1 à 2.5 µm). Un **canal panchromatique étendu** vers l'infrarouge, à **partir de 0.85 µm** permet une meilleure visibilité dans les ombres et une meilleure discrimination de la végétation. Par contre, une détection automatique des bâtiments ne nécessite pas l'élargissement de la bande panchromatique vers le PIR ;

(3) pour la définition d'un produit stéréoscopique adapté au milieu urbain, une valeur de B/H de 0.1, avec une résolution de 0.6 m et un panchromatique élargi permettent une bonne identification et analyse des objets urbains de type « bâtiments » et « végétation ». L'effet du B/H est identifié comme prépondérant sur la qualité d'interprétation par rapport à la résolution spatiale et spectrale.

En résumé, **il n'existe pas un capteur optique « idéal »** pour répondre aux besoins des utilisateurs en milieu urbain, mais des **caractéristiques** de résolutions spatiales, spectrales, et de stéréoscopie « idéales » en fonction **des objets** à identifier et **des échelles** à atteindre :

(1) pour une exploitation des images THR à des **échelles du 1/10 000e**, une résolution spatiale de **2 à 3 m** avec des bandes spectrales du visible au moyen infrarouge devrait permettre d'identifier les **entités** et les **objets urbains** demandés à cette échelle par les utilisateurs ;

(2) pour une analyse au niveau du **bâtiment** à des échelles du **1/5000e, voire du 1/2000e**, une résolution spatiale de **0.6 à 0.8 m**, avec un canal panchromatique « de l'ancienne génération de capteur » (de 0.45 à 0.75 µm) tels que LANDSAT ou SPOT, suffisent. Un B/H de 0.1 permet une interprétation relative de la hauteur des bâtiments ;

(3) pour une analyse de la **végétation intra-urbaine et péri-urbaine**, une résolution spatiale de **1 à 2 m** avec des bandes spectrales étroites dans le proche et le moyen infrarouge (images super à hyperspectrales) et un panchromatique élargi vers le PIR, sont adaptés.

Au delà de ces caractéristiques, les deux contraintes liées à l'emploi des données sont principalement sur **la largeur du champ de vision** et la **périodicité des enregistrements**. Pour ces deux critères, seules des **recommandations émanant de la demande des utilisateurs** peuvent être formulées car il est difficile de mettre en oeuvre des tests quantitatifs. Ainsi, une **mise à jour** d'une couverture **image intégrable dans un SIG tous les 2 à 3 ans** apparaît suffisante pour la majorité des organismes en charge de la gestion du territoire. Ce type de couverture devrait être disponible à l'échelle d'un département ou d'une région pour faciliter l'acquisition par mutualisation des besoins et sans obligation d'acquisition de surfaces minimales. En effet, si l'organisme vendeur est assuré d'un achat périodique, pourquoi fixer une contrainte à l'achat des images ?

Remarquons qu'à l'heure actuelle, parmi les capteurs existants, **aucun** ne permet **à lui seul de répondre à l'ensemble de ces besoins**. En effet, des contraintes technologiques limitent les possibilités des capteurs de disposer à la fois de hautes résolutions spatiale et spectrale. Il apparaît indispensable de disposer d'un ensemble aussi complet que possible de capteurs optiques, par ailleurs le plus souvent complété par des sources de données non spatiales, sur le terrain ou aéroportées, car les images satellites resteront « toujours » une source de données complémentaires.

Ces résultats montrent également la **nécessité d'approfondir** l'étude de l'effet de certaines variables telles que **(1)** la **radiométrie des matériaux urbains**, **(2)** l'**ombre** et **(3)** les **méthodes d'extraction** d'information.

La constitution de **bibliothèques spectrales** des matériaux urbains, disponibles à l'échelle européenne, devrait être encouragée et approfondie avec l'utilisation de radiomètres continus. Dans ce domaine, la mutualisation des mesures spectrales dans un catalogue de matériaux urbains communs caractéristiques des villes « occidentales » et leur intégration dans des logiciels de traitement d'images permettraient de favoriser l'utilisation et l'interprétation des données hyperspectrales.

Pour mieux comprendre l'**effet de l'ombre,** qui dépend de plusieurs facteurs (date, heure de la prise de vue, angle de visée, topographie, dimensions de l'objet), sur la qualité de la photo-interprétation, il serait intéressant de simuler son effet pour différentes positions du soleil. Ceci permettrait d'optimiser le choix de l'heure de prise de vue en fonction des objets urbains. Le développement d'algorithmes d'extraction automatique des ombres permettant une « reclassification » en fonction de leur environnement favoriserait l'utilisation des images THR pour la mise à jour de bases de données. De plus, une information supplémentaire sur la hauteur des bâtiment pourrait être dérivée et proposée comme une niche d'application potentielle.

Avec l'augmentation de la résolution spatiale, la question de savoir si les **méthodes de traitement d'images traditionnellement utilisées sur des images HR** pour extraire de l'information urbaine (classification spectrale, spectrale/texturale, segmentation) sont toujours **adaptées** aux images THR, se pose. En effet, les résultats de ce chapitre nous suggère qu'effectivement de nouvelles méthodes sont à développer ; avec les images THR un « **changement de vision de la ville** » doublé d'un **changement d'échelles de travail** s'opère, comme cela a été le cas lors du passage de la moyenne résolution (LANDSAT MSS à 80 m) à la Haute Résolution (LANDSAT TM et SPOT XS à 30 et 20 m). Par ailleurs, la signification du terme « classe d'occupation du sol » est modifiée par l'augmentation de la résolution spatiale ; il s'agit dès lors de raisonner en terme de « **classe d'objets urbains élémentaires** » dont l'analyse de leur environnement et de leur agencement, permet de « remonter » aux classes d'occupation du sol « classiques » (tissus urbains ou surfaces fonctionnelles de type cimetières, emprises commerciales, industrielles).
Dans ce contexte, il est important de garder à l'esprit que du **choix des objets à identifier** dépend le **type de traitement d'image à utiliser**. C'est ce que nous allons présenter dans le chapitre 7.

Chapitre 7 :

DES METHODES D'EXTRACTION ADAPTEES AUX IMAGES THR ?

SOMMAIRE

INTRODUCTION **257**

7.1 ETAT DE L'ART DES METHODES D'EXTRACTION DE L'INFORMATION URBAINE : LIMITES ET SOLUTIONS ALTERNATIVES **259**

7.1.1 Méthodes de classification en milieu urbain 259
7.1.2 Méthodes de segmentation en milieu urbain 266
7.1.3 Méthodes d'évaluation des classifications 269

7.2 EVALUATION DES METHODES TRADITIONNELLES D'EXTRACTION DES OBJETS URBAINS ELEMENTAIRES A DIFFERENTES RESOLUTIONS SPATIALES **270**

7.2.1 Zones d'études et données disponibles 270
7.2.2 Mise en œuvre des classification spectrales-texturales 272
7.2.3 Apport et utilité de la texture pour améliorer une classification spectrale et pour identifier les propriétés intrinsèques des images THR 277
7.2.4 Apport et utilité de la morphologie mathématique pour extraire les objets de type « bâtiment » et 28pour identifier les propriétés intrinsèques des images THR 282

7.3 CONCLUSION ET DISCUSSION **286**

Puissant A. and Weber C., 2002, The utility of Very High Spatial Resolution images to identify urban objects, *Geocarto International*, 17, 1, pp. 31-41.

Puissant A., Hirsch J., Weber C., 2003a, The utility of texture analysis to improve per pixel classification for high spatial resolution imagery, *International Journal of Remote Sensing* (accepted with corrections 2003), 12 p.

INTRODUCTION

Bien qu'un photo-interprète peut extraire relativement facilement des informations utiles par une interprétation visuelle des images satellites, ce processus est consommateur de temps et est particulièrement subjectif. L'**automatisation des procédures d'extraction** fait partie intégrante de la demande des utilisateurs. Avec l'augmentation du volume des données que les images THR permettent de collecter, il est essentiel que des méthodes d'assistance à l'interprétation des images satellites soient développées pour leur faire gagner du temps (Donnay *et al.*, 2000). Des **procédures semi-automatique à automatique** de restitution et d'extraction d'information et des **produits à valeurs ajoutées** adaptés à leurs applications doivent leur être proposés comme une alternative « compétitive » dans le processus de recherche d'information urbaine.

L'utilisation opérationnelle d'une image satellite par les utilisateurs repose sur une analyse à trois composantes qui interagissent l'une sur l'autre : l'**application** urbaine elle-même, le choix des **objets** à identifier et le **choix des images** (Figure 7.1). Les choix de la nomenclature utile et de la méthode de traitement dépendent toujours de l'objectif thématique Ceci sous-entend qu'une analyse d'images n'est jamais réalisée dans l'absolu. Une réflexion préalable doit être menée sur le type de traitement et sur les objets à identifier. Le type de traitement d'images est également contraint par la « façon » dont les objets se présentent sur l'image : taille (objet ou zone selon la résolution spatiale), homogénéité, formes, limites claires ou non …

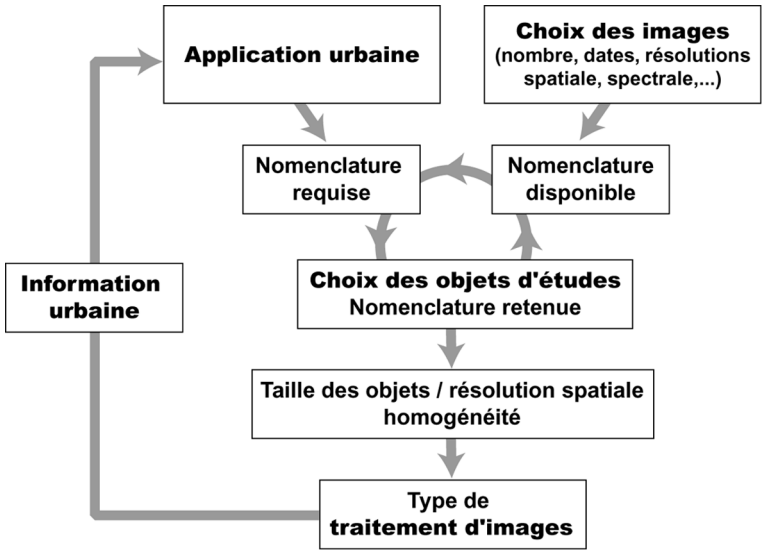


Figure 7.1 – Interaction entre application, images, objets et traitement d'images (modifié de Puech, 2000).

L'un des enjeux de l'augmentation de la résolution spatiale est une **nouvelle vision du territoire** ; les **objets urbains s'individualisent** (domaine de l'identification) et peuvent être caractérisés par leurs **éléments constitutifs** (domaine de l'analyse). Avec le changement de résolution, la signification des « classes d'occupation du sol » classiquement définies sur des images HR est modifiée.

Deux questions se posent :

(1) les techniques et les méthodes traditionnelles de traitement des images HR sont-elles appropriées pour extraire les informations demandées par les utilisateurs, à partir des images à THR ?
(2) Peut-on extraire, à partir de l'application de ces méthodes traditionnelles, une « connaissance » c'est-à-dire des caractéristiques intrinsèques aux objets urbains élémentaires identifiables sur des images THR ?

Les objectifs sont (1) d'identifier **jusqu'à quelles résolutions les méthodes traditionnelles d'extraction sont applicables** et (2) de **comprendre la « structure cachée » des images THR** pour améliorer l'extraction des objets urbains et répondre aux besoin des utilisateurs.

La **première section** présente un état de l'art des méthodes traditionnelles d'extraction d'information sur des images HR en milieu urbain (§ 7.1). Deux méthodes traditionnelles d'extraction d'une part des classes d'objets urbains élémentaires et d'autre part des objets de type « bâtiments » sur des images à différentes résolutions spatiales (de 10 m à 1 m), sont évaluées à la section 7.2.

Une première tentative de réponse à cette question a été formulée en 1999 et a fait l'objet d'une publication (Puissant et Weber, 2002 - Annexe 7.1). Tous les résultats ne sont donc pas repris dans ce travail ; les méthodes utilisées ont été améliorées et une méthode d'extraction supplémentaire (intégration de la texture dans une classification spectrale) a été expérimentée. Les tests ont été appliqués sur une zone d'étude différente (à l'Est de agglomération de Strasbourg) afin de valider les résultats de ce travail exploratoire. Seuls les résultats de ces améliorations sont détaillés ici.

7.1 ETAT DE L'ART DES METHODES D'EXTRACTION DE L'INFORMATION URBAINE : LIMITES ET SOLUTIONS ALTERNATIVES

Immédiatement après leur acquisition, les données images se présentent sous une forme qui ne permet aucune extraction facile et immédiate d'informations. Pour y parvenir, il faut procéder à des transformations qui vont rendre les données conformes aux contraintes imposées par les opérations d'extraction de l'information. On parle alors de traitements préliminaires ou prétraitements (cf. § 4.1). Suit alors l'opération d'analyse proprement dite, où l'information recherchée est déduite des données de base à l'aide de techniques plus ou moins automatisées (Figure 1.16 - étape 6). Enfin les informations extraites des données images sont acheminées vers d'autres utilisateurs sous forme de produits à valeur ajoutée, qui devront être intégrables dans un SIG.

Les **pré-traitements** ont pour but l'élimination ou la réduction du « bruit » afin de faciliter l'extraction des informations à l'étape suivante. A mesure que les systèmes de télédétection se compliquent, les traitements préliminaires deviennent de plus en plus importants et complexes (Bonn et Rochon, 2001). Par **analyse d'images**, nous désignons l'ensemble des opérations qui permettent aux utilisateurs d'extraire les informations pertinentes, à partir de l'image numérique prétraitée et en regard de leurs applications, de les traiter, puis de les interpréter.

Quelles sont les méthodes d'extraction automatique traditionnellement utilisées en milieu urbain sur des images HR ? L'information de base de l'image satellite étant une luminance spectrale, le problème est donc de produire des classes spectrales susceptibles de s'interpréter en classes thématiques. Toute image numérique est structurée selon un descripteur spectral et un descripteur spatial. Selon le type d'information utilisée au départ, deux catégories de méthodes d'extraction peuvent être différenciées :

(1) les **méthodes de classification** qui consistent à assigner une valeur à des pixels appartenant à une même classe, sont les méthodes les plus couramment utilisées sur des images satellites HR en milieu urbain. Elles utilisent uniquement le **domaine spectral** des images constituées de plusieurs bandes (images multispectrales) ;
(2) les **méthodes de segmentation** qui correspondent à une partition de l'image en un ensemble de « régions » homogènes (Smits and Annoni, 1999) c'est-à-dire en groupes de pixels de caractéristiques identiques, sont des méthodes traditionnellement utilisées en analyse d'image, mais pas en télédétection urbaine. A l'inverse des classifications, elles utilisent les **descripteurs spatiaux d'une image monospectrale** (Pesaresi et Bianchin, 2000).

En d'autres termes, la segmentation diffère de la classification par l'utilisation de règles de décision qui incluent des paramètre spatiaux en plus des paramètres spectraux (Bonn et Rochon, 2001). Dans ce travail, nous considérons la **segmentation** comme l'opération qui consiste à diviser l'image en régions homogènes (**pré-traitement**), qui entrent ensuite dans un processus de **classification « orienté-objets ».**

7.1.1 Méthodes de classification en milieu urbain

Les méthodes de classification se différencient habituellement en premier lieu selon la situation dans laquelle l'utilisateur est placé et selon l'objectif suivi. Deux catégories de démarches sont identifiées : les **classifications non-supervisées** et les **classifications supervisées**.

Dans une **classification non-supervisée**, l'utilisateur ne dispose d'aucune information sur la zone d'étude. Aucune information externe à l'image n'est donc introduite. Le classement des pixels est effectué uniquement selon le critère de ressemblance spectrale. L'étiquetage thématique est réalisé *a posteriori* après la classification par l'interprétation des classes spectrales produites.
A l'opposé, dans une **classification supervisée**, l'utilisateur défini *a priori* les classes thématiques qu'il souhaite extraire de l'image à partir de zones d'entraînement identifiées sans ambiguïtés. De ces zones, il extrait des signatures spectrales pour chaque classe. Les pixels sont alors affectés à la classe qui correspond le mieux à ses caractéristiques spectrales.

Chacune de ces méthodes a ses avantages et ses inconvénients. Les méthodes non-supervisées sont plus rapides et plus simples que les méthodes supervisées qui sont plus fastidieuses à mettre en œuvre (l'utilisateur doit décrire les propriétés des classes soit explicitement, soit par le choix d'aires d'entraînements représentatives). Elles sont également un excellent moyen d'évaluer le degré d'homogénéité de l'image et de disposer d'une première approximation de la qualité d'une classification supervisée opérée ensuite sur la même image. D'une manière générale, les classifications supervisées donnent des meilleurs résultats que les méthodes non-supervisées (Bonn et Rochon, 2001). L'inconvénient des méthodes de classification non-supervisée est de complètement négliger les relations spatiales entre les pixels pour ne s'attacher qu'à leurs propriétés spectrales.

Que la classification soit supervisée ou non, **différents types d'algorithmes** peuvent être utilisés dans le processus de classification. Ces algorithmes peuvent être distingués en deux catégories selon la méthode utilisée dans l'attribution d'une classe : les algorithmes qui expriment **l'appartenance de pixels** à une classe thématique de **manière binaire** (vrai ou faux ou 1 ou 0) et les algorithmes qui utilisent un **degré d'appartenance**[9] ou une probabilité pour exprimer l'attribution de pixels à une classe. Le principal avantage de ces algorithmes est leur possibilité d'**exprimer une incertitude** à propos des classes décrites. La littérature anglo-saxonne différencient ces deux catégories sous les termes, respectivement de « *hard classifiers* » (algorithmes « durs ») et de « *soft classifiers* » (algorithmes « doux »), sans équivalence en français.

Ces deux catégories de classifications utilisent des approches de regroupement différentes. La Figure 7.2 présente de manière synthétique les différentes méthodes de classification existantes selon les approches de regroupement utilisés et selon les algorithmes de classifications proprement dit. Ainsi, les « hard classifiers » fonctionnent le plus souvent selon deux types d'approche : **une approche « par pixel »** dite spectrale et une **approche « zonale »**. Les « soft classifiers » fonctionnent selon une **approche « orientée-objets »**. A l'inverse des méthodes spectrales basées sur le pixel, les méthodes orientée-objets effectuent une classification sur des régions (ensembles de pixels) préalablement segmentées.

Les principaux algorithmes utilisés dans les approches « spectrale » et « zonale » sont détaillés, ainsi que les tentatives d'amélioration de ce type d'approche (§ 7.1.1.1 et 7.1.1.2). Ensuite, les algorithmes utilisés dans une approche orientée-objets sont présentés (§ 7.1.1.3).

[9] La valeur d'appartenance varie habituellement entre 1 et 0. La valeur 1 indique une totale probabilité d'appartenance à une classe et la valeur 0 indique une non-appartenance absolue. Le degré d'appartenance dépend du degré avec lesquels les conditions ou propriétés de la classe sont remplies par les pixels. Il est également possible de préciser pour chaque objet, en plus d'une classe ou d'une probabilité d'appartenance à d'autres classes, différents degrés d'appartenance ou de probabilités (Gao, 2003).

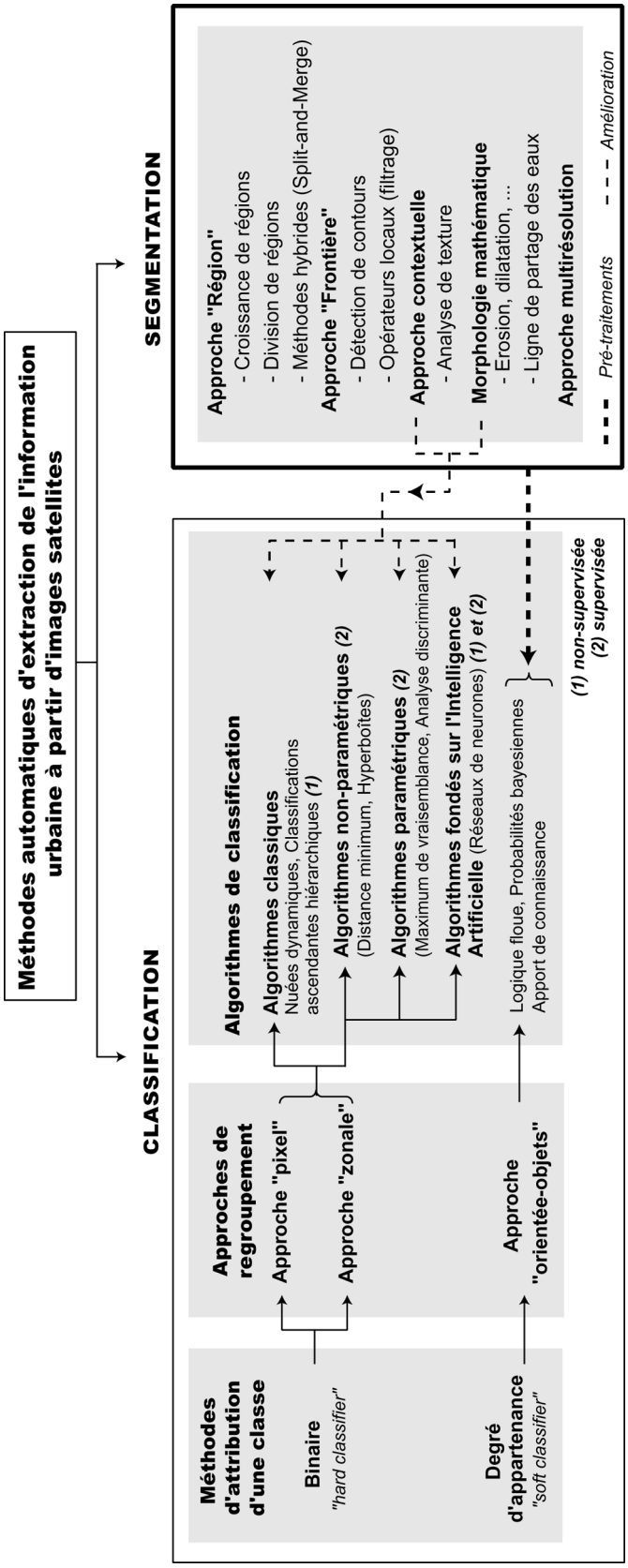


Figure 7.2 : Méthodes d'extraction utilisées en milieu urbain (Puissant, 2003).

7.1.1.1 Classification selon une approche « pixel »

Les classifications spectrales selon une approche « par pixel » prennent le pixel comme élément de référence. Le regroupement est réalisé sur le seul critère de ressemblance spectrale.
Les algorithmes les plus utilisés en classification non-supervisée sont les nuées dynamiques et les classifications ascendantes hiérarchiques. Dans une procédure de classification supervisée, une fonction d'identification ou de discrimination est construite, à partir d'un certain nombre d'aires d'entraînement dont les classes sont connues *a priori*, pour les autres individus. Cette fonction d'identification réalise un découpage de l'espace de représentation. A chaque zone de ce découpage est affectée une classe de la classification *a priori*. Les autres individus sont ensuite classifiés en fonction de leur position dans l'espace des paramètres (Bonn et Rochon, 2001).

Les méthodes classiques sont **non-paramétriques** c'est-à-dire qu'elles ne s'appuient pas sur une connaissance *a priori* des paramètres statistiques associées aux classes en présence (distance minimum à la moyenne, hyperboîtes - Figure 7.3A et B) ou à l'inverse, **paramétriques** c'est-à-dire que les risques d'erreur sont minimisés par le calcul d'une probabilité (maximum de vraisemblance - Figure 7.3C et analyse discriminante – Figure 7.8).

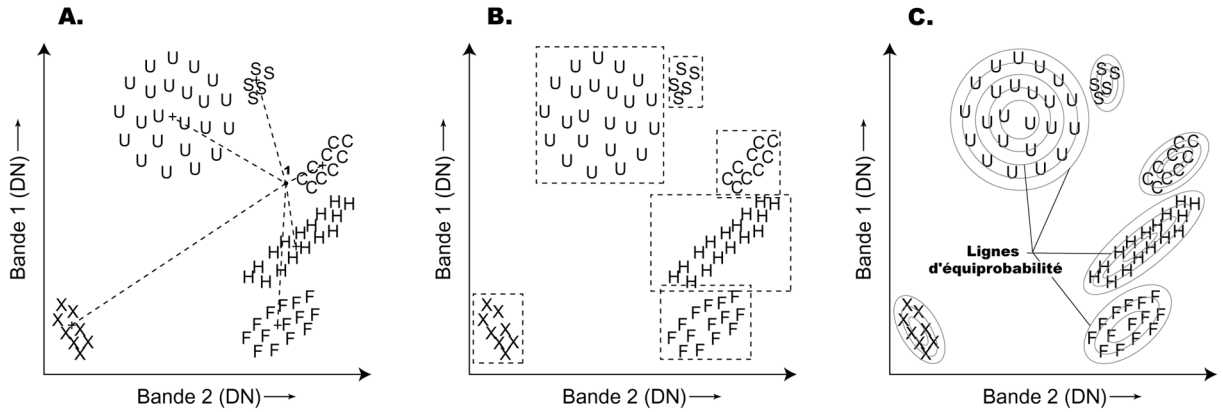


Figure 7.3 – Algorithmes de classification (A) selon la distance minimum, (B) en hyperboîtes, (C) selon le maximum de vraisemblance (modifié de Lillesand et Kiefer, 2001).

En milieu urbain, la classification non-supervisée est très peu utilisée car elle est adaptée pour des classes qui se distinguent nettement dans l'un ou l'autre canal (tel que l'eau ou la végétation, par exemple). Par contre, la **classification par maximum de vraisemblance** est la méthode la plus souvent utilisée sur des **images HR**. Elle est appliquée depuis le lancement des premiers satellites d'Observation de la Terre et est encore largement utilisée à l'heure actuelle sur des images satellites HR.

Depuis les années 90, d'autres méthodes de classifications spectrales fondées sur les **réseaux de neurones** se sont développés. Signalons que la plupart du temps, ces méthodes sont expérimentales et ne sont pas encore incluses dans les logiciels de traitement d'images commercialisés (à l'exception d'ENVI et de PCI).
Les réseaux de neurone (Figure 7.4) constituent une technique d'Intelligence Artificielle utilisée comme **alternative** ou en complément aux classifications spectrales supervisées décrites ci-dessus. Leur développement s'inspire de la reconnaissance et des mécanismes d'apprentissage de la vision humaine (Berberoglu *et al.*, 2000). Il existe à l'heure actuelle de nombreuses architectures de ré-

seaux de neurones. Parmi les modèles existants, le réseau de type **perceptron muli-couches** (Figure 7.5) décrit par Rumelhart (1986) est le modèle le plus utilisé en télédétection urbaine (Wharton, 1987 ; Benediktsson *et al.* 1990 ; Wang, 1992, Halounova, 1995 ; Atkinson, 1997 ; Atkinson *et al.*, 1997 ; Carpenter *et al.*, 1999).

Le réseau de neurones est à apprentissage supervisé c'est-à-dire que le système apprend à reconnaître des classes pré-définies. Les poids synaptiques sont « appris » en présentant des exemples de chaque classe au réseau de neurones lors de l'apprentissage. Ils ne sont donc pas déduits d'une connaissance *a priori* sur les formes à reconnaître. Les règles de décision se « forment » dans les poids synaptiques au cours de l'apprentissage (Couloignier, 1998 ; Bruzzone et Prieto, 1999 ; Berberoglu *et al.*, 2000 ; Kontoes *et al.*, 2000, Han *et al.*, 2003).

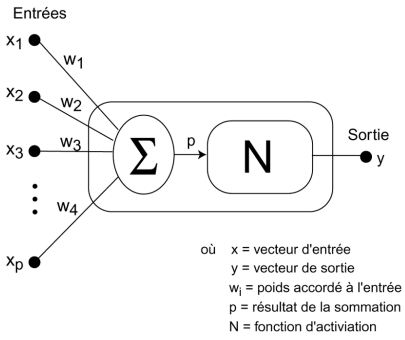


Figure 7.4 - Schéma fonctionnel d'un neurone artificiel (*in* Caloz et Collet, 2001).

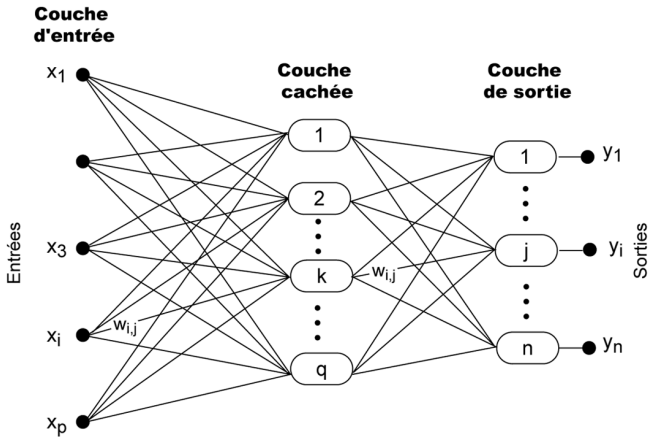


Figure 7.5 – Perceptron à trois couches (*in* Caloz et Collet, 2001).

7.1.1.2 Amélioration des classifications spectrales : les classifications « zonales » et les classifications qui intègrent les informations spatiales

Très rapidement les méthodes de classifications spectrales ont été améliorées afin de réduire les erreurs de classifications. Une des premières techniques consiste à améliorer les classifications spectrales par des **techniques d'interprétation visuelle** assistée par ordinateur (Lenco, 1997 ; Collet, 1999). L'objectif est de « restructurer » les typologies demandées par les utilisateurs (Donnay *et al.*, 2000). La subjectivité et des temps de calculs importants ont amené la recherche vers d'autres pistes.

7.1.1.2.1 Classification « zonale »

Des **données exogènes** (données vecteurs de type limites administratives ou limites de parcelles) ont ainsi été intégrées aux classifications spectrales (Forster, 1984 ; Sadler *et al.*, 1991 ; Weber, 1993 ; Harris et Ventura, 1995 ; Mesev, 1998 ; Aplin *et al.*, 1999). Ces **classifications dites « zonales »** permettent, en plus de l'amélioration de la précision globale, une interprétation plus facile et la production d'informations sur l'utilisation du sol (Catlow *et al.*, 1984 ; Aplin *et al.*, 1999). Malgré ces possibilités, ce procédé reste limité car il entraîne une perte de précision géométrique (Davis *et al.*, 1991 ; Ehlers *et al.*, 1991 ; Hinton 1996 ; Congalton, 1997 ; Aplin *et al.*, 1999).

Malgré ces améliorations, aux yeux des utilisateurs finaux, les résultats de classification obtenus à partir d'images HR ne sont pas suffisant pour l'analyse d'un milieu urbain complexe (Kiema, 2002 ; Haala et Brenner, 1999). La résolution spatiale insuffisante des capteurs et la non-utilisation de l'information spatiale ou contextuelle dans les procédures de classification sont deux explications possibles de cet échec (Cushnie , 1987). En effet, lorsque la résolution spatiale des capteurs approche de la taille des objets à identifier alors l'objet constitue intrinsèquement la classe thématique et des **effets de texture** sont introduits dans les processus de classification (apparition de discontinuités locales c'est-à-dire de petites structures isolées ou allongées le long des routes, par exemple) (Figure 7.6). De tels effets ne peuvent pas être considérés uniquement comme du bruit. Ceci explique que l'information spectrale est limitée pour l'analyse d'un tel milieu.

Tenir compte uniquement des propriétés spectrales des objets urbains dans un processus de classification entraînent donc des confusions car une réponse spectrale identique peut correspondre à deux objets différents (c'est le cas par exemple d'une route en asphalte et d'un toit d'ardoise). C'est pourquoi, l'intégration d'**information spatiale en complément des informations spectrales dans le processus de classifications urbaine** s'est développée (Weszka *et al.*, 1976 ; Conners et Harlow, 1980 ; Coulombe *et al.*, 1991, Gong *et al.*, 1992 ; Sharma et Shakar, 1998). Toutefois, même si les méthodes spectrales sont largement critiquées lorsqu'elles sont appliquées sur des **images satellites THR** en zones urbains où il existe un haut degré d'hétérogénéité spatiale, elles restent largement utilisées (Pesaresi et Bianchin, 2000).

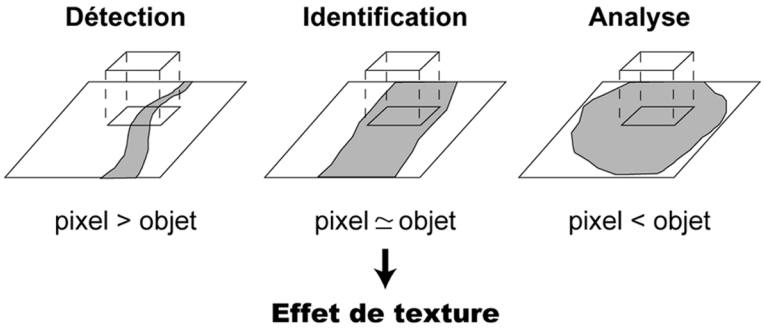


Figure 7.6 – Apparition de l'effet de texture (modifié de www.cnerta.eduagri.fr).

7.1.1.2.2 Classification intégrant des informations spatiales

Les deux principales méthodes qui permettent de produire de l'**information spatiale,** à partir d'une image monospectrale (bande panchromatique) sont les **analyses de texture** et la **morphologie mathématique**.

A. Analyses de texture

La notion empirique de texture se rapporte à l'effet visuel que produit une surface présentant une variation locale de niveaux de gris, mais suggérant néanmoins une apparence d'homogénéité sur l'ensemble. Si la texture est bien définie du point de vue de la perception visuelle, sa quantification est plus complexe. Elle est réalisée au moyen d'indicateurs statistiques, selon deux ordres.

Les **indices de texture de premier ordre** correspondent aux indicateurs de dispersion tels que la variance ou l'écart-type. Plusieurs auteurs ont montré que ces approches statistiques simples ne sont pas suffisantes pour caractériser la texture (Marceau *et al.*, 1992, Anys et al., 1994).

Les **statistiques de second ordre**, dérivées des matrices de co-occurrence proposées par Haralick (1979) sont les plus utilisées en milieu urbain (Sali et Wolfson, 1992 ; Smits et Annoni, 1999 ; Kiema, 2000 ; Zhang, 2001). Ces indices (homogénéité, contraste, entropie, second moment angulaire, …) sont calculés à l'intérieur d'une fenêtre mobile centrée sur chaque pixel de l'image. Le remplacement de la luminance de ce pixel central par l'indice de texture choisi produit une nouvelle image représentant la distribution spatiale.

Wang et He (1990) abordent la texture sous une forme originale. A l'inverse des matrices de co-occurrence qui caractérisent la texture d'un pixel en considérant uniquement un pixel de son voisinage, la texture d'un pixel est ici caractérisée simultanément par rapport à ses huit pixels voisins (vecteurs). Cette approche a été très peu appliquée en télédétection urbaine. De nouvelles approches, plus récentes, modélisent la texture par une chaîne de Markov dans le cadre de recherche sur la délimitation des agglomérations urbaines (Lorette *et al.*, 1998 ; Jung M., 2001).

L'intégration de la texture dans les procédures de classification s'effectue selon trois procédés :

(1) l'analyse de texture est utilisée comme méthode de segmentation : l'image segmentée en zones de texture identique constitue alors la première étape d'une classification orientée-objets (cf. en détail § 7.1.1.2). Ce procédé est difficilement applicable en télédétection urbaine car tenir compte uniquement des informations spatiales entraîne des confusions ; des objets de forme identique peuvent correspondre à deux objets différents (cas d'une industrie et d'un terrain de sport) ;
(2) les images de texture sont intégrées dans un processus de classification comme un canal supplémentaire aux données spectrales originales (Gong et Howarth, 1990 ; Gong *et al.*, 1992) ;
(3) les images de textures sont intégrées comme information supplémentaire en traitement post-classification d'une image (Zhang, 1999).

De nombreux travaux ont démontré que l'ajout d'informations texturales augmente la qualité des classifications des images HR en zones urbaines (Haralick, 1979 ; Flouzat *et al.*, 1984 ; Durand *et al.*, 1994 ; He *et al.*, 1994 ; Pesaresi et Bianchin, 2000 ; Pesaresi, 2000). Très peu de travaux ont été réalisés sur des images THR.

B. Morphologie mathématique

D'autres approches intègrent les informations spatiales dérivées de la morphologie mathématique. Selon Coster et Chermant (1985), la **morphologie mathématique** consiste à comparer les objets que l'on veut analyser à un élément structurant (objet de forme connue). Les paramètres pris en compte dans ce type d'analyse sont la forme, le contraste, la couleur et la disposition des objets dans l'image. La comparaison des objets avec l'élément structurant suit une démarche logique inspirée de la théorie des ensembles (union, d'intersection, …). Une série d'opérations sont ainsi réalisées (érosion, dilatation, ouverture, fermeture) pour produire des images « structurales ».

Les applications en milieu urbain avec des images HR concernent la reconnaissance automatique du réseau routier (Destival, 1987 ; Tonye *et al.*, 2000) et la délimitation de l'agglomération urbaine (Bailly, 1996 ; Terretaz, 1998 ; Weber et Hirsch, 2000 ; Weber, 2000).

7.1.1.3 Classifications « orientée-objets »

Les classifications selon une approche orientée-objets se sont développées plus récemment, au miliue des années 1990. Ces nouveaux algorithmes sont basés sur les **probabilités Baysiennes** (Pal *et al.*, 2001 ; Eastmann et Laney, 2002), la **logique floue** (fuzzy logic) (Foody, 1996, Zhang et Foody, 1998 ; Kulkarni, 1998 ; Molenaar et Cheng, 2000) et l'**apport de connaissance** (knowledge-based) (Moller-Jensen, 1990, Smits et Annoni, 1999 ; Niemayer et Canty, 2001 ; Zhan *et al.*, 2002 ; Forstener et Gulch, 1999 ; Liu *et al.*, 2002).

Comme nous l'avons signalé, à la différence des méthodes de classification spectrales décrites ci-dessus, les méthodes de classifications orientée-objets sont appliquées sur une image pré-segmentée. Elles se déroulent généralement en trois étapes :

(1) l'**étape de segmentation** qui tient compte des paramètres spectraux et spatiaux pour subdiviser l'image en régions homogènes. Ces régions sont alors considérées comme des « objets » indépendants les uns des autres ;
(2) l'**étape de caractérisation** des régions qui consiste à identifier des règles de reconnaissance des régions par la recherche de leurs propriétés spectrales (moyenne des niveaux de gris, calcul d'indices), spatiales (dimensions, forme) et contextuelles (relations spatiales entre les régions) ;
(3) et l'**étape de classification** qui utilise les règles de reconnaissance des régions pour leur attribuer une probabilité ou un degré d'appartenance à une classe.

Avec la multiplication des images THR, ces méthodes connaissent un essor considérable, notamment avec la commercialisation récente dans des logiciels de traitement d'images (eCognition, Definiens, 2000). La **phase de segmentation** est une étape très importante dans ce type de classification car de sa qualité va dépendre les résultats de la classification orientée-objets. Les différentes méthodes existantes sont présentées au paragraphe suivant.

7.1.2 Méthodes de segmentation utilisées en milieu urbain

La segmentation d'images fait référence aux notions de différence et de similarité perçues par le système visuel humain (Coquerez et Philipp, 1995). Deux approches existent couramment qualifiées d'**approche « région »** c'est-à-dire fondée sur la détection de groupements de pixels ayant des propriétés communes et d'**approche « frontière »** c'est-à-dire fondée sur la détection des lignes de contours d'objets. Une troisième approche, « hybride », combinent les deux précédentes (Bonn et Rochon, 2001). Les méthodes les plus utilisées dans des applications urbaines sont détaillées à la Figure 7.2.

Dans la littérature, les stratégies de segmentation sont **ascendante** (« bottom-up ») ou **descendante** (« top-down ») selon qu'elles exploitent des mécanismes de croissance ou de division des régions.

7.1.2.1 Segmentation selon une approche « région »

Les méthodes les plus simples sont les « **méthodes de seuillage** » (stratégie descendante) où l'espace spectral est divisé en groupes et les pixels d'un même groupe sont fusionnés lorsque qu'ils sont adjacents sur l'image. Ces méthodes très proches des méthodes de classifications convention-

nelles (supervisées) mais où le critère de cohérence des régions est renforcé, conduisent à des résultats de qualité relativement limitée (Caloz et Collet, 2001). Une sur-segmentation (séparation entre deux unités qui sont trop petites) ou une sous-segmentation (fusion de régions éloignées spatialement) sont généralement observées ; les contrastes locaux ne sont pas pris en compte et les régions dérivées peuvent largement être différentes en terme de taille.

Les méthodes de **croissance de régions (region growing)** sont des méthodes qui, partant du pixel, créent progressivement des régions selon un double critère d'homogénéité et d'adjacence (Zucker, 1976). Elles sont à opposer aux méthodes de **partage de régions** (**region splitting**) qui procèdent à des divisions successives de l'image considérée comme un seul bloc (Maître, 2003). Ces stratégies de subdivision sont peu nombreuses. D'autres encore combinent des techniques de fusion et de division des régions (**Split and Merge**) (Haralick et Saphiro, 1985 ; Croos *et al.*, 1988).

7.1.2.2 Segmentation selon une approche « frontière »

A l'inverse des méthodes de détection de régions qui cherchent les similarités entre les pixels, les **méthodes de détection des lignes et des contours** cherchent à mettre en évidence les discontinuités locales de l'image. La détection des discontinuités locales est réalisée par **filtrage** à l'aide d'opérateurs spéciaux (gradients, laplaciens numériques, Sobel, Roberts, Prewitt etc) sur des images en niveaux de gris. Seuls les changements très contrastés entre les niveaux de gris de deux points adjacents sont détectés (Cheng *et al.*, 2001).

L'algorithme de « **ligne de partage des eaux »** (« watershed ») (Serra, 1982) est également un algorithme de segmentation fondé sur une approche « frontière ». Issu des travaux de morphologie mathématique, il tient son nom de la manière avec laquelle l'algorithme segmente les régions en « bassins hydrographiques » (approche ascendante). Cette méthode est appliquée au gradient de l'image filtrée et/ou échantillonnée (les niveaux de gris sont considérés comme des altitudes et l'image comme une surface topographique). Elle est basée sur un processus simulé d'inondation des différentes zones. Les étapes de cet algorithme sont détaillés dans Caloz et Collet (2001).

7.1.2.3 Segmentation selon une approche « hybride »

Les **méthodes hybrides** combinent les techniques de détection des régions avec celles de détection des lignes de contour. Elles utilisent l'information sur les éléments de contour pour faciliter le classement et celles sur l'intensité des pixels pour affiner les lignes de contours des objets à séparer. Lineberry (1982), Jeansoulin (1982), Kohler (1981) et Clarck *et al.* (1979) décrivent des algorithmes de segmentation hybride. Colette *et al.* (1991) a développé une méthode hybride intitulée « segmentation par propagation sur les érodés ultimes » qui a été appliquée sur plusieurs villes pour identifier les densités de bâti décroissantes.

7.1.2.4 Approches alternatives de segmentation

La **texture** et la morphologie mathématique sont également des méthodes de segmentation alternatives (cf. § 7.1.1.2.2). Comme nous l'avons souligné dans le paragraphe précédent elles sont très peu utilisée comme première étape d'une classification orientée-objets (Mao et Jain, 1992 ; Panfwani et Healey, 1995 ; Hofmann *et al.*, 1998). Par contre, elles sont largement utilisées pour améliorer les classifications spectrales sur des images THR (Zhang, 1999).

La tendance actuelle, sur des images THR, est à la **segmentation multirésolution** (Baatz et Schape, 2000 ; Schiewe *et al.*, 2001). En effet, lorsque la segmentation est réalisée à plusieurs niveaux d'échelle, la résolution spatiale optimale des différents objets de taille, de formes et d'organisation différentes peut être prise en compte (Schiewe *et al.*, 2001).

En conclusion, il existe une **multitude de méthodes d'extraction** automatique et semi-automatique utilisées pour des applications urbaines à partir d'images satellites HR. Bien que les méthodes de segmentation ont été largement utilisées dans de nombreuses disciplines telles que la médecine, les télécommunications,… la mauvaise qualité des résultats de classification qui utilisent la segmentation comme algorithme de classification explique leur utilisation limitée en télédétection urbaine sur des images satellites HR (Terretaz, 1998). Les **méthodes les plus utilisées sur des images HR** sont les méthodes de classifications spectrales améliorées par l'intégration d'informations exogènes et spatiales (texture).

Dans ce contexte, il reste à vérifier si ces méthodes restent applicables sur des images THR et à préciser jusqu'à quelles résolutions, elles sont adaptées. Avant de répondre à cette question au paragraphe 7.2, remarquons qu'il est indispensable de vérifier les résultats d'une classification. Dans ce cadre, le paragraphe suivant rappelle les techniques utilisées pour valider les résultats d'une classification.

7.1.3 Méthodes d'évaluation des classifications

Toute classification doit être vérifiée *a posteriori*. Certains auteurs se contentent d'une appréciation visuelle (analyse qualitative), qui si elle peut apporter de nombreux enseignements, s'avère souvent très subjective (Terretaz, 1998). La démarche la plus courante consiste à confronter la classification à des observations terrain ou à des documents exogènes (cartes, plans, photographies aériennes) par une **analyse quantitative**. Comme il est le plus souvent exclu de parcourir l'entièreté d'une zone étudiée ou d'interpréter de façon exhaustive les documents ancillaires, un sondage est réalisé. Le schéma de sondage stratifié aléatoire est le plus utilisé car il remplit les conditions d'un échantillonnage représentatif (Congalton, 1991 ; Luman, 1995 ; Skidmore *et al.*, 1996 ; Stehman, 1996 ; Janssen et Van der Wel, 1994). Congalton (1991) suggère un nombre minimal de 50 points par strate pour une meilleure représentativité.

L'analyse de la matrice de confusion, produite à partir des points d'échantillonnage du sondage (la réalité terrain figure en colonne et l'image classée en ligne) permet d'évaluer la qualité de la classification. La diagonale de la matrice correspond aux pixels bien classés. Deux indices sont dérivés de cette matrice ; la **proportion de pixels classés correctement** (précision globale exprimée en pourcentage) et l'**indice Kappa** qui donnent une **appréciation globale de la qualité** des résultats d'extraction.

La précision globale exprime le rapport entre le nombre de pixels classifiés correctement et le nombre total de pixels sondés, soit :

$$\frac{\sum_{i=1}^{n} x_{ii}}{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} x_{ij}} \text{ en \%}$$

où i est la catégorie (1, ...,n) et j le pixel sondé (1, ...,m) dans la catégorie,
et x_{ii} *sont les pixels bien classés*

Pour évaluer chaque classe prise séparément, les indices employés habituellement sont l'erreur d'omission et l'erreur de commission, soit :

$$\text{Erreur d'omission} = \frac{x_{ii}}{C_i} \text{ en \%} \quad \text{où } C_i = \sum_{k=1}^{r} x_{ki}$$

$$\text{Erreur de commission} = \frac{x_{ii}}{L_i} \text{ en \%} \quad \text{où } L_i = \sum_{j=1}^{m} x_{ij}$$

L'erreur d'omission est égale au rapport entre le nombre de pixels classés correctement et nombre total de pixels de la classe d'après la réalité de terrain. L'erreur de commission est égale au rapport entre le nombre de pixels bien classés et le nombre total de pixels de la classe d'après l'image classée. **L'erreur d'omission** intéresse plutôt le **producteur de l'image** classée qui désire savoir quelle est la proportion de chacune des catégories de la réalité de terrain qui a été classée correctement d'après la méthode choisie. **L'erreur de commission** intéresse plutôt l'**utilisateur** du document fourni, il désire savoir quelle est la proportion de chacune des classes qui est effectivement classée correctement.

7.2 EVALUATION DES METHODES TRADITIONNELLES D'EXTRACTION DES OBJETS URBAINS ELEMENTAIRES A DIFFERENTES RESOLUTIONS SPATIALES

Le premier **objectif** de cette section est de **vérifier si les méthodes traditionnellement utilisées** pour extraire de l'information **sur les images HR sont encore adaptées sur les images THR et jusqu'à quelles résolutions**. Dans ce contexte, deux types de méthodes ont été testées :

- une classification spectrale-texturale qui consiste en une classification spectrale supervisée de l'ensemble des objets, améliorée par la prise en compte de la texture (bande additionnelle), définie selon les indicateurs texturaux de Haralick (1979) et,
- une méthode de segmentation fondée sur la morphologie mathématique pour extraire les surfaces bâties.

Ces méthodes ont été choisies car elles correspondent à des procédures classiques intégrées dans la plupart des logiciels de traitement d'images, qui permettent de compléter les premiers résultats mis en évidence dans Puissant et Weber (2002).
Le **deuxième objectif** de cette analyse est de **comprendre la structure « cachée » des images THR** c'est-à-dire d'extraire les propriétés intrinsèques des objets urbains identifiables sur des images THR. Il s'agit de mettre en évidence une connaissance qui pourra être utilisée pour améliorer les algorithmes actuels d'extraction automatique, notamment dans des approches orientée-objets.

Ces méthodes ont été testées sur des simulations d'images HR à THR (de 10 à 1 m). Les images disponibles et la zone d'étude sont présentés au paragraphe 7.2.1. La méthodologie des classifications spectrales-texturales réalisées aux différentes résolutions et leur protocole d'évaluation sont ensuite détaillés, respectivement aux paragraphes 7.2.2 et 7.2.3. La méthode de morphologie mathématique est présentée au paragraphe 7.2.4.

7.2.1 Zones d'études et données disponibles

Pour évaluer les performances des méthodes traditionnelles d'extraction sur des images THR, des images multispectrales simulées du capteur SPOT 5 et une image multispectrale simulée à partir d'un vol ARAT ont été exploitées. Les caractéristiques de ces images sont détaillées au tableau 7.1.

Tableau 7.1 – Images disponibles pour les tests d'extraction d'information.

Images / Date de prise de vue	Zone Géographique	Résolution spatiale	Résolution spectrale	Codage Radiométrique	Code identification
Simulations (CNES) ARAT[10] Octobre 1997	Strasbourg Quartier Est (XV à Esplanade)	1 m	V : 0.49 – 0.61 µm R : 0.60 – 0.72 µm PIR : 0.75 – 0.95 µm Pan : 0.50 – 0.85 µm	8 bits	Push_c1 Push_c2 Push_c3 Push_Pan
Simulations (CNES) SPOT 5 Juillet 1999	Strasbourg Quartier Est	10 m 5 m 2.5 m	V : 0.50 – 0.59 µm R : 0.61 – 0.68 µm PIR : 0.78 – 0.89 µm Pan : 0.49 – 0.69 µm Pan : 0.49 – 0.69 µm	8 bits	Stras10_b1 Stras10_b2 Stras10_b3 Stras5_pan Stras25_pan

[10] Les simulations des produits SPOT 5 sont obtenues à l'aide du capteur multi-bande Push-Broom du CNES, embarqué sur l'Avion de Recherche Atmosphérique et de Télédétection (ARAT).

Ces images couvrent les quartiers Est de l'agglomération de Strasbourg, représentatifs de tous les types de tissus urbains, et où sont présents la totalité des objets urbains élémentaires qui permettent d'identifier les différentes catégories du sol définies par les utilisateurs dans la nomenclature au 1/10 000e (Figure 7.7).

Sept classes d'objets élémentaires, communes aux différentes résolutions, ont été identifiées : (1) Surfaces en eau, (2) Ombre, (3) Arbres, (4) Pelouse, (5) Route, (6) Bâtiment de type « toits tuiles » et (7) Bâtiment de type « toits divers » pour les autres types de toit. Les bâtiments ont été distingués selon leur type de toit sous l'hypothèse que dans la plupart villes occidentales, les bâtiments de toit de tuile correspondent à 95% à des bâtiments individuels (pavillons indépendants) ou collectifs caractéristiques d'un habitat dense d'un centre de ville. Les autres types de toit regroupent aussi bien de l'habitat que des bâtiments industriels ou commerciaux.

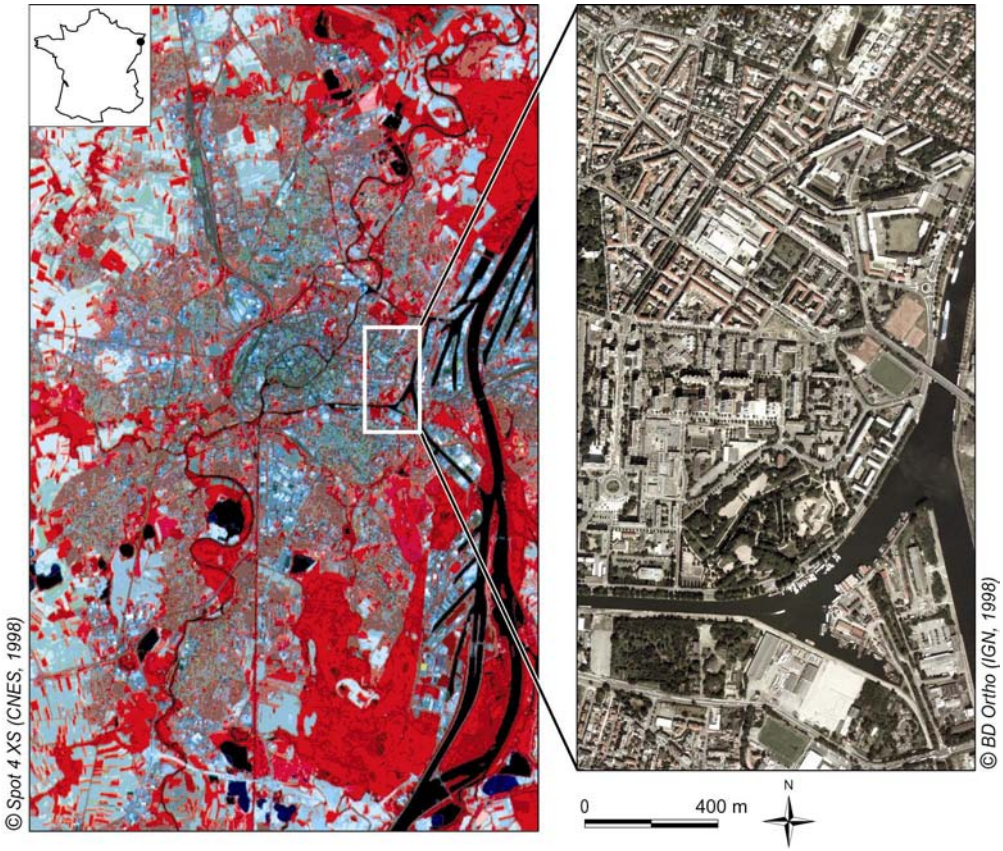


Figure 7.7 – Zone d'étude des images disponibles.

Pour compléter ce jeu de données de résolution multispectrale, les simulations à 10 m ont été **fusionnées** avec les images panchromatiques à 5 m et à 2.5 m selon la méthode ARSIS, (Figure 7.8).

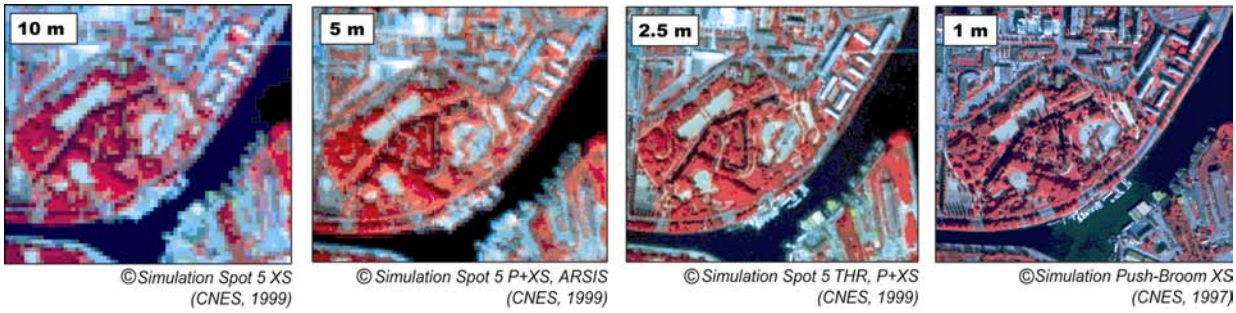


Figure 7.8 – Images aux différentes résolutions spatiales.

7.2.2 Mise en œuvre des classifications spectrales-texturales

La méthodologie appliquée pour produire des classifications « spectrales-texturales » utilise la bande panchromatique pour extraire l'information texturale alors que l'image multispectrale procure l'information spectrale. Le néo-canal de texture produit est ensuite utilisé comme bande additionnelle aux trois bandes spectrales disponibles. Les quatre bandes sont alors classées dans une procédure traditionnelle de classification supervisée spectrale. Cette méthodologie a été appliquée car elle a permis une amélioration significative des résultats de classification sur des images HR en zones urbaines (Gong et Howarth, 1990 ; Gong *et al.*, 1992). **L'objectif est donc de vérifier si cette amélioration est également apparente sur des images à THR, en comparaison avec une classification uniquement spectrale** (Figure 7.9).

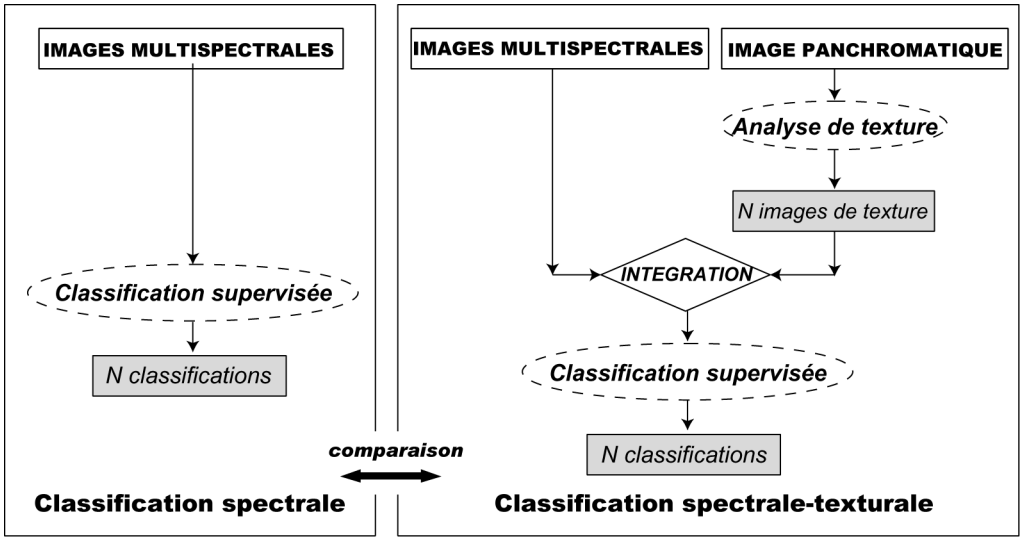


Figure 7.9 – Méthodologie de comparaisons des classifications spectrales et spectrales-texturales (*in* Puissant *et al.*, 2003a).

L'algorithme de classification spectrale est présenté au paragraphe 7.2.2.1 alors que le protocole de l'analyse de texture appliqué dans un premier temps sur **les images à 2.5 m** est détaillé au paragraphe 7.2.2.2. En effet, la résolution entre 2 et 3 m a été identifiée au chapitre précédent comme une résolution spatiale optimale pour l'identification des objets urbains de type « bâtiment » (les plus présents en milieu urbain) et pour les objets linéaire de type « route ». Dans ce cadre, l'ensemble des tests ont d'abord été appliqués sur les images à 2.5 m.

7.2.2.1 Algorithme de classification spectrale : analyse discriminante pas à pas

Une classification supervisée par **analyse discriminante pas à pas** a été appliquée aux images simulées à différentes résolutions spatiales. Elle fait partie des algorithmes supervisés qui s'appuient sur une connaissance *a priori* des paramètres statistiques (méthodes paramétriques). Elle consiste à estimer de façon optimale la position d'un individu par rapport à la ligne de séparation entre deux ou plusieurs groupes déterminés à l'avance. L'individu sera placé de telle sorte que la variance intra-classe soit minimale et la variance inter-classe soit maximale (Figure 7.10). Par ce procédé, les populations statistiques mélangées peuvent être séparées avec une probabilité d'erreur minimale. Cet algorithme est une procédure statistique courante utilisée dans des logiciels « recherche » de

traitement de données et d'images (logiciel CARTEL[11]). L'intérêt de son utilisation, par rapport à la recherche du maximum de vraisemblance, réside dans l'utilisation des outils statistiques « complémentaires » disponibles (visualisation des positions relatives des centres de classes) qui permettent une analyse plus fine des classes.

La représentation graphique schématise les aires de superposition des groupes A et B, le long des variables X1 et X2. Il est possible de trouver une orientation selon laquelle les deux nua-ges de points soient séparés au maximum et étalés au minimum.

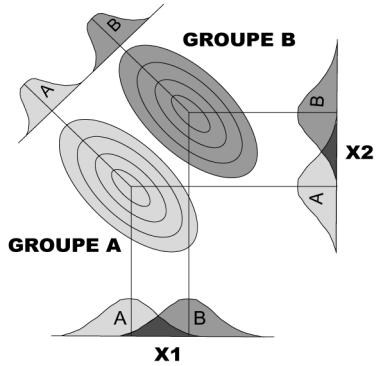


Figure 7.10 – Principe de l'analyse discriminante (*in* Davis, 1973).

Soixante échantillons, identiques sur les différents résolutions, ont été sélectionnés. Un masque a été créé pour exclure de la classification les nombreuses confusions entre la classe « ombre » et la classe « surfaces en eau ». Les surfaces en eau ne sont pas prises en compte dans le protocole d'évaluation. Un filtre modal de 9x9 pixels a été utilisé comme filtre post-classification afin d'éliminer les pixels isolés dans les zones homogènes.

7.2.2.2 Analyse de texture

L'analyse de texture réalisée correspond à l'approche statistique de second ordre basée sur les matrices de co-occurrence de Haralick (1979). Cette approche permet de tenir compte de l'information spectrale et de la distribution spatiale des niveaux de gris dans l'image, à l'opposé des méthodes statistiques simples qui utilisent la moyenne ou l'écart-type (cf. § 7.1.1.2.2). De plus, plusieurs auteurs ont montré l'intérêt de son intégration dans un processus de classification en zones urbaines sur des images HR car elle permet une amélioration de la séparabilité des classes et une augmentation du taux global de bon classement de 5 à 10% (Anys *et al.*, 1994).

Parmi les 13 indicateurs texturaux définis par Haralick, les moins corrélés ont été retenus (Marceau et Howarth, 1992) :

(1) **Homogénéité** : $HOM = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} \left\{ \frac{f(i,j)}{1+|i-j|} \right\}$

(2) **Dissimilarité** : $DISS = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} f(i,j)\ |i-j|$

(3) **Entropie** : $ENT = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} f(i,j)\ log\ [f(i,j)]$

(4) **Second moment angulaire** : $SMA = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} f(i,j)^2$

où *f(i, j)* correspond à la valeur dans la matrice de co-occurrence des pixels de coordonnées *i* et *j* et *n*, la dimension de la matrice de co-occurrence.

[11] Le logiciel de CARtographie et TELédétection (CARTEL) est un logiciel de traitement d'images développé par le laboratoire Image et Ville. Ce logiciel, écrit en fortran par J. Hirsch, contient des logiciels statistique (BMDP), graphique Post-script et graphique UNIRAS. Il contient également un programme de visualisation sur écran ainsi qu'un programme de sortie d'images, écrits par des étudiants en informatique (Rennes-2, Université Louis Pasteur).

Comme l'information spatiale attendue dépend de la taille de la fenêtre sélectionnée (Pesaresi, 2000), le **premier objectif** de cette analyse a été d'identifier **une taille de fenêtre « optimale »**, c'est-à-dire adaptée à la segmentation des objets urbains à une résolution donnée. En effet, une taille de fenêtre trop petite ne permet pas d'extraire suffisamment d'information spatiale pour caractériser un objet urbain ou une classe d'occupation du sol ; à l'opposé une fenêtre trop grande risque de confondre l'information spatiale de deux objets ou classes thématiques différentes. Dans ce cadre, la taille de la fenêtre dépend de la résolution de l'image et de son contenu (taille des objets urbains).

Une fenêtre mobile selon six tailles différentes (3x3, 5x5, 7x7, 9x9, 11x11 et 13x13) avec un pas de déplacement de 1 en ligne et en colonne est utilisée pour la création des néo-canaux de texture sur l'image panchromatique à 2.5 m. Les matrices de co-occurrence sont calculées dans les quatre directions normalisées (0°, 45°, 90° et 135°), pour chaque taille de fenêtre. La visualisation des images texturales produites démontre une similarité entre certains indices de texture. La Figure 7.11 présente un exemple d'image de texture produite à partir de l'indice d'homogénéité à une taille de fenêtre 7x7.

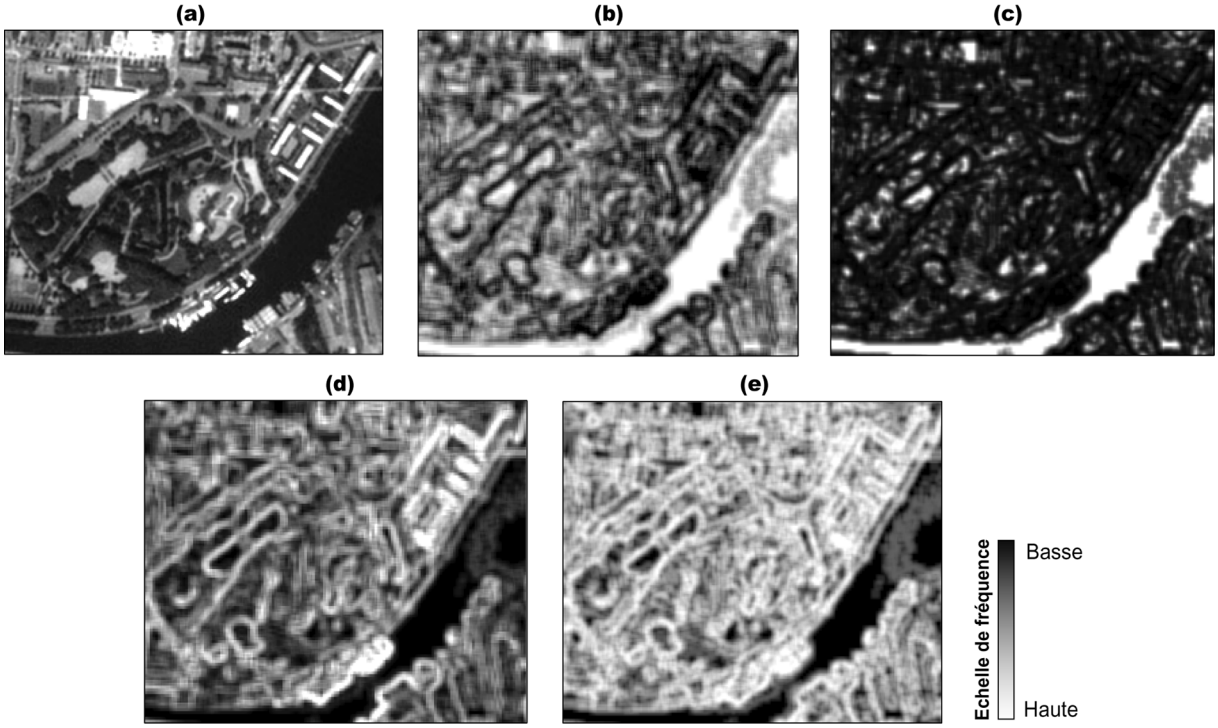


Figure 7.11– Image panchromatique originale à 2.5 m (a) et images de texture produites selon les indices (fenêtre 7x7) Homogénéité (b), Second moment angulaire (c), Dissimilarité (d) et Entropie (e).

L'**homogénéité** et le **second moment angulaire** donnent une information sur l'homogénéité des surfaces : les secteurs blancs (fortes valeurs de niveaux de gris) sont les plus homogènes (eau, surfaces de végétation - Figure 7.11b et c). Les surfaces bâties se caractérisent par une surface hétérogène. Les contours (valeurs intermédiaires) des surfaces de végétation, des sols nus sont détectables visuellement. Ils sont le résultat du passage de la fenêtre d'analyse sur l'image panchromatique lors de la création des images texturales. La largeur de cette « zone de transition » est en relation directe avec la dimension de la fenêtre : une taille de fenêtre plus petit détermine une zone de transition plus fine qu'une taille de fenêtre plus grande.

A l'opposé, l'**entropie** et la **dissimilarité** qui mesurent le **degré d'organisation** des niveaux de gris de la matrice de co-occurrence, varient de manière opposée aux indicateurs d'homogénéité et du second moment angulaire. Ils sont maximaux (blanc) pour une texture fine (objets complexes). Les objets de type « eau » et « surface de végétation » se caractérisent par une texture grossière tandis que le surfaces bâtie possède une texture fine (Figure 7.11d et e). Les contours des zones homogènes ont des valeurs très élevées (sol nu, bâtiment).

Pour faciliter le choix de la taille de la fenêtre optimale, le **coefficient de variation** de chaque indice de texture a été calculé, aux quatre résolutions spatiales et pour chaque classe thématique, en relation avec la taille de la fenêtre. La taille de fenêtre optimale est celle pour laquelle la valeur du coefficient de variation se stabilise (Anys *et al.*, 1994).

La Figure 7.12 présente l'évolution du coefficient de variation calculé sur l'indice d'homogénéité à partir des images à 10 , 5, 2.5 et 1 m. Ils montrent pour la majorité des classes, une diminution progressive du coefficient de variation lorsque la taille de la fenêtre augmente. Quelle que soit la résolution spatiale, il semble que la courbe se stabilise, pour la majorité des objets, à la taille de fenêtre 7x7 (seuil). Ceci montre que l'utilisation d'une plus grande taille de fenêtre conduit à une moins bonne séparation des classes. A l'inverse, une plus petite taille de fenêtre fournit une plus grande dépendance entre la taille de la fenêtre et la valeur de l'indice de texture calculé. Ce seuil est également apparu pour les autres indices de texture.

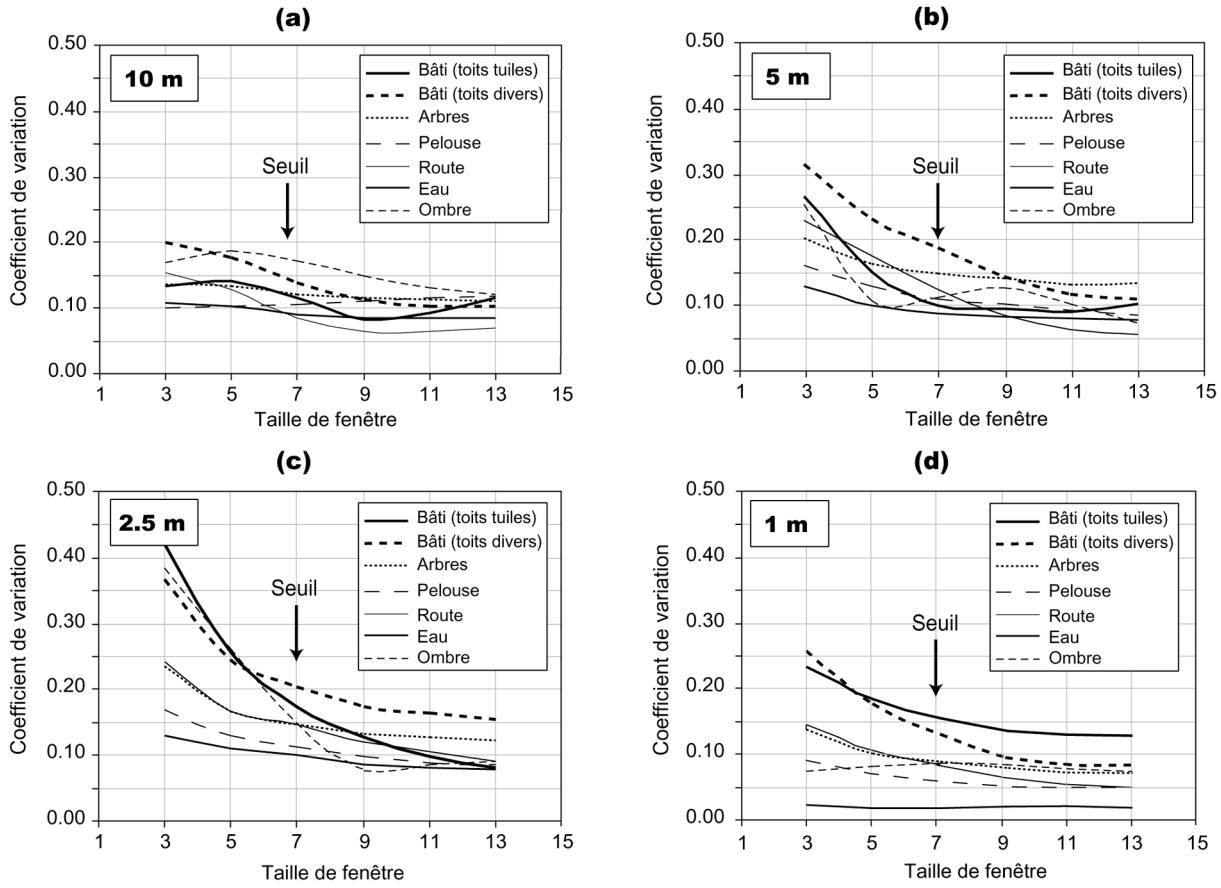


Figure 7.12 – Évolution du coefficient de variation de l'indice d'Homogénéité en fonction de la taille de la fenêtre (modifié de Puissant *et al.*, 2003a).

Dans ce contexte, chaque indice de texture produit avec sa fenêtre optimale a été intégré dans la procédure de classification (n°1 à 4 – Figure 7.13). Pour vérifier leur complémentarité, les quatre indices de texture avec leur fenêtre optimale ont été intégrés simultanément dans le processus de classification comme quatre canaux additionnels (n°5 – Figure 7.13).

Pour vérifier la complémentarité de tous les indices et de toutes les tailles de fenêtres, une matrice de corrélation a été calculée entre les quatre indices de texture aux six tailles de fenêtres différentes (Annexe 7.2). L'analyse a mis en évidence des taux de corrélation élevés (supérieur à 0.6) d'une part, entre les mêmes indices de texture aux différentes tailles de fenêtre et d'autre part, entre les indices de texture différents avec des tailles de fenêtres différentes.
Une première analyse en composante principale (ACP) a été réalisée sur les 24 indices de texture. Les trois premières composantes (98% de la variance expliquée), puis la première composante (82% de la variance expliquée) ont été extraites comme image de texture (respectivement n°6 et 7 – Figure 7.13). Une seconde ACP a été réalisée sur chaque indice de texture avec les six tailles de fenêtres différentes. Cette opération consiste à vérifier si la taille de la fenêtre a véritablement une influence sur chaque indice ou si leur complémentarité peut apporter une information spatiale plus « complète ». De la même manière, la première composante de chacun des indices (80% de la variance expliquée) constitue une image de texture qui a été intégrée dans le processus de classification (n°8 à 11 - Figure 7.13).

Au total, **onze image de texture, obtenues à partir d'indice simple ou de leur combinaison**, **ont été intégrées comme canal additionnel dans le processus de classification**. Il reste à vérifier l'apport de la prise en compte de la texture dans ce processus.

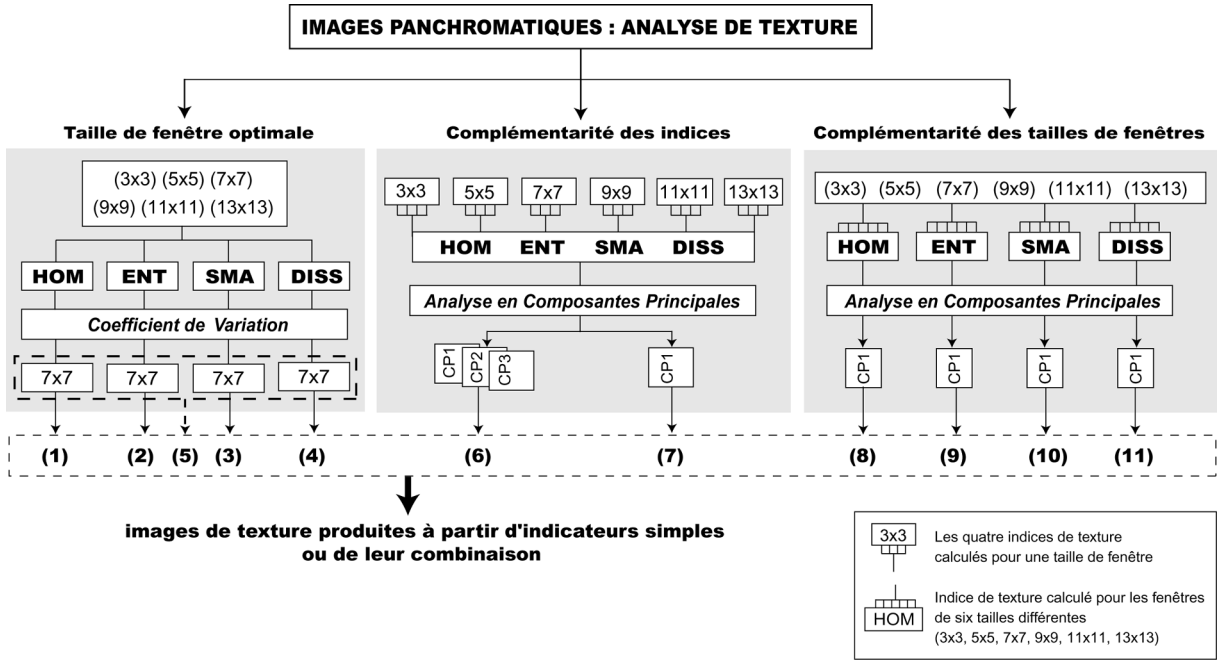


Figure 7.13 – Protocole de test de l'analyse de texture appliquée aux images simulées à 2.5 m (modifié de Puissant *et al.*, 2003a).

7.2.3 Apport et utilité de la texture pour améliorer une classification spectrale et pour identifier les propriétés intrinsèques des images THR

La qualité des images de texture n'est pas évaluée intrinsèquement ; c'est **l'utilité de l'apport de l'information texturale qui est vérifiée**. Les critères de qualité des classifications spectrales-texturales sur les images à 2.5 m, ont donc été comparés aux critères de qualité de la classification uniquement spectrale. **L'objectif est d'identifier un indicateur ou une combinaison spécifique d'indicateurs de texture « optimaux »** c'est-à-dire qui permet une amélioration significative de la précision globale de la classification. Le paragraphe 7.2.3.1 précise comment les critères de qualité des classifications ont été calculés et le paragraphe 7.2.3.2 présente les résultat de la recherche d'un indicateur optimal à la résolution de 2.5 m. Le paragraphe 7.2.3.3 s'intéresse à l'influence de la résolution spatiale sur l'apport de la texture.

7.2.3.1 Evaluation des classifications : choix de la réalité terrain

La matrice de confusion a été élaborée à partir de **40 échantillons de sondage aléatoires** sur toutes les classes thématiques, excepté pour les classes de surfaces en eau (masque). Les **images en compositions colorées** aux différentes résolutions spatiales ont été utilisées comme **réalité terrain** pour tenir compte de toutes les classes d'objets élémentaires définies. Ceci permet d'intégrer la classe « ombre » dans le processus d'évaluation ainsi que les autres classes qui différencient les objets selon le type de matériaux (toit de tuile, pelouse et arbre). Dans les bases de données existantes, seule la végétation « publique » est représentée mais comme objet ponctuel (houppier de l'arbre) ou comme objet fonctionnel (espaces publics, parcs) ; la végétation privée est le plus souvent exclue de ces bases de données. Or, l'image donne une représentation continue de la surface biophysique du sol mais aussi de tous les objets présents sans distinction de leur fonction et de leur statut (public ou privé). Dès lors, à ces résolutions, il est apparu plus judicieux d'utiliser les images de départ ainsi que notre connaissance du terrain plutôt que les bases de données existantes,. Tous les échantillons ont fait l'objet d'une vérification sur le terrain.
Les **paramètres** (précision globale, indice Kappa, erreur de commission et d'omission par classes) **dérivés des quatre matrices de confusion** (10, 5, 2.5 et 1 m) ont été utilisés pour évaluer la qualité des classifications spectrales et spectrales-texturales.

7.2.3.2 Identification d'un indice de texture « optimal » à 2.5 m

Les paramètres de qualité à 2.5 m (Tableau 7.2) indiquent que le gain de qualité est très faible (≈ 1%) quels que soient l'indice ou la combinaison d'indices de texture utilisés. En comparaison des images HR où l'introduction de la texture permet d'améliorer la précision globale de la classification de 5 à 10% (Coulombe *et al.*, 1991 ; Anys *et al.*, 1994), l'effet de la texture sur une image THR à 2.5 m est négligeable. Une analyse détaillées permet toutefois de mettre en évidence deux classifications avec une amélioration sensiblement plus élevée de tous les critères quantitatifs : la classification avec l'indice d'**homogénéité 7x7** qui permet une augmentation de la précision globale de 1.1% et la classification avec la **CP1 dérivée de l'indice l'homogénéité** (0.9%). De plus, l'analyse des résultats par classe indiquent un gain plus important pour la **classe** bâtiment de type **« toits divers » (+ 5.4%)** avec l'indice homogénéité 7x7. Ces deux classifications spectrales-texturales sont présentées à la Figure 7.14. L'identification d'un indice optimal n'est donc pas immédiat car il n'y a pas de différences significatives entre tous les indices. Toutefois, combinée à une interprétation

visuelle, ces résultats confirment que parmi les onze possibilités, **l'indice d'homogénéité 7x7** semble le meilleur, particulièrement pour l'identification du bâti. Il permet une homogénéisation des classes spectralement hétérogènes (bâti et ombre).

Tableau 7.2 – Paramètres de qualité des classifications spectrale et spectrales-texturales.

	Simulation 2.5 m	Précision globale (%)	Gain (%)	Erreur de commission moyenne (%)	Erreur d'omission moyenne (%)	Gain Commission (%)	Gain Omission (%)	Kappa
	Classification spectrale	93.4	/	91.0	86.8	/	/	0.91
Classifications spectrales-texturales	*(1) HOM7*	*94.5*	*+1.1*	*92.5*	*88.2*	*+1.5*	*+1.4*	*0.92*
	(2) ENT7	93.9	+0.5	91.7	87.5	+0.7	+0.7	0.91
	(3) SMA7	93.8	+0.4	93.8	87.3	+2.8	+0.5	0.91
	(4) DISS7	94.0	+0.7	92.0	87.1	+1.0	+0.3	0.92
	(HOM+ENT+SMA+DISS)7	94.0	+0.6	90.3	87.0	-0.7	+0.2	0.92
	CP1+CP2+CP3	94.1	+0.8	93.2	87.9	+2.2	+1.1	0.92
	CP1	94.2	+0.8	93.3	88.1	+2.3	+1.3	0.92
	HOM CP1	*94.3*	*+0.9*	*93.5*	*88.1*	*+2.5*	*+1.3*	*0.92*
	ENT CP1	94.3	+0.9	92.5	88.2	+1.5	+1.4	0.92
	SMA CP1	94.0	+0.6	92.5	87.7	+1.5	+0.9	0.91
	DISS CP1	94.3	+0.9	92.5	88.0	+1.5	+1.2	0.92

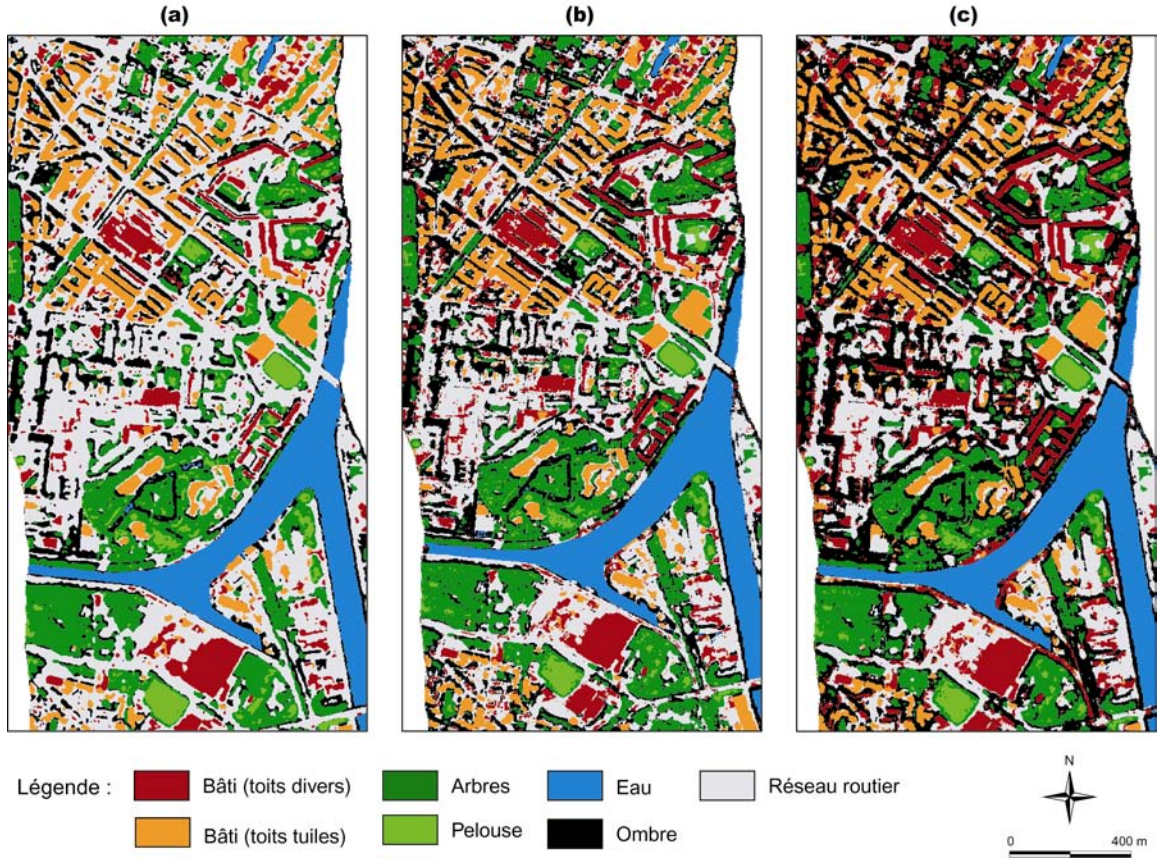


Figure 7.14 – Exemples de résultats des classifications spectrales-texturales obtenues avec l'indicateur d'homogénéité 7x7 (a), les 3CP (b) et la CP1 de l'indicateur d'homogénéité (c) ***(C)***.

La faiblesse du gain de pourcentage de bon classement indique qu'il est inutile d'appliquer cette lourde procédure de tests à toutes les autres résolutions (10, 5 et 1m).

Notre réflexion porte sur **l'influence de la résolution sur l'apport potentiel de la texture**. Intégrer l'indicateur Homogénéité avec une fenêtre 7x7 améliore-t-il la précision globale des classifications spectrales aux autres résolutions spatiales ? L'hypothèse est vérifiée au paragraphe suivant.

7.2.3.3 Influence de la résolution spatiale sur l'apport de la texture

L'indice d'homogénéité 7x7 a été intégré comme bande additionnelle dans les procédures de classifications à 10, 5 et 1 m. Les résultats images de ces classifications spectrales-texturales, en comparaison avec les classifications spectrales, sont présentées, respectivement aux Figures 7.15 et 7.16.
L'**analyse des indicateurs de qualité** aux différentes résolutions spatiales (Tableau 7.3) indiquent sans surprise une diminution de la précision globale de classification lorsque la résolution spatiale est plus fine. L'amélioration atteint plus de 2% à 10 m, 1% à 5 m et moins de 1% à 2.5 m. L'apport de l'indicateur d'homogénéité est essentiellement observé sur la classe « ombre » ; aux résolutions plus grossières, la classe « ombre » est moins présente et donc plus hétérogène. Le phénomène inverse est observé à 1 m ; la classe « ombre » plus homogène est « diluée » dans les classes environnantes plus hétérogènes. L'amélioration de la précision globale est dès lors plus importante sur les images à 1 m, et atteint 5%. Cette amélioration est particulièrement visible pour les classes de « bâti toits divers », « arbres », et « routes » où les améliorations atteignent plus de 10%. Le pourcentage de la classe « ombre » passe de 30% (classification spectrale) à 11% (classification spectrale-texturale).

Tableau 7.3 – Pourcentages de bon classement des classifications spectrales et spectrales–texturales aux différentes résolutions spatiales.

10 m	**Classification spectrale**	**Classification spectrale-texturale**
Précision globale (%)	***90.3***	***92.5***
Kappa	0.87	0.90
5 m		
Précision globale (%)	***92.8***	***93.9***
Kappa	0.90	0.92
2.5 m		
Précision globale (%)	***93.4***	***94.5***
Kappa	0.91	0.92
1 m		
Précision globale (%)	***87.8***	***92.2***
Kappa	0.86	0.91

En conclusion, cette analyse confirme **l'utilité d'intégrer des informations spatiales pour améliorer les classifications spectrales** des images THR. Une taille de fenêtre de 7x7 et l'indicateur d'Homogénéité sont apparus comme optimaux sur les images métriques car il a permis d'améliorer la précision globale des classifications et particulièrement le pourcentage de bon classement des classes bâties. Dans ce contexte, nous pouvons affirmer qu'un **seuil de résolution (≈ 1 m)** a été mis en évidence à partir duquel **l'apport de la texture est significatif** pour les classes bâties et pour **réduire les classes d'ombre**.

Ces résultats indiquent également que la texture constitue **une propriété particulière des classes bâties et ombres**. Ce type d'informations pourra être considérée dans la suite de ce travail comme une **connaissance supplémentaire** permettant de différencier les bâtiments des autres classes d'objets dans des procédures d'extraction fondées sur les propriétés des objets (classification orientée-objets). La morphologie mathématique permet-elle également d'identifier une propriété sur la structure des objets urbains sur les images THR ? C'est ce que nous allons vérifier dans le paragraphe suivant.

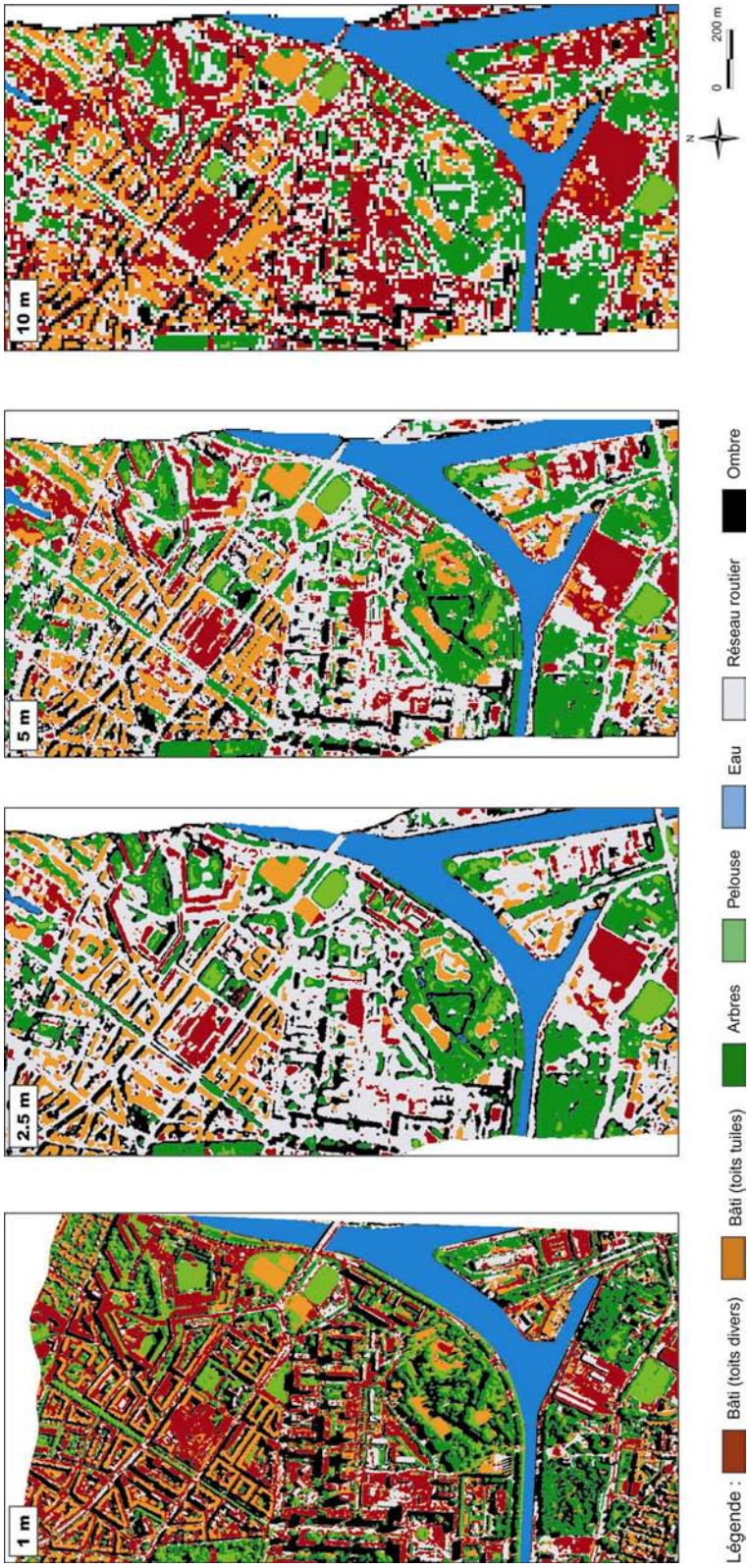


Figure 7.15 – Classifications spectrales aux différentes résolutions spatiales ***(C)***.

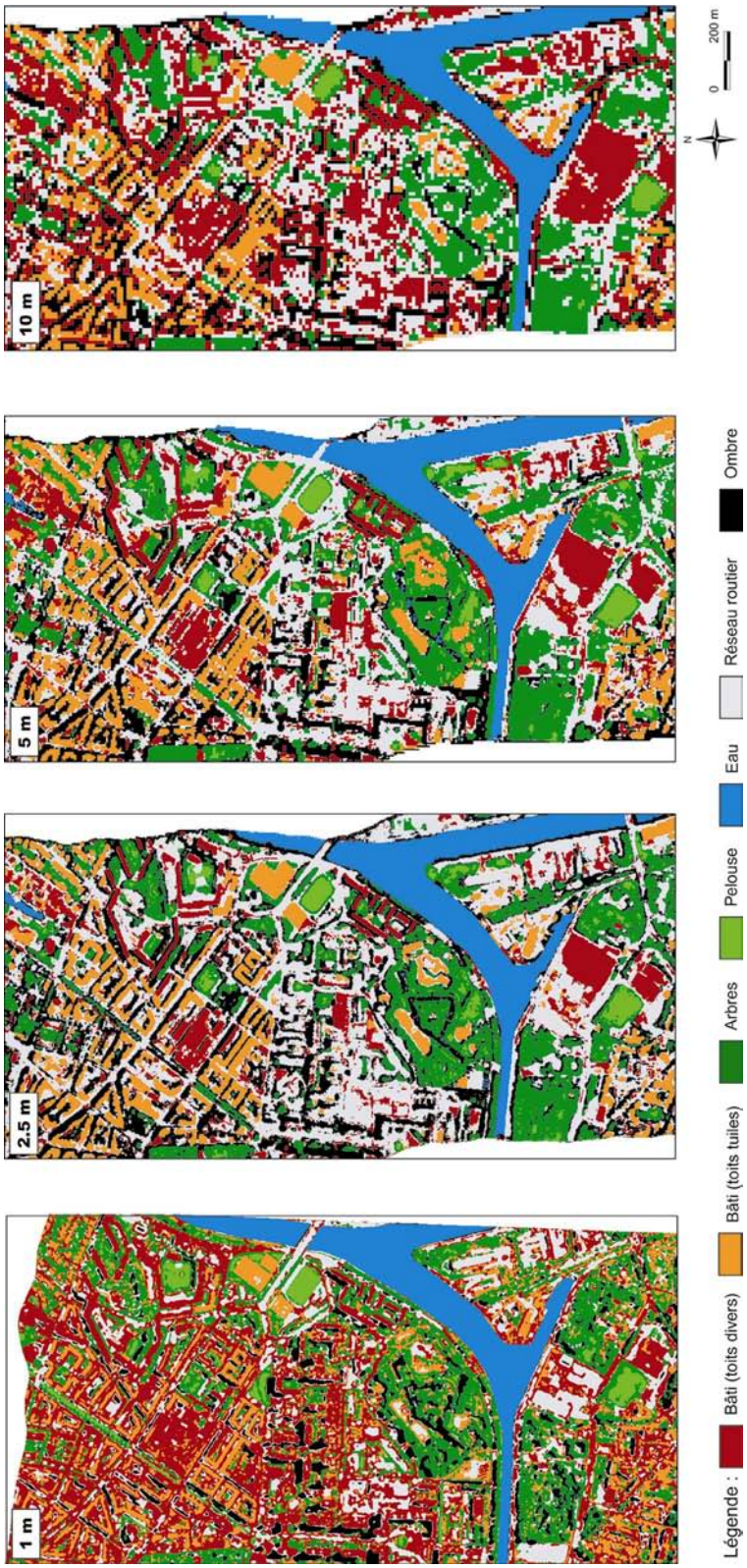


Figure 7.16 –Classifications spectrales-texturales obtenues avec l'indicateur d'homogénéité 7x7, aux différentes résolutions spatiales ***(C)***.

7.2.4 Apport et utilité de la morphologie mathématique pour extraire les objets de type « bâtiment » et pour identifier les propriétés intrinsèques des images THR

L'identification des bâtiments en milieu urbain constitue un enjeu pour les utilisateurs, notamment pour la mise à jour de base de données. Une méthode de segmentation fondée sur la morphologie mathématique a été testée afin de vérifier si les objets de type « bâtiments » peuvent être extraits uniquement sur la base de leur information spatiale « de structure ». La morphologie mathématique permet d'identifier des ensembles de pixels d'une image par comparaison avec des éléments structurants (de forme prédéfinie) qui jouent le rôle de filtres spatiaux. Ces éléments structurants, de forme variée, circulent sur l'image à la manière d'opérateurs de convolution et modifient des formes par union, intersection ou complémentation (Flouzat, 1988). Il est possible de combiner les opérateurs de base (érosion, dilatation) et de créer des séquences de traitement pour extraire de l'image les structures recherchées. Parmi les combinaisons utilisées dans le cadre d'une procédure de délimitation urbaine sur des images HR, citons le chapeau haut-de-forme, le fond de vallée, le squelette, la ligne de partage des eaux (Bailly, 1996 ; Terretaz, 1998 ; Weber, 2000). Dans ce cadre, le **premier objectif est de vérifier si l'application d'une procédure utilisant une chaîne d'opérateurs morphologiques, classiquement utilisée sur des images HR** pour extraire les structures urbaines, **est applicable sur des images à THR**. Le second objectif est **d'identifier une propriété spécifique des objets urbains de type « bâtiments » sur des images THR**.

7.2.4.1 Méthodologie d'extraction des structures urbaines fondée sur des opérateurs morphologiques

L'identification des objets de type « bâtiment » est effectuée, sur l'image panchromatique aux résolutions spatiales de 10, 5, 2.5, et 1 m.

La méthodologie de segmentation correspond à une partie de la chaîne de **transformations morphologiques** appliquée par Terretaz (1998) sur des images SPOT panchromatique à 10 m. La procédure est construite sur la notion de **fermeture** (dilatations suivies d'érosions) et d'**ouverture** (érosions suivies de dilatations) (Figure 7.17). Elle consiste, dans un premier temps, à appliquer un opérateur « **chapeau-haut-de-forme** » (crêtes) et « **fond de vallée** » sur l'image panchromatique, avec un élément structurant de taille 3x3. L'opérateur « vallée », qui soustrait une fermeture à l'image panchromatique originale, permet d'extraire les objets à faible réflectance et les effets d'ombres (structures sombres). A l'inverse, l'opérateur « crête », qui soustrait une ouverture à l'image panchromatique originale, permet d'extraire les objets à fortes réflectances, soit essentiellement les zones bâties (structures claires) (Destival, 1987 ; Voiron, 1995).

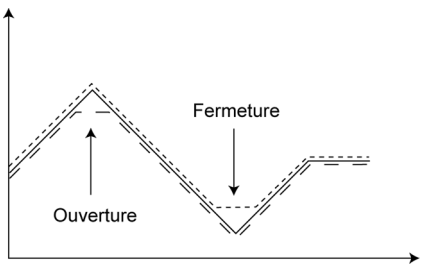


Figure 7.17 – Principe d'ouverture et de fermeture.

Dans un deuxième temps, la combinaison des images « vallées » et « crêtes » permet de produire une image des structures claires et des structures sombres. Un filtre moyen (taille 7x7 pour toutes les résolutions) est appliqué à l'image des structures afin d'éliminer les pixels isolés. Sur l'image combinée, un seuil est choisi (par une procédure d'essais et d'erreurs) pour optimiser la différenciation visuelle entre objets à faible et à forte réflectance. Le résultat est une image binaire « bâti » / « non-bâti ». Le choix du seuil est délicat puisque son caractère optimal ne peut être défini que localement et non sur toute l'image. De plus, le choix dépend de l'objectif de l'expert. Le résultat de l'extraction est comparé à des surfaces de référence et aux surfaces bâties extraites des classifications supervisées spectrales et spectrales-texturales. La Figure 7.18 résume la méthodologie appliquée.

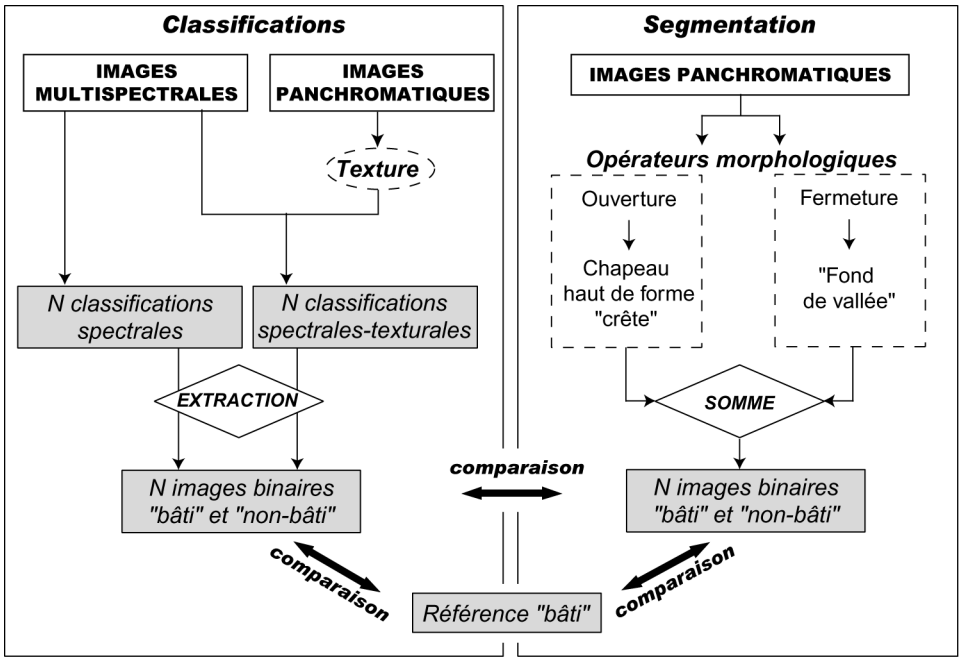


Figure 7.18 – Méthodologie d'évaluation de l'extraction des objets « bâti » extraits par morphologie mathématique.

7.2.4.2 Apport de la morphologie mathématique pour extraire le bâti

Les résultats d'extraction des structures urbaines sont analysés sur trois types de tissus urbains : un tissu urbain « dense », un tissu urbain de type « grands ensembles » et un tissu urbain de type « pavillonnaire ». Les résultats présentés dans ce travail sont différents de ceux présentés dans Puissant et Weber (2002) ; nous cherchons à valider ces résultats préliminaires sur d'autres zones. Un exemple de résultat obtenu à partir des images panchromatiques à 5 m et à 2.5 m est présenté à la Figure 7.19. Pour la représentation, l'ordre des niveaux de gris a été inversé ; le noir représente le bâti et le blanc le non-bâti.

Les limites vectorielles des bâtiments de la BD TOPO® ont été utilisés comme référence pour la comparaison des surfaces identifiées par morphologie mathématique et par les deux types de classifications. En raison de l'ancienneté de cette base (IGN, 1989), une mise à jour a été réalisée par digitalisation de la BD ORTHO® (IGN, 1998) pour permettre une meilleure correspondance avec les images disponibles (1997, 1999). Cette base de référence a été préférée à la photo-interprétation de l'ensemble des tissus urbains pour être le plus objectif possible par rapport aux données fournies sur le marché.



Figure 7.19 – Extraction des objets de type « bâtiments » par morphologie mathématique à 5 et 2.5 m.

La correspondance des surfaces extraites est la suivante :

- le tissu urbain de type « dense » correspond aux classes de bâti de type « toits de tuiles et « toits divers »,
- le tissu urbain de type « grand ensemble » coïncide avec le bâti de type « toits divers » et,
- le tissu urbain « pavillonnaire » correspond uniquement au bâti de type « toits tuiles ».

L'analyse des **erreurs relatives** définies comme la différence entre les surfaces de référence et les surfaces issues des trois méthodes d'extraction, rapportées aux surfaces de référence, permet d'évaluer la qualité de restitution des structures urbaines aux différentes résolutions (Figure 7.20).

Les graphiques de la Figure 7.20 suggèrent les observations suivantes :

(1) les **trois méthodes** d'extraction **surestiment** les surfaces bâties des trois types de tissus urbains aux différentes résolutions, sauf la classification spectrale du tissu urbain « dense » aux résolutions de 1 et 2.5 m ;

(2) la **surestimation** est plus **importante** par la **morphologie mathématique**. Elle est d'autant plus importante que le tissu urbain est lâche et que la résolution diminue pour les tissus urbains de type « dense » et « grand ensemble ». A l'inverse, pour le tissu urbain « pavillonnaire », la surestimation augmente avec l'amélioration de la résolution spatiale ; ceci s'explique car une résolution plus fine permet d'identifier des structures de plus en plus nombreuses (augmentation de l'hétérogénéité) ;

(3) il existe un **seuil de résolution** (entre 2 et 3 m) à partir duquel la morphologie mathématique ne permet plus d'extraire l'objet lui même (le bâtiment), mais ses contours. Sur les images THR, l'information de structure n'est pas suffisante à elle-seule pour identifier les surfaces bâties ; d'autres méthodes devront donc être utilisées. Par contre, l'information extraite à partir de la morphologie mathématique pourra être utilisée comme une information

supplémentaire dans une approche orientée-objets (Figure 7.21) ;

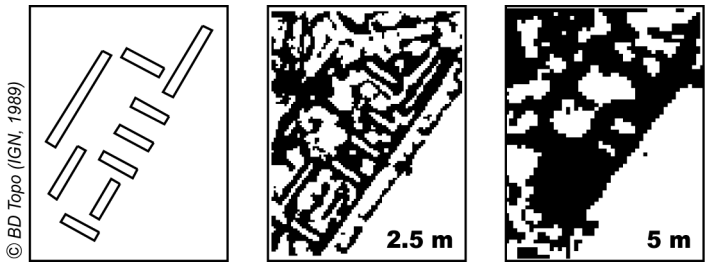


Figure 7.21 – Extraction des surfaces bâties de type « grand ensemble »par morphologie mathématique.

(4) les **classifications spectrales-texturales** améliorent faiblement l'identification des bâtiments par rapport aux classifications spectrales. Cette amélioration est toutefois plus marquée pour le tissu urbain de type « grand ensemble » et « pavillonnaire » (comme l'a montré l'analyse des indicateurs de qualité des classifications) ;

(5) les **classifications spectrales** et **spectrales-texturales** mettent en évidence une **résolution « optimale »** en termes d'**extraction de la forme** des bâtiments, **selon le type de tissus urbains** : la résolution de 1 m permet d'identifier à plus de 95% les bâtiments de tissus urbains « pavillonnaire » et « dense » alors que la résolution de 2.5 m identifie les bâtiments des « grands ensembles ». Ces résultats permettent de préciser l'identification de la résolution spatiale optimale des bâtiments (§ 6.1.2.2).

Ces résultats confirment les résultats préliminaires, réalisés en 1999, sur les mêmes types de tissus urbains à partir d'une zone d'étude différente sur l'agglomération de Strasbourg (*in* Puissant et Weber, 2002).

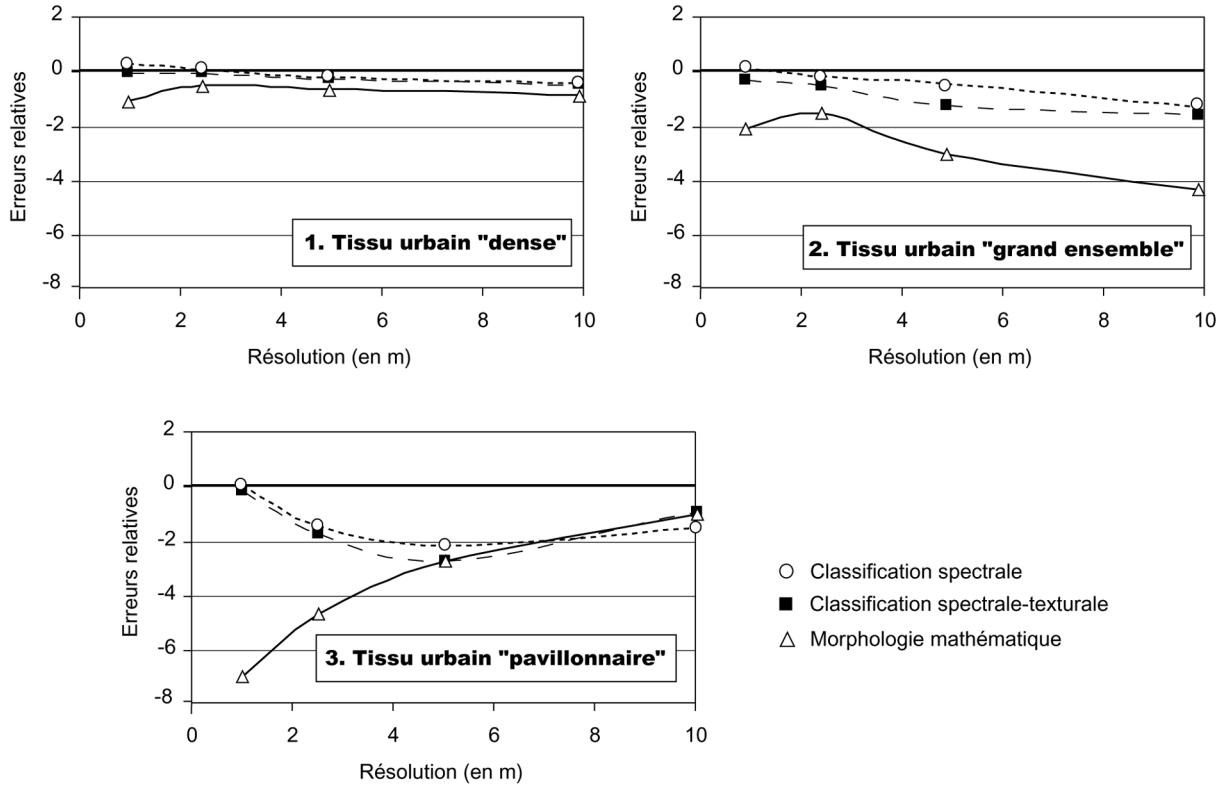


Figure 7.20 – Erreurs relatives sur l'identification des surfaces bâties par trois méthodes d'extraction.

7.3 CONCLUSION ET DISCUSSION

Ce chapitre a mis en évidence la diversité des solutions proposées aux utilisateurs pour extraire automatiquement l'information urbaine et en parallèle leur complexité. Avec les images satellites HR, les méthodes d'extraction conventionnelles (classification spectrale, zonale…) sous réserve de quelques adaptations peuvent dans la majeure partie des cas fournir des résultats satisfaisants en milieu urbain. Les résultats des tests appliqués à différentes résolutions spatiales indiquent que de **l'identification de zones** sur les images à HR, on passe à **l'extraction d'objets individualisés et de leurs éléments constitutifs (domaine de l'analyse)**. La vision de la ville et la signification thématique des réponses spectrales sont modifiées. Ainsi, une même signature spectrale peut correspondre à des objets différents (un toit et une route) ; à l'inverse les mêmes types d'objets se caractérisent par des réponses spectrales différentes (des toits de divers matériaux). Les méthodes traditionnelles sont devenues « trop simples » pour la complexité propre des images THR et du milieu étudié. D'un point de vue méthodologique, les résultats des tests effectués ont également montré que :

- les **classifications spectrales** (approche par pixel) ne sont **pas suffisantes** sur des images métriques pour extraire l'information urbaine ;
- les tentatives d'amélioration des classifications spectrales par l'apport d'information spatiale (analyse de texture) ne sont pas significatives à des résolutions de 10 à 2.5 m. Par contre, un **seuil de résolution** a été mis en évidence (**≈ 1 m**) à partir duquel la texture permet d'améliorer l'extraction d'information urbaine et particulièrement **l'extraction des bâtiments dans des tissus urbains de type « grands ensembles » et « pavillonnaire » ;**
- la morphologie mathématique, contrairement aux images HR, ne permet pas d'extraire les bâtiments, mais leurs contours à partir d'une résolution spatiale de 2 et 3 m ;

Par ailleurs, les différents tests effectués ont mis en évidence **des propriétés intrinsèques spécifiques aux objets urbains identifiables sur des images THR**. Ainsi, les bâtiments peuvent être plus facilement différenciés si l'on tient compte de leur propriété spatiale par l'indicateur d'Homogénéité selon une fenêtre 7x7 et de leur propriété « structurelle » par l'utilisation d'opérateurs morphologiques. Ceci présuppose l'importance de la détection de contours sur des images THR.
Une approche alternative pour extraire des connaissances est **l'utilisation de réseaux de neurones** dans une procédure de classification supervisée par apprentissage. Dans ce contexte, des travaux de recherche ont été engagés sur les classifications supervisées à l'aide de réseaux neuronaux dans le cadre d'une collaboration entre le Laboratoire des Sciences de l'Image, de l'Informatique et de la Télédétection (LSIIT-B) et le Laboratoire Image et Ville (LIV).

Un **prototype de classification supervisée** basé sur des **réseaux de neurones Hyperconvexes** a été développé par le LSIIT-B. Il est fondé sur des réseaux perceptrons multicouches (réseaux de neurones les plus utilisés en télédétection - Novak, 2000). Trois géométries HyperConvexes ont été implantées dans le prototype : une HyperSphère (réseau le plus simple), un HyperRectangle (Novak, 2000) et des HyperEllipses ou ellipsoïdes orientées (Grezlak, 2001). Le prototype **extrait également des connaissances sous la forme de règles** à partir du réseau des neurones HyperConvexes. Cette étape d'extraction simple (le réseau est construit « pièce par pièce ») permet de définir entièrement la topologie de la base de règle : chaque règle correspond donc à un HyperConvexe.

Les tests effectués ont été réalisés à partir d'une première version du prototype (interfaces présentées à l'Annexe 7.3). Les premiers tests d'évaluation ont montré l'intérêt des hyperellipses pour extraire les objets sur des images THR en raison de leur forme « moins théoriques » et plus proche des objets dans la réalité. Un premier résultat « exploratoire » sur une image simulée multispectrale à 2.5 m, en comparaison avec la classification spectrale par analyse discriminante est présentée à la Figure 7.22. Un masque sur la classe « eau » a permis, comme pour les classifications spectrales, d'éviter les confusions avec l'ombre portée. De la même manière, un traitement post-classification a été appliqué pour enlever les pixels isolés. La classification neuronale atteint une précision globale de 91.8%, proche de celle obtenue par analyse discriminante (93.4%). Une analyse visuelle indiquent que les thèmes les moins bien classés sont les « routes » confondues avec l'ombre. Un des inconvénient de la méthode est que l'ordre d'entrée des échantillons influence le résultat de la classification. L'extraction des règles de connaissance du réseau de neurones est en cours de développement et de validation.

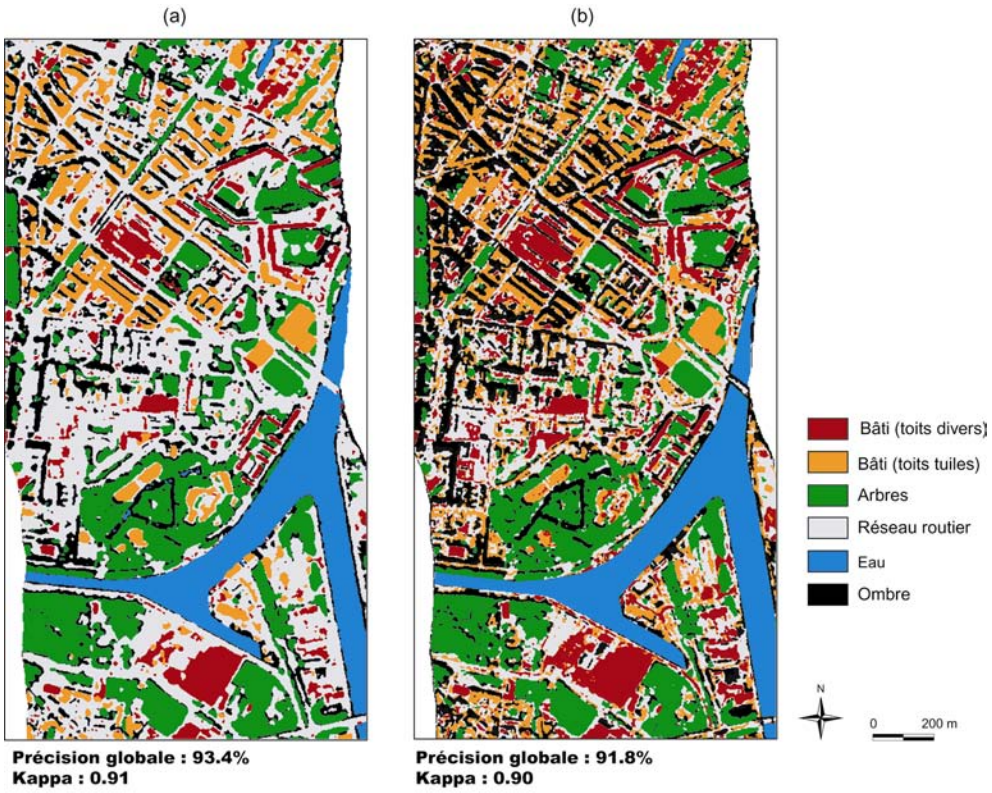


Figure 7.22 – (a) Classification spectrale par analyse discriminante comparée à (b) une classification spectrale basée sur un réseau de neurones HyperConvexes à 2.5 m ***(C)***.

Ces résultats exploratoires montrent qu'il est possible de développer des **interfaces simples d'utilisation** pour les utilisateurs, qui permettent d'obtenir des résultats proches de **classifications spectrales** et **d'extraire des règles de reconnaissance des objets urbains**.

En résumé, les résultats indiquent qu'il convient de considérer maintenant **le traitement numérique d'images THR**, non plus en termes de choix d'un algorithme mais davantage comme **l'élaboration d'un processus à plusieurs étapes** exigeant une interactivité permanente avec l'expert. Il faut être conscient que ce gain d'interactivité risque de rendre la procédure de classifica-

tion plus complexe et engage davantage la responsabilité de l'expert. Il requiert de sa part plus d'expérience, de compétences et de connaissances sur les objets à identifier que la mise en œuvre de classifications basées uniquement sur la dimension spectrale. Dans ce cadre, **la connaissance extraite à partir de l'application des méthodes traditionnelles peut servir de règles de reconnaissance dans une approche orientée-objets.** Le chapitre suivant est consacré à l'élaboration d'une base de règles de reconnaissance des objets urbains pour améliorer le processus de classification et répondre aux besoins des utilisateurs.

Chapitre 8 :

VERS UNE DEMARCHE ORIENTEE-OBJETS

SOMMAIRE

INTRODUCTION 291

8.1 QU'APPELLE-T-ON UNE DEMARCHE « ORIENTEE-OBJETS » ? 293

8.2 IDENTIFICATION ET CONSTRUCTION D'UNE BASE DE REGLES DE RECONNAISSANCE DES OBJETS « MICRO » 295

8.2.1 Critères de qualification des propriétés intrinsèques des objets « micros » 296

8.2.2 Formalisation des critères de reconnaissance des objets « micro » : des règles « absolues » ? 301

8.3 IDENTIFICATION ET CONSTRUCTION DES REGLES DE REGROUPEMENT DES OBJETS « MICRO » EN OBJETS « MESO » 303

8.3.1 Caractéristiques des objets « méso » au 1/10 000e 304

8.3.2 Identification des règles de regroupement des objets « méso » au 1/10 000e 305

8.4 EXEMPLE D'INTEGRATION DES REGLES DE RECONNAISSANCE : PREMIERS RESULTATS EXPLORATOIRES 308

8.4.1 Etape de segmentation 309

8.4.2 Etape de caractérisation des régions et de classification en objets « micro » 310

8.4.3 Utilisation de eCognition pour tester la validité de l'utilisation d'une base de règles de reconnaissance des objets « micro » 311

8.4.4 Etape d'agrégation des objets « micro » en objets « méso » par application des règles de regroupement : premiers résultats 316

8.5 CONCLUSION 317

Puissant A. et Weber C., 2003b, Vers une démarche orientée-objets pour extraire les objets urbains sur des images THR, *Bulletin de la Société Française de Photogrammétrie et Télédétection* (soumis).

INTRODUCTION

Le chapitre précédent a montré que la THR amène une **nouvelle vision du territoire**, non-plus constitué de zones plus ou moins homogènes mais de « formes » bien définies qui peuvent être un atout pour les classifications orientée-objets mais qui sont un véritable frein à l'utilisation des méthodes traditionnelles d'extraction (approche spectrale). La « dématérialisation » de l'information spectrale ou spatiale nécessite une **réflexion sur les objets urbains eux-mêmes** et **non plus sur les pixels**, mais aussi sur leur caractérisation (appartenance à des classes typologiques, formes, relations spatiales), en gardant à l'esprit que l'un des éléments essentiels à la compréhension de l'image réside dans son information contextuelle (Netzband, 2002).

L'**objectif** de ce chapitre **est d'améliorer le processus d'extraction d'information urbaine, à partir d'images THR, par la formalisation univoque des objets urbains et l'intégration de cette connaissance dans une approche orientée-objets.** Il s'agit donc de construire une base de règles de reconnaissance qui permette d'identifier les classes thématiques définies comme utiles par les utilisateurs au 1/10 000e (cf. § 5.3 – Tableau 5.9). Les règles de reconnaissance et leur implantation dans une méthode d'extraction sont souvent opaques.

Dans une démarche orientée-objets, l'extraction des classes thématiques, à partir d'une image satellite THR, n'est plus le résultat d'un seul algorithme mais celui d'une **procédure en plusieurs étapes**. Quatre étapes sont indispensables (Figure 8.1) :

- la **première étape** consiste en une segmentation de l'espace en « régions » constituées d'agrégats de pixels homogènes. Cette décomposition initiale en « régions » ou « segments » met à disposition un premier ensemble « d'objets » indépendants ;
- la **seconde étape** consiste à caractériser les régions selon leurs propriétés intrinsèques (spectrales, spatiales, géométriques, contextuelles)
- la **troisième étape** regroupe les régions de caractéristiques communes et leur attribue une classe. Cette étape de classification permet donc, à l'inverse des images HR, d'identifier les objets urbains élémentaires qui structurent la forme urbaine et aident à l'analyse morphologique de l'espace urbain. Ces objets urbains correspondent à des objets « biophysiques » (identification des matériaux) dont les caractéristiques (autres que spectrales : géométrie, relations spatiales) permettent de préciser leur fonctionnalité (pavillon indépendant, immeuble d'habitation, bâtiment industriel) ;
- la **quatrième étape** consiste à regrouper les objets urbains élémentaires spatialement proches (étape d'agrégation) pour reconstituer les classes thématiques au 1/10 000e, appelées également « objets méso », par opposition aux objets urbains élémentaires appelés « **objets micro** » (Ruas, 1999). Pour faciliter la compréhension de la démarche, ces deux termes sont employés dans ce chapitre. Ce regroupement nécessite également la définition de règles de regroupement qui utilisent les informations contextuelles et les relations spatiales entre les objets.

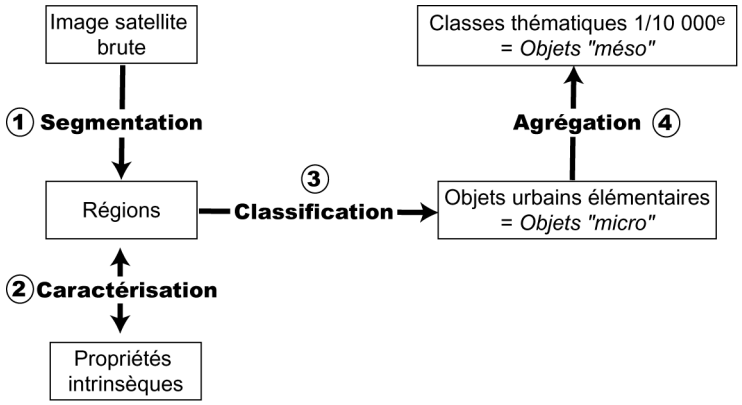


Figure 8.1 – Étapes d'une démarche orientée-objets.

La section 8.1 présente de manière plus détaillée la spécificité de la méthode orientée-objets. Les sections 8.2 et 8.3 s'intéressent à identifier et à construire, respectivement, les règles de caractérisation des objets « micro » et les règles d'agrégation de ces objets « micro » en objets « méso ». Un exemple d'intégration de ces règles au niveau « micro » et « méso » dans un logiciel commercial (eCognition, Defienes, 2002) est présenté à la section 8.4. La méthode est en cours de développement et chaque étape nécessite d'être validée soigneusement ; les résultats présentés ici sont exploratoires.

8.1 QU'APPELLE-T-ON UNE DEMARCHE « ORIENTEE-OBJETS » ?

Les méthodes de classification « orientée-objets » sont assez récentes en télédétection ; à l'inverse des approches spectrales, basées sur le pixel, ces nouvelles démarches classifient des « régions », ensembles de pixels, préalablement segmentés.

Ce type de démarche traduit la manière dont les données numériques (ici les images satellites) sont « modélisées » pour être représentées dans un « système informatique » (dans notre cas un système de classification automatique). L'orientée-objets est une démarche actuellement très utilisée dans les SIG pour la modélisation informatique des bases de données vectorielles. Un rapide **état de l'art** des **différents modèles conceptuels de données** est présenté ci-dessous, de manière chronologique, afin de bien comprendre l'intérêt d'une telle approche sur des images THR.

Boffet (2001) a relevé six grands types de modèles de représentation des données, selon leur apparition chronologique :

(1) Le premier modèle est le **modèle hiérarchique**, dans lequel, « *les données sont représentées par des ensembles d'enregistrements associés par des relations, appelées liens, organisées de façon arborescente. L'ensemble de la base de données est constitué d'arbres de données* » (Pornon, 1990). Cette arborescence hiérarchique autorise la répétition d'une même information, ce qui conduit à deux inconvénients : (1) le risque d'inconsistance de l'information lors de la mise à jour et (2) le gaspillage de la mémoire.

(2) Le **modèle réseau** a succédé au modèle hiérarchique ; il présente la même organisation en enregistrement et relations mais sans répétitions. Ce modèle présente deux inconvénients majeurs : (1) la complexité du schéma dans le cas de bases de données importantes et (2) la réorganisation à reconstruire pour chaque nouvelle exploitation de la base de données.

(3) Le **modèle entité-association** (Chen, 1976) est un modèle conceptuel qui identifie des objets (entité), des liens entre ces objets (association) et des propriétés observables (attributs). L'apport de ce modèle réside principalement dans la formulation des liens très variés entre objets.

(4) Le **modèle relationnel** (Codd, 1970) est un modèle théorique construit à partir de la notion ensembliste de relation (sous-ensemble du produit cartésien de domaines). Un schéma de base de données est constitué par un ensemble de schémas relationnels. L'extension du schéma de la base peut être vue comme une succession de tables à deux dimensions dans lesquelles les lignes sont des enregistrements (ou occurrences) et les colonnes des attributs (champs). « *Le principal intérêt du modèle relationnel est d'être moins rigide et plus facile à mettre en œuvre que les autres modèles de bases de données. Il est facile de faire évoluer une base de données relationnelles en ajoutant de nouvelles tables, de nouveaux attributs à des tables ou de nouvelles relations entre tables* » (Pornon, 1990). Le principal inconvénient de ce modèle est lié au fait que l'information étant répartie dans plusieurs schémas relationnels, sa reconstitution met en œuvre des opérations complexes et « coûteuses » (jointures).

(5) Le modèle **orienté-objet** est un modèle où l'objet est défini par une identité, un état et un comportement (Muller, 1997). L'identité caractérise l'existence propre de l'objet au sein du modèle. L'état, qui évolue dans le temps, regroupe les valeurs instantanées de tous les attributs d'un objet. Le comportement décrit les actions et réactions que cet objet est susceptible d'avoir au cours de sa « vie ». Chaque élément du comportement est appelé opération ou méthode. Les méthodes sont déclenchées suite à une stimulation envoyée à l'objet sous forme de message ou par modification d'une des valeurs d'attributs (les réflexes).

Le concept de classe permet de regrouper des objets qui possèdent des états et des comportements communs. Une classe est définie par des champs (attributs) et des opérations (méthodes). Selon Laurini et Milleret-Raffort (1993), l'approche objet dans les SIG offre l'**avantage** de « *pourvoir manipuler des objets complexes de haut niveau grâce aux types abstraits de données, plutôt que des primitives graphiques de bas niveau (nœuds, lignes, polygones)* ».

(6) Le **modèle agent** a été proposé par Ferber (1995), dans la continuité des travaux effectués sur l'objet. Il repose sur la notion de communautés d'objets qui communiquent entre eux, et qui ont des autonomies différentes. La principale différence entre un objet et un agent est que les agents ont un but à atteindre ; ils négocient entre eux Cette approche permet d'avoir une vision locale et décomposée du problème. A l'inverse, les objets n'ont aucun but ; ils sont manipulés par une entité externe en fonction d'un objectif. Contrairement au modèle objet, qui utilise une formalisation UML (Unified Modelling Language), il n'existe pas encore de formalisme « universel » agent.
Le point clef des Systèmes Multi-Agent (SMA) se situe dans l'autonomie des agents comparée à la passivité ou réactivité des objets ; en d'autres termes, les agents vont pouvoir déclencher eux–mêmes des méthodes afin d'atteindre leur(s) but(s). Le moteur d'un agent peut-être très basique (agent réactif, dès qu'il perçoit un signal, il agit toujours de la même façon) ou plus sophistiqué (agent cognitif, l'agent a plusieurs comportements possibles qu'il déclenche en fonction d'un ensemble de considérations sur lui-même, les autres agents et son environnement).

Pour l'analyse des milieux urbains à partir d'images satellites THR, le photo-interprète reconnaît assez aisément, les différents tissus urbains qui correspondent aux classes thématiques d'occupation/utilisation du sol (objets « méso ») d'une nomenclature au 1/10 000^{e} ; par exemple :

- les **centre-villes** sont très denses et les bâtiments mitoyens forment des blocs de forme complexe. Les centres anciens sont généralement constitués d'un enchevêtrement de ruelles souvent ceinturées par des rocades concentriques retraçant des anciennes limites de la ville repoussées au fur et à mesure de son expansion (la densité des zones diminuant au fur et à mesure que l'on s'éloigne du centre). Les centres plus récents ont une structure plus cohérente. Ces nuances sont visibles en étudiant le réseau de rues ;
- différents types de **tissus urbains résidentiels** sont identifiables dès que l'on s'éloigne du centre-ville. Les tissus urbains **pavillonnaires** sont composés exclusivement de maisons individuelles. Les tissus urbains de **grands ensembles** sont composés exclusivement d'immeubles. Les zones mixtes ou hybrides associent plusieurs types de tissus urbains.
- les **zones industrielles** peuvent aussi être identifiées par la taille des bâtiments et le réseau de desserte, comprenant souvent des voies ferrées, ou des voies accès à une autoroute ou des échangeurs.

Le raisonnement géographique d'un photo-interprète suit une démarche orientée-objets, où l'information est manipulée d'une manière très proche de celle de la réflexion humaine. Ce raisonnement doit pouvoir être traduit en règles de reconnaissance univoques et explicites.
C'est dans ce contexte que se place notre travail dont l'objectif est de **découvrir des critères simples, objectifs et transposables de reconnaissance des objets urbains élémentaires ou « micro »**.

L'implantation des règles dans un logiciel commercial et leur validation sont à un stade préliminaire. Des tests « intensifs » selon un protocole précis et une étude paramétrique des règles de reconnaissance sont en cours.

8.2 IDENTIFICATION ET CONSTRUCTION D'UNE BASE DE REGLES DE RECONNAISSANCE DES OBJETS « MICRO »

Les objets « micro » sont composés des objets urbains élémentaires constitutifs de la ville. Parmi les objets élémentaires discutés au paragraphe 1.2.3, seuls (1) le bâtiment, (2) la végétation, (3) la route, (4) l'eau et (5) l'espace libre sont directement identifiables sur une image satellite.

Les caractéristiques de ces objets « micro » ne peuvent être découvertes que sur des **objets décrits par leur fonction**. Ainsi, un bâtiment est un pavillon s'il appartient à un tissu urbain pavillonnaire ou un hangar s'il appartient à une zone commerciale. Pour les objets biohysiques tels que la végétation, c'est leur configuration dans l'espace qui importe (arbre isolé, alignement, groupement) mais aussi leur fonctionnalité (parc, aire de jeux). Des surfaces telles que les cimetières ou les jardins familiaux sont également considérées comme des objets fonctionnels car elles sont constituées d'objets avec une résolution spatiale minimale très élevée (20 à 50 cm).

Le Tableau 8.1 liste l'ensemble des objets « micro » décrits selon un code sémantique pour reconstituer le niveau « méso ». Cette liste, non exhaustive, souligne la complexité et le grand nombre d'objets à caractériser dans le milieu urbain.

Tableau 8.1 – Objets utilisés pour l'analyse statistique exploratoire des propriétés géométriques des objets urbains.

Objets « micro »		**« Appartenance fonctionnelle » = objets « micro-fonctionnels »**
I. Bâtiment	1	Pavillon
	2	Grand ensemble (habitat collectif)
	3	Dense
	4	Industrie/Commercial
II. Végétation	5	Arbre isolé*
	6	Alignement d'arbres*
	7	Groupement d'arbres*
	8	Parc (espace vert public)
	9	Jardin familial/ouvrier*
	10	Jardin privé
	11	Equipement sportif (stades, tennis)
III. Route	12	Autoroute et voie rapide (4 à 6 voies)
	13	Route principale (2 à 3 voies)
	14	Route secondaire (1 voie)
IV. Eau	15	Fleuve
	16	Rivière
	17	Canal
	18	Surface en eau
V. Espace libre	19	Cimetière*
	20	Place/square
	21	Parking
	22	Aire d'autoroute

* ces objets « micro » font partie de la nomenclature demandée par les utilisateurs au 1/10 000e.

8.2.1 Critères de qualification des propriétés intrinsèques des objets « micro »

Sur des images satellites, la réponse spectrale des objets constitue le premier critère de caractérisation. La classification des régions pré-segmentées en régions homogènes constitue donc le point de départ de la base de règles de reconnaissance (§ 8.2.1.1). Puis, les variables de caractérisation utilisées sont la taille des objets urbains et leur forme (critères géométriques - § 8.2.1.2).

8.2.1.1 Critères spectraux

En télédétection, toute surface observée peut être caractérisée par une signature spectrale qui mesure l'intensité du signal émis ou réfléchi par les objets au sol (Bonn et Rochon, 2001). Cette signature peut être unique ; il est alors aisé de reconnaître l'objet uniquement sur ce critère. Le plus souvent, cependant, la signature spectrale recoupe partiellement d'autres signatures ; il est alors plus difficile de choisir « l'étiquette » qui lui convient le mieux en minimisant autant que possible les risques d'erreurs (Bonn et Rochon, 2001). Ce processus d'analyse a été largement détaillé dans le chapitre précédent.

L'objectif est ici d'établir **des classes de signatures spectrales**, où les matériaux (les plus répandus et les plus courants des villes « occidentales ») constitutifs des cinq objets urbains élémentaires sont représentés. Cette procédure consiste à **classer les régions spectralement homogènes** en **classes de matériaux**.

Ainsi, les cinq classes de signatures spectrales présentées à la Figure 8.2 correspondent à celles utilisées au paragraphe 6.2.2.2, issues de l'image QUICKBIRD à 2.8 m :

- les signatures typiques de l'eau (1),
- les signatures relatives à la végétation (2),
- les signatures des « surfaces artificialisées ou minérales » qui peuvent être différenciées en trois sous-catégories selon leurs couleurs naturelles :
    - les surfaces minérales « oranges à rouges » (3),
    - les surfaces minérales « grises » (4),
    - les surfaces minérales « blanches à cyans » (5).

A la réponse spectrale peuvent être ajoutés d'**autres critères** permettant d'affiner la discrimination des matériaux urbains, tels que les **indices de végétation** qui exploitent la différence de comportement de la végétation dans les bandes du rouge et du PIR, les **indices de textures**, et plus particulièrement l'indice d'homogénéité (cf. § 7.2.3) qui permet d'apporter une information supplémentaire sur l'**homogénéité** de la zone segmentée. Chaque zone segmentée selon le critère de signature spectrale peut être différencié par son homogénéité. Ce critère additionnel est utile pour distinguer par exemple, une zone grise homogène (correspondant à un toit), d'une zone grise hétérogène (correspondant à un parking parsemé de voitures).

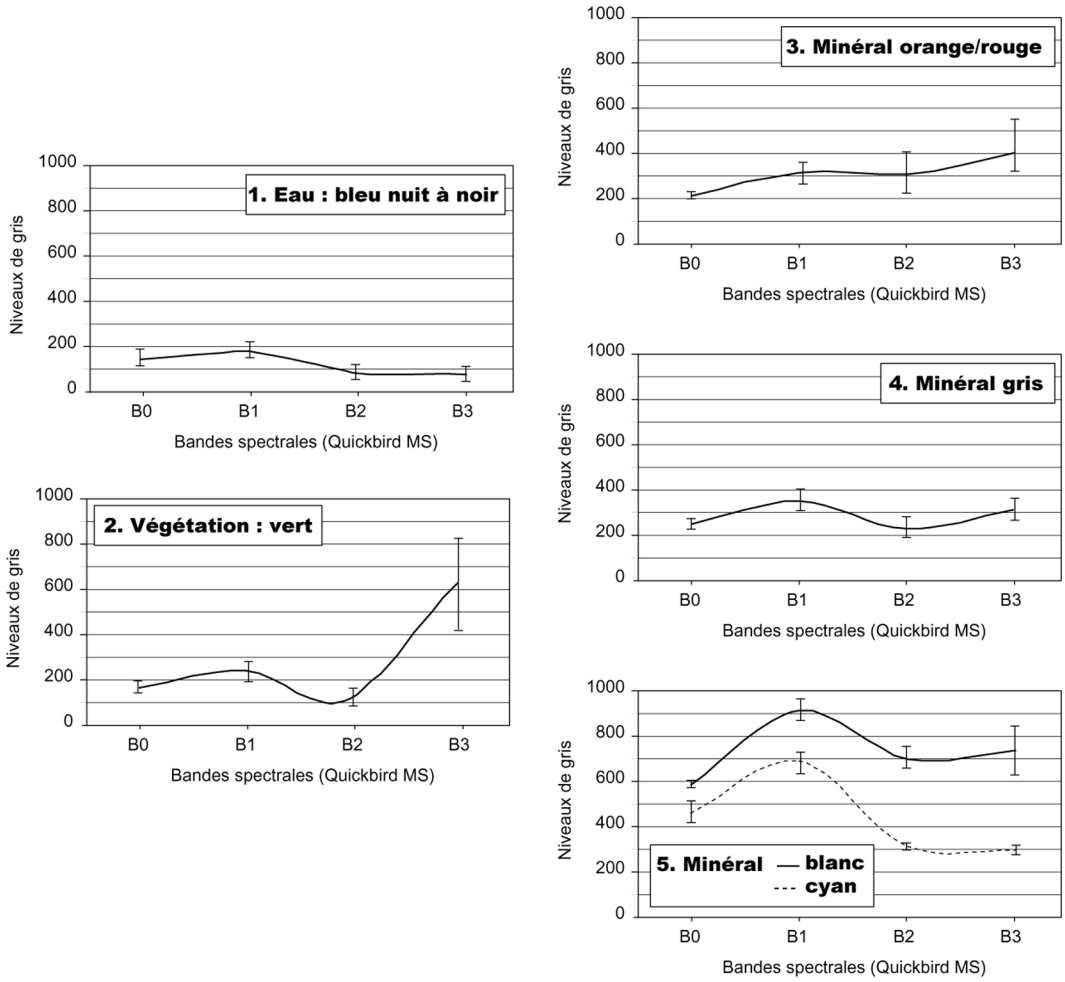


Figure 8.2 – Catégories d'objets selon leur signature spectrale.

8.2.1.2 Critères géométriques et identification des indicateurs les plus pertinents

Les critères géométriques qui permettent de caractériser les régions préalablement segmentées et classifiées selon leur caractéristique spectrale sont les **indicateurs de « dimension »** (longueur, surface, périmètre) et les **indicateurs de forme**. L'utilisation de ces critères (individuellement ou en combinaison) permet d'effectuer des hypothèses sur l'« appartenance fonctionnelle » des bâtiments ou la configuration de la végétation :

- les pavillons (habitations individuelles) sont petits,
- les habitations collectives des grands ensembles sont souvent plus grandes (surfaces) et plus allongées,
- les bâtiments commerciaux sont grands et plus compacts que les habitations collectives,
- les bâtiments administratifs ou culturels ont souvent des formes plus originales qui peuvent être détectées par la présence d'arrondis ou par un squelette ramifié,
- un arbre est de forme circulaire,
- une zone d'ombre est petite et de forme spécifique par rapport à une surface en eau plus grande, etc.

La **forme** d'un bâtiment peut être étudiée selon de nombreux critères ; nous en détaillerons quelques uns, en ciblant nos choix sur ceux qui permettent de détecter des ressemblances visibles sur des images THR. L'objectif est d'identifier les **indicateurs les plus pertinents** pour caractériser les objets « micro » de manière univoque.

Un **protocole** de test en **deux étapes** a été mis en place :

(1) une base de données des propriétés intrinsèques des objets urbains est construite à partir d'une base de données vectorielles des différents objets élémentaires ;
(2) une analyse statistique « exploratoire » des propriétés géométriques des objets urbains est réalisée pour identifier les indicateurs les plus pertinents.

8.2.1.2.1 Construction d'une base de données caractérisant la géométrie des objets urbains

Une base de données géométriques des principaux objets détaillés selon leur **« appartenance fonctionnelle »** a été construite à partir des bases de données vectorielles sur l'agglomération de Strasbourg (BD Topo® et digitalisation de la BD Ortho®) comportant au minimum 50 objets par classe.

Plusieurs indicateurs ont été calculés sur chacun des objets « micro » à l'aide du SIG Arcview :

(1) des **indicateurs de dimensions :** surface (***S***), périmètre (***P***) et élongation (longueur du plus grand axe - ***L*** -). La taille d'un objet influence nettement la reconnaissance des types de bâtiments ou de la végétation. L'élongation permet de préciser la direction générale d'allongement de l'objet ;
(2) des **indices de formes arithmétiques**, dérivés de ces trois indicateurs de dimensions : indice de Morton (***I_H***)[12], indice de Gravélius **(*I_G*[13])** indice de Miller **(*I_M*)[14]** et un indice Simple **(*I_S*)** (Xia, 1996). L'indice de Morton, adapté par Regnauld (1998) et appelé indice d'Elongation Simple **(*I_ES*),** a également été testé sur les objets de type « bâtiment ».

Ces cinq indices prennent des valeurs spécifiques pour des formes classiques (Figure 8.3). Les indices ***I_H, I_S, I_M*** varient entre 0 pour un segment et 1 pour un cercle ; l'indice ***I_ES*** varie entre 0 pour un segment et 1 pour un carré ; une valeur croissante de l'indice ***I_G*** indique une forme de plus en plus complexe.

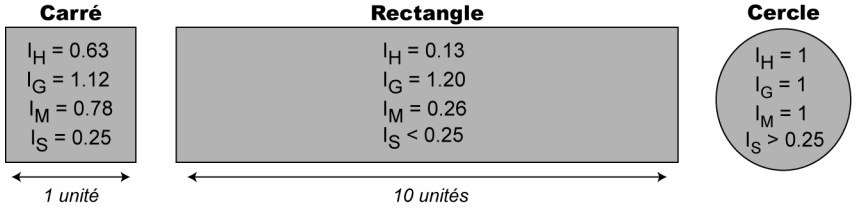


Figure 8.3 – Valeurs spécifiques des indices selon des formes classiques.

Ces indices de formes arithmétiques ne prennent en compte que les caractéristiques élémentaires des formes. De ce fait des valeurs identiques définissent des configurations très différentes, ce qui est généralement insatisfaisant au niveau de l'interprétation. Seuls les indices fondés sur la longueur du plus grand axe étalent davantage les différentes valeurs. Selon Cauvin et Rimbert (1976), les indices I_H et I_{ES} sont les plus pertinents. Afin de vérifier si l'utilisation de l'indice de Morton peut suffire pour caractériser la forme d'un objet, une analyse statistique a été effectuée.

[12] L'**indice de Morton (*I_H*)** et l'**indice d'Elongation** « **Simple** » **(*I_ES*)** permettent d'apprécier l'**étalement de la forme** par rapport à la surface. A l'inverse de l'***I_ES,*** l'interprétation de l'indice de Morton ne permet pas de savoir si la valeur d'allongement obtenue est réellement due à l'allongement de l'objet ou si elle relate un fort taux de concavité de l'objet (Regnauld, 1998).

[13] L'**indice de Gravélius (*I_G*)** analyse la **compacité de la forme**. Il est défini comme le rapport du périmètre d'une surface au périmètre du cercle ayant la même surface

[14] L'indice de Miller (I_M) et l'indice Simple (I_S) permettent d'appréhender la circularité de la forme.

$$I_H = \frac{S}{\pi(0.5*L)^2} \quad I_{ES} = \frac{S}{L^2} \quad I_M = \frac{4\pi S}{P^2} \quad I_S = \frac{\sqrt{S}}{L^2} \quad I_G = \frac{P}{2\sqrt{\pi S}}$$

8.2.1.2.2 Analyse statistique exploratoire : un ou plusieurs indicateurs pertinents pour caractériser les objets « micro » ?

Trois types de traitements statistiques ont été effectués pour vérifier si un critère géométrique permet de caractériser de manière univoque un objet urbain élémentaire :

- des **statistiques descriptives** : pour chaque indice et chaque type d'objets (Tableau 8.2) la moyenne, la variance, l'écart-type, le minimum et le maximum sont calculés ; les diagrammes de distribution sont analysés pour identifier les caractéristiques dominantes de certains objets. A titre d'exemple, les diagrammes de fréquence des cinq indices de forme des objets de type bâtiments sont présentés en Annexe 8.1 ;
- une **analyse de corrélation**, par type d'objets élémentaires et par type d'objets fonctionnels (Tableau 8.2) ;
- une **analyse en composantes principales** par type d'objets élémentaires a été effectuée pour vérifier quantitativement l'apport des indices. Pour cette analyse, un **sondage aléatoire stratifié** a été réalisé pour les objets urbains les plus répandus afin de faciliter l'interprétation ; 50 polygones par strates ont été sélectionnés aléatoirement (pavillon, grand ensemble, bâtiment « dense », alignement de végétation, groupement d'arbres, arbre isolé). Pour les objets urbains les plus rares, la totalité des polygones est utilisée dans la procédure statistique (équipement sportif, cimetière, jardin familial, parc, cours d'eau, surface en eau).

L'analyse de **la distribution des fréquences** des indices de formes permet de caractériser les différents objets par une forme spécifique avec un intervalle de valeurs d'indices spécifiques et de formaliser la connaissance intuitive des objets urbains. Le détail de l'analyse (identification des seuils et des intervalles) est présenté au paragraphe 8.2.2.

Ainsi, les formes allongées de type « grand ensemble » et « Industrie » sont très bien discriminées par l'I_S et l'I_G ; l'identification d'une forme carrée est aisée quel que soit l'indice utilisé, sauf pour l'indice I_G. L'analyse des **coefficients de corrélation** confirme la redondance entre les indices de circularité (I_S, I_M) qui, par ailleurs, s'opposent aux indices d'étalement (I_H, I_{ES}). Ils mettent également en évidence une corrélation élevée opposée entre I_G et I_M (et I_S).

Une analyse en composantes principales sur les sept indicateurs, d'une part, et sur les indices de formes, d'autre part, confirme l'affirmation selon laquelle la **surface est le premier critère d'identification** d'un objet. Combinée à un indice de forme qui tient compte de l'élongation (tel que l'I_H ou l'I_{ES}), la surface permet d'affiner la discrimination des objets urbains allongés ; de plus, combinée avec l'I_S et l'I_G, la surface permet d'identifier des formes compactes carrées ou rectangulaires (pavillon, bâtiment industriel).

En résumé, le choix d'un critère géométrique pertinent dépend d'abord du **type d'objets recherché** ; si un critère de surface peut suffire pour identifier des objets de type « surface en eau » et « zone de végétation », un indice de forme est plus adapté pour les bâtiments ou la végétation intra-urbaine aux formes spécifiques. Le paragraphe 8.2.2 détaille pour chaque type d'objets « micro » le ou les indicateurs géométriques les plus pertinents.
Néanmoins, si le **critère de forme est déterminant pour identifier certains objets urbains, il n'est pas toujours suffisant**. Deux régions adjacentes de signatures spectrales identiques et de formes identiques peuvent appartenir à un même objet. Dans ce contexte, il est nécessaire d'identifier un critère qui permet de fusionner ces deux régions en une région unique.

Tableau 8.2 – Matrices de corrélation entre les indices de formes arithmétiques des objets élémentaires de type « bâtiments ».

	1. Habitat pavillonnaire				
	I_H	I_G	I_M	I_S	I_{ES}
I_H	/				
I_G	-0.90	/			
I_M	0.91	-0.99	/		
I_S	0.91	-0.99	1.00	/	
I_{ES}	1.00	-0.90	0.91	0.91	/

	2. Habitat grand ensemble				
	I_H	I_G	I_M	I_S	I_{ES}
I_H	/				
I_G	-0.58	/			
I_M	0.76	-0.89	/		
I_S	0.72	-0.94	0.99	/	
I_{ES}	1.00	-0.57	0.76	0.72	/

	3. Habitat dense				
	I_H	I_G	I_M	I_S	I_{ES}
I_H	/				
I_G	-0.11	/			
I_M	0.10	-0.89	/		
I_S	0.11	-0.94	0.99	/	
I_{ES}	1.00	-0.11	0.10	0.11	/

	4. Industrie				
	I_H	I_G	I_M	I_S	I_{ES}
I_H	/				
I_G	-0.72	/			
I_M	0.77	-0.96	/		
I_S	0.76	-0.98	1.00	/	
I_{ES}	1.00	-0.72	0.77	0.76	/

8.2.1.3 Critères contextuels : un unique critère d'adjacence ?

Dans notre cas, la question est de savoir si deux régions voisines appartiennent à un même type d'objet. Il s'agit donc d'identifier les voisins « directs » d'une zone caractérisée par sa réponse spectrale, ses dimensions et un indice de forme. En effet, sur une image, selon les caractéristiques de prise de vue (heure, date, angle de visée) et l'orientation des objets, la signature spectrale d'un objet varie ; par exemple une pente de toit est éclairée alors que l'autre est plus sombre (Figure 8.4). L'introduction d'un **critère d'adjacence** permet de résoudre ce problème.
La prise en compte de cet unique critère ne permet pas d'ajouter une connaissance aux régions, mais elle permet de **fusionner des régions aux formes identiques et adjacentes**. Le résultat est une réduction du nombre de régions dont la **signification est plus proche de la définition des objets « micro »**. Ce critère peut également être utilisé pour attribuer une signification aux zones d'ombres. En effet, si une région de même forme est adjacente à un bâtiment, mais de signature spectrale typique de l'ombre ou de l'eau, la région sera qualifiée de « ombre de bâtiments ».

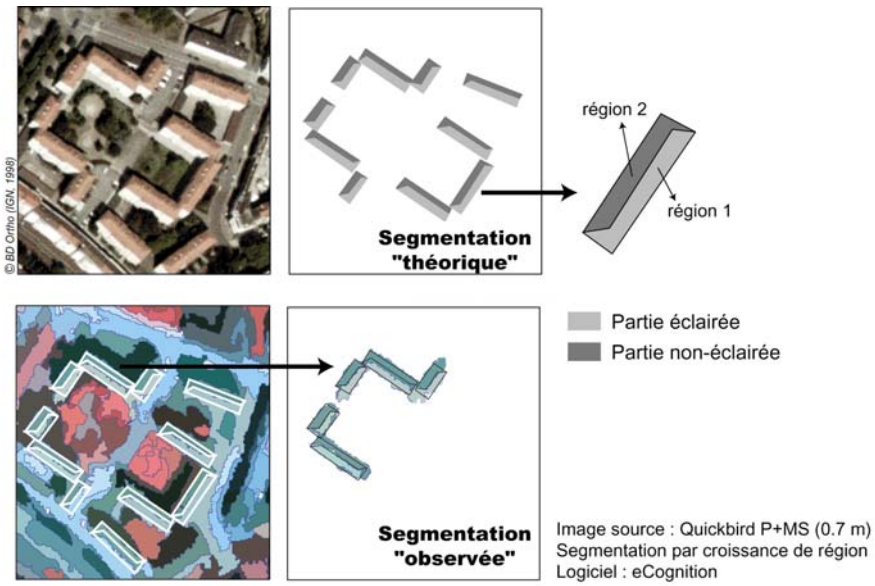


Figure 8.4 – Importance du critère d'adjacence pour identifier un objet urbain élémentaire. L'exemple des toitures des bâtiments.

8.2.2 Formalisation des critères de reconnaissance des objets « micro » : des règles « absolues » ?

Formaliser consiste à rendre explicite une « action ». La formalisation des propriétés intrinsèques des objets « micro » est traduite en **règles de reconnaissance**. Chaque règle est exprimée sous forme quantitative (seuil, intervalle, ratio, indice) ou sous forme d'expressions logiques de type « *Si…. Alors* ». L'**objectif** de cette section est de proposer « **une structure de base** » (« un patron ») **de règles de reconnaissance des objets « micro », objective, indépendante de la zone d'étude, transposable et si possible univoque.** La « structure de base » est adaptée aux villes industrialisées.

Il paraît impossible de définir **des règles absolues** d'identification des objets « micro ». En effet, si certains paramètres sont similaires quelle que soit la zone d'étude (par exemple, les dimensions d'un terrain de sport), ce n'est pas le cas de tous les objets. Ainsi, les dimensions d'un pavillon ou d'une autoroute, en Europe et aux Etats-Unis, ne sont pas identiques. Le **paramétrage** de la plupart des critères **doit être adapté « relativement » aux types d'objets présents dans la zone d'étude** et au **type d'images THR utilisées** (nombre de bandes spectrales, codage radiométrique).

Le Tableau 8.3 détaille les critères d'identification des objets listés au tableau 8.1. Les critères spectraux s'expriment sous la forme d'intervalles quantitatifs paramétrés en fonction de l'image QUICKBIRD MS (2.8 m) et les critères géométriques sous la forme de seuils quantitatifs (identifiés par l'analyse statistique exploratoire du paragraphe 8.2.1.2.2). Le critère d'adjacence peut s'exprimer sous la forme d'une règle de type «*Si …. alors » (if … then)* qui s'appliquerait selon plusieurs cas de figures dont les trois principaux sont présentés à la Figure 8.5. Si l'une de ces trois conditions est remplie, les **deux régions** concernées sont **fusionnées.**

Le tableau 8.3 mentionne uniquement les objets pour lesquels ce critère est susceptible d'être le plus utile. Cette « mention » est le résultat d'une analyse empirique (observations de plusieurs résultats de segmentation de l'image QUICKBIRD obtenus selon la méthode de croissance de régions du logiciel eCognition).

Avec l'hypothèse que les régions 1 et 2 font parties de la même catégorie spectrale, nous aurions :

Cas n°1 : *Si* une région 1 a une limite adjacente à une région 2 *alors* les régions 1 et 2 appartiennent à une région unique

Cas n°2 : *Si* tous les « bords » d'une région 1 sont adjacents à une région 2 *alors* les régions 1 et 2 constituent une seule région

Cas n°3 : *Si* une région 1 englobe partiellement une région 2 *alors* les deux régions sont fusionnées

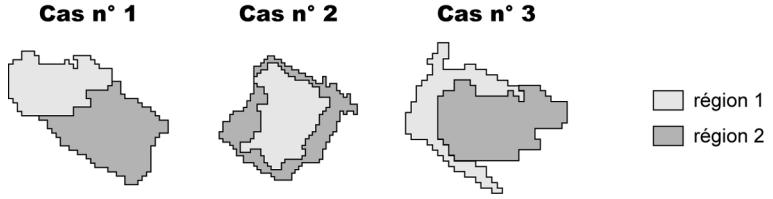


Figure 8.5 – Exemples de régions adjacentes à fusionner en une seule région.

La prise en compte simultanée des trois types de règles (spectrale, géométrique et contextuelle) sur un espace préalablement segmenté aboutit à une **première classification** des régions en **objets urbains « micro »** dont une appartenance fonctionnelle peut être éventuellement déduite (cf. Tableau 8.3).

La section 8.4 sera consacrée à transcrire ces règles dans un logiciel. Les premiers résultats de cette intégration dans un processus de classification orienté-objets permettront de vérifier l'utilité de ces règles ; leur validation paramétrique individuelle n'est pas présentée ici.

Tableau 8.3 – Formalisation des critères de reconnaissance des objets « micro ».

	Signature spectrale B0, B1, B2, B3	Longueur ou diamètre (m)	Largeur (m)	Surface (m^2)	Indice de Morton (I_H)	Adjacence	Objets « micro »	Appartenance fonctionnelle
Surface en eau	Surface en eau: objets « noirs »	/	10 to 500	/	0.16	x	Surface en eau	Rivière, canal
		/	/	> seuil	0.63	x	Surface en eau	Surface en eau
		/	10	< seuil	0.38 to 0.51		Ombre de bâtiment	/
		/	10	< seuil	0.63		Ombre de végétation	/
Végétation	Végétation : objets « verts »	3 à 20	/	/	0.63		Végétation	Arbre isolé
		/	/	> seuil	/	x	Végétation	Groupement d'arbres
		> 50	/	/	/		Végétation	Arbres alignés
		< 100	< 10	< 10 000	/	x	Végétation	Pelouse
		10	10	< 100	/	x	Végétation	Jardins privés
		/	/	> 10 000	/	x	Végétation	Jardins familiaux
		/	/	> 5000	/	x	Végétation	Parc
		120	60	7200	0.51		Equipement sportif	Terrain de sport
Minéral 1	Minéral 1: objets « oranges/rouges »	/	< 30	/	0.38 à 0.51	x	Bâtiment	Bâtiment (dense ou GE)
		10 à 15	10 à 15	100 à 225	0.51 à 0.63	x	Bâtiment	Pavillon
		24	12	288	0.51		Equipement sportif	Terrain de tennis
		120	60	7200	0.51		Equipement sportif	Terrain de sport
Minéral 2	Minéral 2: objets « gris »	/	< 30	/	0.38 à 0.51	x	Bâtiment	Bâtiment (dense ou GE)
		10 à 15	10 à 15	100 à 225	0.51 à 0.63	x	Bâtiment	Pavillon
		> 15	> 30	/	0.30 à 0.38	x	Bâtiment	Bâtiment de type industriel, commercial, ...
		120	60	7200	0.51		Equipement sportif	Terrain de sport
		>100	>100	> seuil	/	x	Espace libre	Espace libre de type cimetière, place, parking, ...
		/	16 à 24 6 à 25 6 à 8	/	0.16	x	Route Route Route	Autoroute Route (2 à 3 voies) Route (1 voie)
		/	6 à 12	/	0.50 à 0.63	x	Route	Echangeur
Minéral 3	Minéral 3: objets « blancs »	/	/	> 10 000	/	x	Espace libre	Parking (vide)
		/	/	> seuil	0.51 à 0.63	x	Espace libre	Place
		/	< 30	/	0.38 à 0.51	x	Bâtiment	Bâtiment (dense ou GE)
		> 15	> 30	/	0.30 à 0.38	x	Bâtiment	Bâtiment de type industriel, commercial, ...
		>100	>100	> seuil	/	x	Espace libre	Espace libre de type cimetière, place, parking, ...

Seuil = à déterminer selon la zone d'étude

8.3 IDENTIFICATION ET CONSTRUCTION DES REGLES DE REGROUPEMENT DES OBJETS « MICRO » EN OBJETS DITS « MESO »

Le paragraphe précédent a permis de définir des règles de reconnaissance des objets « micro » ; quelles sont les règles pour reconstruire les objets « méso » ? Ces objets constituent le niveau 5 de la nomenclature définie par les utilisateurs au 1/10 000e (Tableau 5.9). Ils correspondent à un **niveau « novateur »** en terme de représentation de l'information géographique (Ruas, 1999), généralement absent des bases de données proposées sur le marché. Le Tableau 8.4 reprend les différentes classes thématiques de cette nomenclature.

Les objets « méso » peuvent être reconstruits **par « émergence » de caractères particuliers d'agencement spatial des objets « micro »** (§ 8.2). Ils correspondent à des **structures spatiales** que l'interprète construit habituellement de manière visuelle sur des critères de proximité, de similitude, de symétrie, de fermeture et de continuité (Regnauld, 1998). Les configurations spatiales sont reconstruites par des **règles géographiques de regroupement**. Celles-ci utilisent principalement **des règles contextuelles** relative au voisinage des objets « micro », et des règles qui caractérisent **les relations entre objets**.

Tableau 8.4 – Liste des objets « méso »* demandés par les utilisateurs au 1/10 000e (cf. tableau 5.9).

Classes thématiques (niveau 2)		Objets « méso » Classes thématiques (niveau 5)
Zones urbanisées à vocation résidentielle	1	Tissu urbain continu dense
	2	Tissu urbain continu peu dense
	3	Pavillonnaire dense
	4	Pavillonnaire à densité moyenne
	5	Pavillonnaire à faible densité
	6	Petit collectif
	7	Grands ensembles
	8	Tissu urbain de type mixte
	9	Emprise militaire
	10	Emprise scolaire et universitaire
	11	Emprise hospitalière
Zones urbanisées à vocation industrielle, commerciale et de transport	12	Zone industrielle
	13	Zone commerciale
	14	Emprise liée à l'activité d'extraction
	15	Emprise des espace routier
	16	Emprise des espace ferré
	17	Emprise aérienne
	18	Emprise portuaire

* cette liste ne reprend que les objets « meso » qui s'apparentent à des tissus urbains

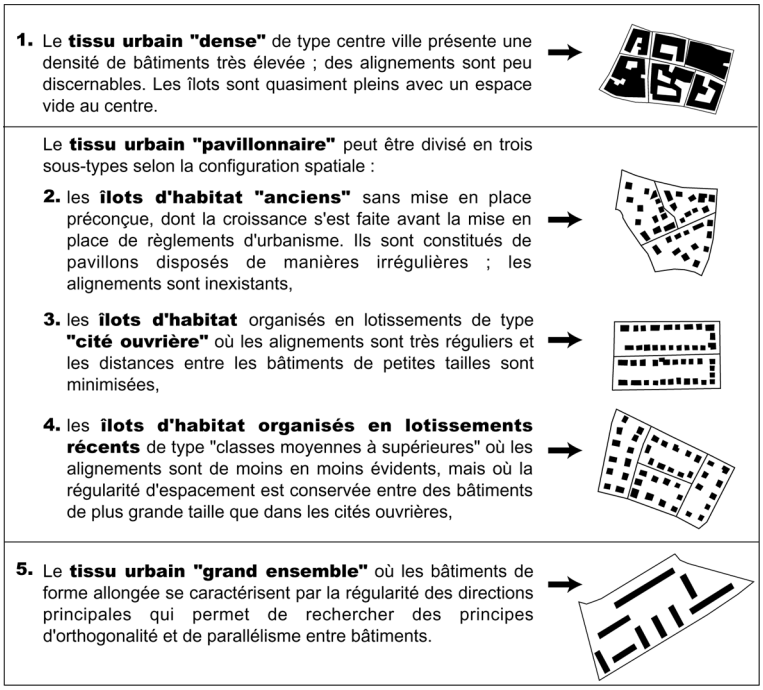
L'objectif de cette section est donc de **définir des règles de regroupement** pour reconstituer les objets « méso » au 1/10 000e à partir des objets « micro » identifiés au paragraphe 8.2. Cette reconstruction des objets « micro » en objets « méso » est fondée sur les travaux de recherche menés par le laboratoire « Conception Objet et Généralisation de l'Information Topographique » (COGIT) de l'Institut Géographique National sur la généralisation cartographique des bases de données vecteur de type BD TOPO® (Hangouet, 1998 ; Regnauld, 1998 ; Ruas, 1999 ; Boffet, 2001).

Afin d'optimiser l'identification de règles pertinentes de regroupement des objets « micro », le paragraphe 8.3.1 rappelle les principales caractéristiques des objets « méso » à identifier. Les règles de regroupement développées en généralisation cartographique et les plus adaptées à notre objectif, ainsi que des règles spécifiques à l'utilisation de l'image satellite sont détaillées au paragraphe 8.3.2. La section 8.4 discute des possibilités d'intégration de ce type de règles dans un processus de classification orienté-objets.

8.3.1 Caractéristiques des objets « méso » au 1/10 000e

Pour analyser la morphologie urbaine d'une ville, nous avons souligné au chapitre 1 (cf. § 1.2.2.4) l'importance de la relation entre les espaces bâti et les espaces non-bâtis, de la forme des bâtiments et de leur agencement par rapport au réseau viaire. L'identification d'une configuration urbaine particulière est réalisée sur une unité spatiale définie. En milieu urbain, **l'îlot** correspond à « *la plus petite unité de l'espace urbain, entièrement délimitée par des voies* » (Merlin et Choay, 1988). Il correspond à un cycle minimal de rues comportant au moins un bâtiment. Selon les besoins, d'autres objets structurants tels que les voies de chemin de fer ou les cours d'eau sont également utilisés. Les **caractéristiques des objets « méso »** du tableau 8.4, qui correspondent à des **tissus urbains,** sont **identifiées à l'intérieur de l'îlot**.

Selon la **configuration spatiale** des objets « micro », **trois types de tissus urbains** se distinguent : les tissus urbains de type « centre ville » (dense), les tissus urbains de type « pavillonnaire » et les tissus urbains de type « grand ensemble ». Les tissus urbains de type « industriel, commercial ou de service public » (universités, hôpitaux, militaire, …) ne sont pas pris en compte car ils se caractérisent plus par leur dimension et la nature de leurs voisins (industrie, autoroute, voies de chemin de fer, cours d'eau) que par leur configuration spatiale. Pour optimiser l'identification des règles de regroupement, une modélisation formelle *a priori* de chaque type de tissu urbain susceptible de présenter des configurations spatiales particulières est définie à la Figure 8.6.



Figures 8.6 – Description morphologique de trois types de tissus urbains.

8.3.2 Identification des règles de regroupement des objets « méso » au 1/10 000e

Deux types d'information doivent être créés pour reconstituer les objets « méso » à partir des objets « micro » : (1) une **information sur le voisinage** des objets et (2) une information sur la **structure spatiale**. Plusieurs indicateurs ont été formalisés par Regnauld (1999), Ruas (1999) et Boffet (2001). Les critères de regroupement adaptés à la reconnaissance des structures bâties sont présentés aux paragraphes 8.3.2.1 et 8.3.2.2 ; ils sont complétés par des **critères spécifiques à l'utilisation de données** (objets « micro ») extraites des **images satellites** (§ 8.3.2.3).

8.3.2.1 Critères de regroupement fondés sur le voisinage

La Figure 8.7 présente les relations de voisinage et de proximité utilisées pour les objets surfaciques en généralisation cartographique (Ruas, 1999). La **relation de voisinage** désigne « *les voisins par des segments entre les centres de gravité des objets* » ; la **relation de proximité** désigne « *les plus courtes distances entre les bords des objets* ».

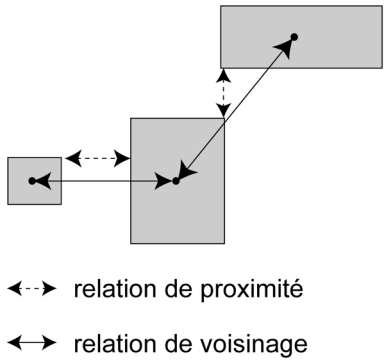


Figure 8.7 – Relations de proximité et de voisinage entre deux objets surfaciques (*in* Regnauld, 1998).

Dans notre cas, la **distance euclidienne** entre les barycentres des objets et la distance minimale entre deux contours ont été utilisées. La première, très simple à calculer, apporte une information directionnelle sur la position relative des deux objets. La seconde est indispensable lorsqu'on veut contrôler la distance de séparation entre les objets, notamment pour vérifier que le seuil de séparation est bien respecté. Par contre, elle est plus complexe à calculer et est trop locale pour donner une information précise sur la direction du voisinage. Des distances moyennes entre les bâtiments ont été calculées à partir des bases de données de référence.

8.3.2.2 Critères de regroupement fondés sur la recherche de structures spatiales

Les travaux de recherche en généralisation cartographique ont proposé des méthodes de caractérisation de structures spatiales spécifiques comme les **structures alignées**, pour différencier les différents types de tissus urbains :

- par la notion de *« desserte interne »* (Hangouet**,** 1998) à partir de critères de proximité calculés avec le diagramme de Voronoï (ensemble d'un groupe de bâtis desservis par un tronçon routier) ;

- par la définition des relations de plus proches voisins (Regnauld, 1998) à partir du calcul d'un Arbre de Recouvrement Minimal (ARM[15]) qui s'appuie sur les caractéristiques du bâti et des rues ;
- par l'analyse des dispositions relatives des bâtiments à l'intérieur des îlots (Boffet, 2001). Les bâtiments voisins sont regroupés selon la régularité de leur position. La régularité est calculée grâce aux mesures d'angles et de proximité, par : (1) la création de vecteurs entre les centres de gravité des bâtiments voisins caractérisés par une distance et une direction, (2) la création de triplets de bâtiments et (3) le regroupement des triplets en structure alignée ;
- par l'analyse des espaces vides entre les bâtiments dans un îlot (Boffet, 2001). Le critère principal d'identification des espaces vides est la proximité : un espace est défini vide si la distance entre les bâtiments est supérieure à un seuil de 20 m (création d'un buffer « inverse » de 20 m autour des bâtiments).

Dans ce travail, les méthodes d'analyse des dispositions relatives des bâtiments à l'intérieur des îlots et de caractérisation des espaces vides ont été retenus comme critères pertinents pour caractériser la structure spatiale d'un îlot en relation avec la description des tissus urbains effectuée ci-dessus (Figure 8.6). Ainsi, les espace vides et les alignements ont été qualifiés en fonction de trois critères (Boffet, 2001) :

- l'**importance de la structure** (surface des espaces vides, nombre de bâtiments participant à l'alignement) ;
- la « **qualité » de la structure** (espace vide ouvert ou fermé, alignement homogène en surface et en distance) ;
- l'**orientation principale** des espaces vides et des alignements (pour mettre en évidence le parallélisme entre les structures alignées).

8.3.2.3 Critères de regroupement spécifiques à l'image satellite

A la différence des travaux de généralisation cartographique qui utilisent les objets « micro » issus de la BD TOPO® (bâtiment et réseau routier), les objets « micro » obtenus à partir des images satellites correspondent à une donnée « continue sur le territoire ». Dans ce contexte, un ilôt est caractérisé par le pourcentage de surface occupé par les différents types d'objets « micro » (Annexe 5.2). Un **critère supplémentaire** consiste donc à calculer, sur chaque îlot, un **pourcentage global de surfaces artificialisées et de surfaces végétales**.

Les espaces vides, identifiés selon la méthode de Boffet (2001), peuvent être complétés par un **critère** qui fournit une information sur le **pourcentage d'objets « micro** » contenu dans un **espace vide**. En effet, l'importance et la forme d'un espace vide ne sont pas toujours suffisants pour différencier, par exemple, une zone industrielle et une zone commerciale.

En conclusion, les **critères de regroupement retenus** pour reconstruire les objets « méso » sont, à partir d'un **découpage en îlots** :

- Critère n°1 : l'importance relative des surfaces artificialisées (objets « micro » de type bâtiments et route) par rapport à la surface de l'îlot,
- Critère n°2 : le nombre et le type de bâtiments en présence, caractérisés par leur surface et leur forme,

[15] L'ARM d'un ensemble de points est le graphe dont la somme des longueurs des arêtes est minimale.

- Critère n°3 : le calcul de la direction de l'élongation de chaque bâtiment (parallélisme) et du nombre de bâtiments de direction identique,
- Critère n°4 : la distance entre les barycentres des bâtiments,
- Critère n°5 : la recherche des bâtiments alignés,
- Critère n°6 : la taille (pourcentage de surface de l'îlot occupé par un espace vide) et la forme de l'espace vide (selon l'indice de Morton),
- Critère n°7 : l'importance relative de chaque type d'objets « micro » à l'intérieur d'un espace vide

Ces critères sont détaillés pour les trois grands types de tissus urbains au Tableau 8.5. Les critères 2, 3, 4 et 5 concernent uniquement les objets « micro » de type « bâtiments » ; les critères 6 et 7 concernent les espaces vides. De la même façon que pour les objets « micro », ces règles sont formulées par des expressions quantitatives (seuil ou valeur spécifiques d'indice), fixés à partir d'une analyse statistique descriptive exploratoire des différents types de tissus urbains.

Tableau 8.5 – Formalisation des critères de regroupement pour trois types de tissus urbains.

Critères n°	Tissu urbain dense	Tissu urbain pavillonnaire	Tissu urbain grand ensemble
1	> 80%	dense : 60 à 80% lâche : 30 à 60%	60 à 80 %
2	1 à 2 bâtiments I_M proche de 1, I_H proche de 1	> 4 $I_M \approx 0.78$, $I_H \approx 0.63$	> 4 $I_M \approx 0.26$, $I_H \approx 0.13$
3	/	> 3	> 3
4	< 10 m	dense : 10 à 20 m lâche : 20à 60 m	30 à 40 m 60 à 80 m
5	/	dense : ≥ 4 lâche : /	/
6	< 20 % /	50 % I_M et I_H proche de 0	< 50 % Forme quelconque
7	20 % de surfaces autres que bâtiments (route, parkings, …)	dense : 20 à 40% de végétation lâche : 40 à 70% de surfaces autres que bâtiments (route, parkings)	20 à 40% de surfaces autres que bâtiments (route, parkings, …) ou végétation

Ces critères ne permettent pas d'identifier tous les objets « méso » demandés par les utilisateurs. De plus, il est par exemple impossible de différencier une emprise hospitalière d'une emprise universitaire ou d'un îlot de grands ensembles. En effet, ces trois emprises sont constituées de bâtiments plutôt allongés, bordés de pelouse, d'arbres et de parkings et sont disposés de manière géométrique. Il faut donc garder à l'esprit que seuls les trois grands types de tissus urbains et des tissus de types industriels / commercial pourront être identifiés avec cette méthode.
Signalons également que ces règles ont été utilisées sur la base d'objet » micro » de référence. Il reste à vérifier leur application sur des objets « micro » identifiés à partir d'images THR.

8.4 EXEMPLE D'INTEGRATION DES REGLES DE RECONNAISSANCE : PREMIERS RESULTATS EXPLORATOIRES

L'analyse de la littérature a montré que plusieurs méthodes ont été développées pour déduire des classes d'utilisation du sol (objets « méso ») à partir de l'analyse de l'organisation spatiale, texturale et contextuelle des types d'occupation du sol (objets « micro ») présents dans une image (Barnsley *et al.*, 2000). Trois exemples sont détaillés ci-dessous :

- les **techniques empiriques/statistiques fondées sur les filtres de Kernel** développées par Warthon (1982) et améliorée par Barnsley et Barr (1996) sont les méthodes les plus simples pour caractériser l'organisation spatiale des objets « micro ». La méthode consiste à appliquer un filtre dans lequel la fréquence d'apparition et l'organisation spatiale des objets « micro » sont analysées (*Méthode SPARK – SPAtial Re-classification Kernel*). Cette méthode permet de distinguer des densités de zones résidentielles à partir d'images SPOT-HRV (délimitation des agglomérations urbaines dans le cadre d'Eurostat). Les avantages de cette méthode sont la simplicité conceptuelle et la facilité d'implantation. L'inconvénient réside dans le lissage des limites entre les parcelles d'occupation et d'utilisation du sol. De plus, il est difficile de fixer la taille optimale du filtre de Kernel. Son application sur des images est *a priori* très délicate ;
- les modèles **d'apport de connaissance par la texture** (méthode descendante) : cette méthode est fondée sur l'hypothèse que les différents types d'utilisation du sol s'expriment comme des textures différentes qui dépendent de la taille, la forme et la densité des éléments constituants (bâtiment, route, espace ouvert). Il s'agit de construire un modèle d'organisation spatiale simple et de le confronter aux régions observées. L'avantage est (1) qu'un modèle relativement simple peut représenter un grand nombre d'objets, (2) le modèle est applicable d'une ville à une autre avec quelques modifications mineures.
- les **techniques de reconnaissance fondée sur la structure** (*region-based structural pattern*) (méthode ascendante) dans lesquelles il s'agit de quantifier la composition structurale des parcelles d'utilisation du sol et de les comparer aux zones connues. Une méthode de ce type a été développée par Barr and Barnsley (1997) appelée SAMS (*Structural Analysis and Mapping System*). Cette méthode permet de caractériser les propriétés intrinsèques des régions telles que la surface, le périmètre, et les différentes mesures de formes, ainsi que des caractéristiques sur les relations spatiales et structurelles entre les régions (adjacence, inclusion, distance, direction). Ces informations sont utilisées pour construire un graphe théorique de modèle de données (*Extended Relational Attribute Graph*). Les premières expérimentations de ce prototype ont été utilisées pour l'identification des franges urbaines à partir d'images SPOT (Barr et Barnsley, 1995). Plus récemment, il a été appliqué sur des données vectorielles à plus grande résolution spatiale, type BD Topo®) (Barr et Barnsley, 1997).

Ce rapide état de l'art montre que des méthodes ont été développées pour caractériser les objets « micro » et reconstruire les objets « méso ». Toutefois ce type de méthode demande à être adapté sur des images satellites THR. Les deux dernières procédures (apport de connaissance par la texture et techniques de reconnaissance fondées sur la recherche de structure) offrent le plus grand potentiel de développement sur des images THR. Le problème majeur est le manque de formalisation des critères qui permettent de reconstruire la structure (identification des objets « méso »).

Pour tester l'intégration d'une base de règles de reconnaissance des objets « micro » à partir d'une image pré-segmentée, le logiciel de traitement d'images orienté-objets *eCognition* (Defienens, 2002) a été utilisé. **L'objectif n'est pas de tester les possibilités du logiciel** mais de l'utiliser comme « **support informatique » pour tester** les performances et **valider la base de règles dans un processus de classification orienté-objets**.

L'architecture du logiciel permet de transposer la démarche dans un système informatique de classification automatique, en quatre étapes décrites à la Figure 8.1 :

- étape 1 : segmentation de l'image en régions homogènes,
- étapes 2 et 3 : caractérisation des régions par intégration des règles de reconnaissance, et classification en objets « micro »,
- étape 4 : regroupement des objets « micro » en objets « méso ».

Dans ce contexte, l'image simulée à 1 m (Pushbroom, CNES 1997) a été utilisée comme image test afin de comparer les résultats de la classification orientée-objets avec les classifications spectrale.

8.4.1 Etape de segmentation

Dans eCognition, la méthode de segmentation utilisée est une méthode de type « croissance de régions » (approche ascendante). Elle consiste à agréger les régions adjacentes pour lesquelles l'augmentation de l'hétérogénéité est la plus faible. Le critère d'hétérogénéité est défini d'une part par un critère spectral dit de « couleur » et d'autre part par un critère de forme, également subdivisé en un critère de lissage (smothness) et de compacité (compactness). La variation de ces critères permet d'obtenir des résultats de segmentation différents (Hofmann, 2001).

Lorsque l'hétérogénéité augmente et dépasse le seuil fixé par le « **paramètre de regroupement »**, le processus s'arrête. Ce paramètre de regroupement, défini par l'utilisateur, détermine indirectement la taille des régions segmentées : un grand paramètre de regroupement conduit à une segmentation en grandes régions (Baatz et Schape, 1999). Les quelques tests réalisés ont montré que la segmentation reste un apprentissage empirique qui s'effectue par itérations successives. La variation du paramètre de regroupement permet également de produire une segmentation multirésolution (cf. § 8.4.3).

L'objectif n'étant pas ici de tester l'influence des paramètres sur la qualité de la segmentation, seul le critère spectral a été utilisé dans la phase de segmentation et quelques tests ont été réalisés pour déterminer **un « niveau » de segmentation adapté aux objets observés** sur la zone d'étude. Un paramètre de regroupement de 50 a été sélectionné comme « optimal » par une analyse visuelle car il permet d'individualiser des régions de la taille d'un pavillon individuel (Figure 8.8).

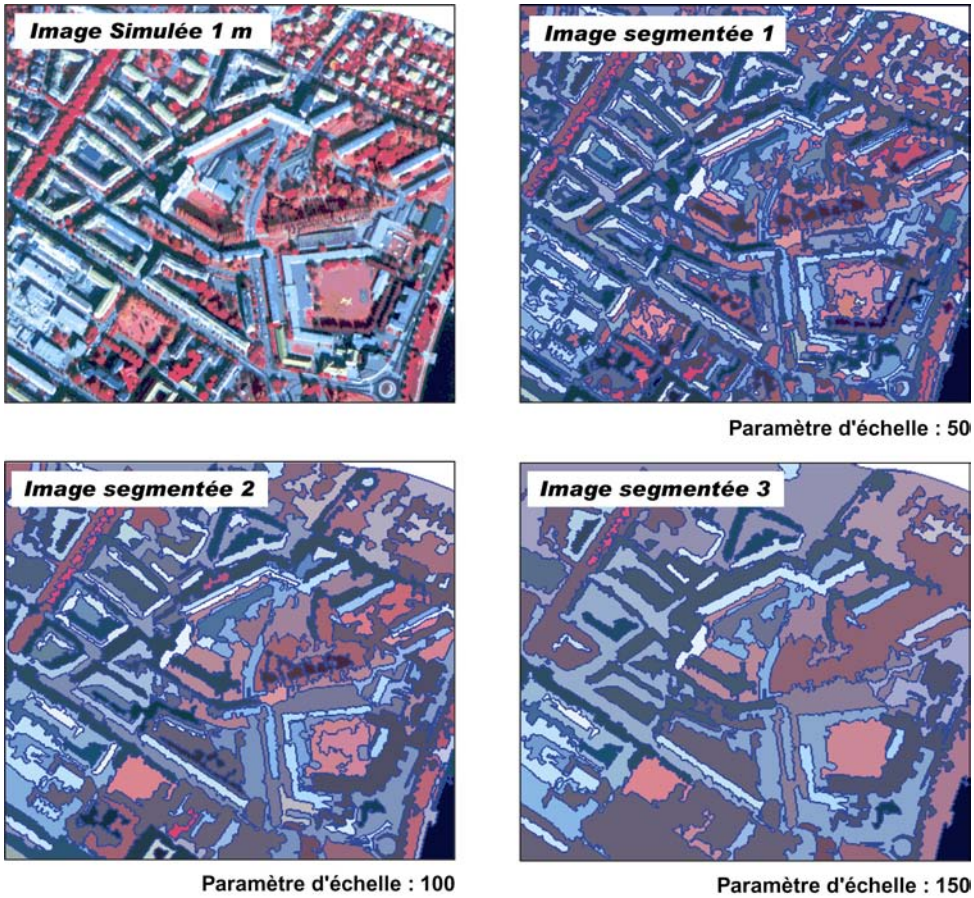


Figure 8.8 – Extrait de l'image simulée Push à 1 m utilisée comme test et résultats de trois segmentation issus de eCognition ***(C)***.

8.4.2 L'étape de caractérisation des régions et de classification en objets « micro »

L'algorithme utilisé dans eCognition est un algorithme « doux » (*soft classifier*) fondé sur la logique floue ; il utilise un degré d'appartenance ou une probabilité pour exprimer l'attribution d'un objet à une classe (cf. § 7.1.1.3).

Ce type d'algorithme permet la formulation de descriptions complexes à l'aide d'opérations logiques et de classes hiérarchiques. Chaque classe est décrite par un jeu d'expressions « floues » dont les éléments et leurs opérations logiques peuvent être évaluées. Les sorties sont de deux types : une classification floue avec des informations détaillées sur l'appartenance aux différentes classes et une classification finale où chaque objet est assigné exactement à une classe. Une règle logique peut signifier une condition unique ou une combinaison de conditions. Les conditions sont exprimées par des expressions qui sont insérées dans la description des classes.

Le logiciel eCognition propose deux types de classification : une **classification supervisée selon les plus proches voisins** qui génère automatiquement, à partir d'échantillons-type, des fonctions d'appartenance multi-dimensionnelle et **une classification fondée sur l'introduction d'une base de règles** où les fonctions d'appartenance à une ou plusieurs dimensions (sur la base d'une condi-

tion unique ou d'une combinaison de règles) sont introduites. Cette deuxième possibilité permet le développement d'une base de règles « transparentes ».

8.4.3 Utilisation de eCognition pour tester la validité de l'utilisation d'une base de règles de reconnaissance des objets « micro »

La possibilité de eCognition d'intégrer des règles de reconnaissance sur une image pré-segmentée a été exploitée afin de valider l'intérêt de l'utilisation de ce type d'information dans une procédure de classification orientée-objets. A partir de l'image Pushbroom (1 m) segmentée avec un paramètre de regroupement de 50, les règles définies précédemment (spectrale, dimension, forme et adjacence) pour identifier les objets « micro » ont été introduites et transposées en règles floues sous la forme d'une fonction d'appartenance.

8.4.3.1 Méthodologie d'introduction des règles de reconnaissance des objets « micro »

L'introduction des règles de reconnaissance dans le logiciel eCognition a nécessité un « paramétrage » adapté des critères de reconnaissance, réalisée de manière « transparente » et « logique » par l'intermédiaire de l'interface graphique.

Plusieurs tests ont montré que **(1) l'ordre d'identification** des objets « micro » et **(2) l'ordre d'application des règles de reconnaissance** influencent les résultats de la classification.
Il est apparu judicieux (et intuitif) d'initier la recherche par les objets spécifiques c'est-à-dire les objets « les plus aisés » à identifier ; ce sont les objets pour lesquels très peu de règles d'identification sont nécessaires. C'est le cas par exemple des surfaces en eau pour lesquelles un critère spectral et un critère de surface suffisent pour les différencier des objets de type « ombre ». Ainsi la base de règles doit être construite sous une forme hiérarchique où les **objets « micro »** sont classés selon une **difficulté d'identification croissante** (Figure 8.9).

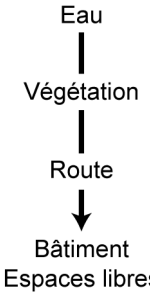


Figure 8.9 – Arbre hiérarchique de classement des objets urbains selon leur difficulté d'identification croissante.

Par ailleurs, les règles de reconnaissance des objets « micro » (spectrale, géométrique, contextuelle) peuvent être appliquées selon deux approches :

(1) une approche « linéaire » par combinaison linéaire des règles spécifiques selon une condition de type : « *Si une région appartient à la catégorie de signature spectrale 'eau', possède une surface supérieure à 500 m² et est entourée par une région de même catégorie spectrale, alors la région appartient à la catégorie « eau » et est fusionnée avec la région 2 qui l'entoure* ».
La répétition du critère d'adjacence sur les régions de type « eau » permet de les fusionner en un seul objet. Un critère de forme et de largeur permet par la suite, de classer l'objet « eau » dans sa catégorie « fonctionnelle » (fleuve, rivière canal ou lac).

(2) une approche « déductive » par l'identification successive des objets les plus aisés à identifier par une règle de type : *« Si une région appartient à la catégorie des régions 'non vertes', de catégorie spectrale 'blanche', de forme rectangulaire et de surface supérieure à 300 m², et si ses voisins directs correspondent à des régions de catégories spectrales différentes, alors la région correspond à un bâtiment de type 'grands ensembles' ».*

Si la formulation de la règle n'est pas très différente entre les deux démarches, la démarche déductive permet de simplifier la reconnaissance des objets les plus complexes. Ceci est vérifié au paragraphe suivant. Il serait fastidieux de décrire chaque règle construite ; seules les deux hiérarchies issues des deux approches sont présentées à la Figure 8.10.

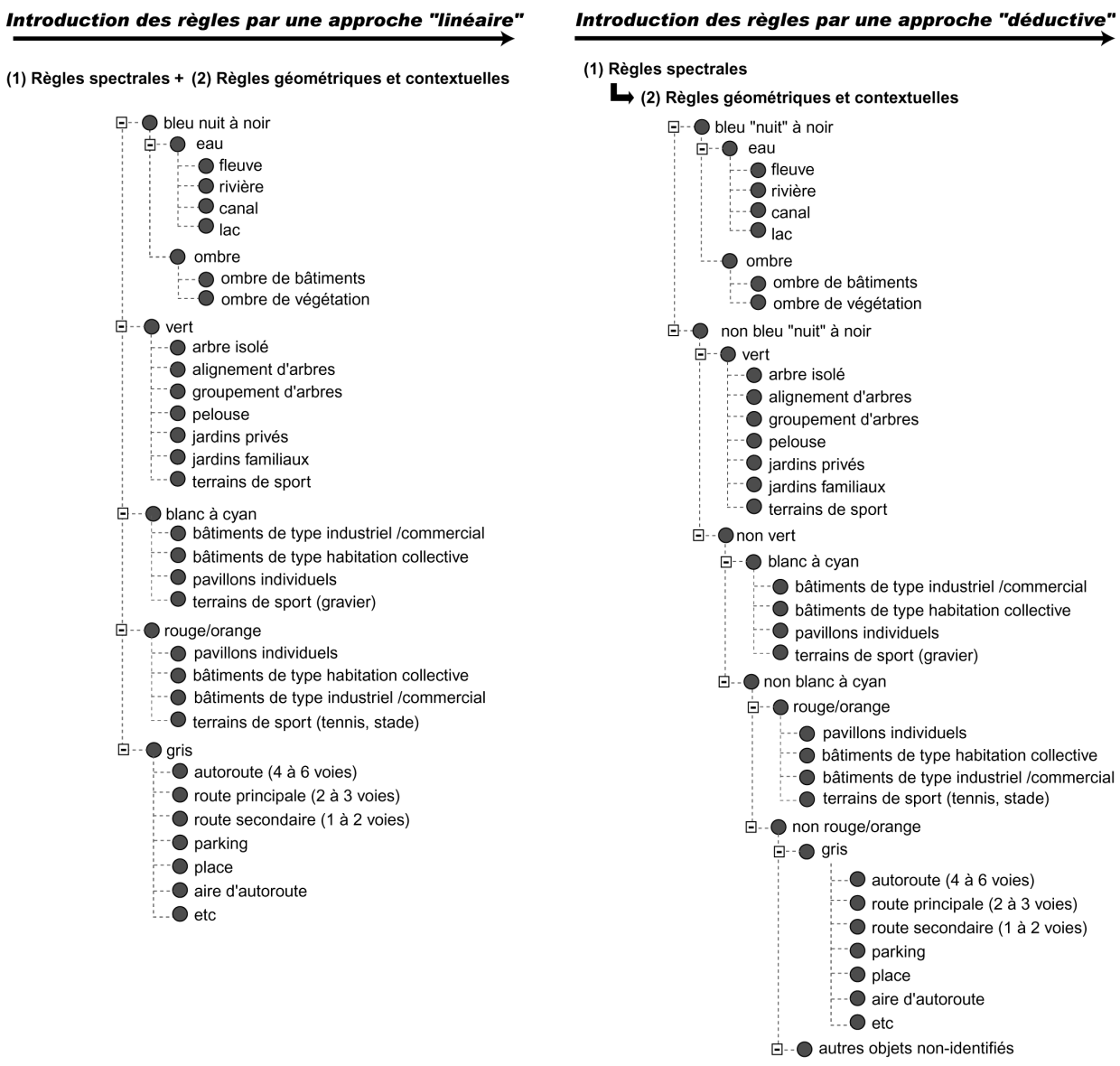


Figure 8.10 – Procédure d'introduction des règles de reconnaissance des objets « micro » selon l'approche linéaire et l'approche déductive.

8.4.3.2 Résultats exploratoires de l'intégration des règles « micro » dans la procédure de classification orientée-objets

Dans une **première étape**, les **règles ont été appliquées sur l'ensemble de la zone d'étude**, selon ces deux approches. Si l'approche déductive permet d'obtenir de meilleurs résultats que l'approche linéaire, les résultats ne sont cependant pas satisfaisants (nombreuses confusions entre les thèmes « route » et « bâti de toits divers). Ceci s'explique par la grande hétérogénéité de l'image. En effet, la **zone d'étude contient les différents types de tissus urbains représentatifs d'une ville**. Des règles identiques ne conviennent donc pas à une zone large.
Deux solutions ont été envisagées : (1) appliquer les règles paramétrées sur des zones restreintes, ou (2) utiliser l'information sur la résolution spatiale optimale des objets « micro » pour produire un « niveau » de segmentation adapté à chaque objet « micro » (multirésolution).

Dans une **deuxième étape**, les règles ont été appliquées (procédure déductive) sur **une zone restreinte** avec des tissus urbains caractéristiques des « grands ensembles » et d'un bâti « moyennement dense » (Figure 8.11). L'analyse du pourcentage de bon classement, en comparaison avec celui obtenu à partir de la classification spectrale (Tableau 8.6), met en évidence une amélioration significative, supérieure à 5 %. Cette amélioration est visible en particulier pour les bâtiments de type « toits divers » et la classe « route ». De plus, la végétation a pu être différenciée selon sa forme (alignements d'arbres). Toutefois, de nombreuse confusions sont encore observées entre les classes « routes » et « bâti de toits de tuiles ». La forme complexe des bâtiments (moyennement dense) ne permet pas de les différencier de la route.

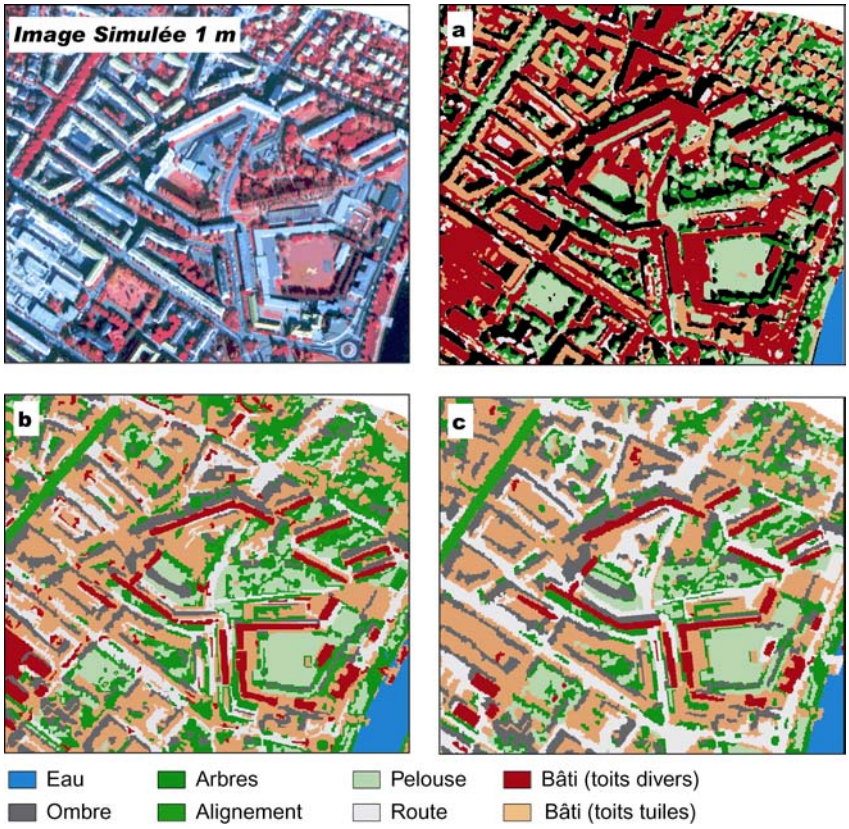


Figure 8.11 – Comparaison de la classification spectrale (a) avec la classification orientée-objets obtenue à partir des règles de reconnaissance (b) et améliorée par une segmentation multirésolution (c) ***(C)***.

Tableau 8.6 – Comparaison des pourcentages de bon classement des classifications spectrales et orientée-objets.

	% de bon classement	Gain(%)
(a) Classification spectrale	86.4	
(b) Classification orientée-objets avec un « niveau » de segmentation	92.2	+5.8
(c) Classification orientée-objets selon une segmentation multirésolution	93.7	+7.3

Ces résultats indiquent que la **taille des régions** de départ influence les résultats de la classification. Il serait intéressant de prendre en compte la résolution spatiale optimale des objets « micro » pour définir la taille minimale des régions à créer sur l'image. Plusieurs « niveaux » de segmentation selon le type d'objets à identifier pourraient être introduits. Ainsi, la connaissance acquise à un certain niveau de segmentation (« grossier ») serait utilisée à un niveau de segmentation plus fin, pour des tailles de régions plus petites. Par exemple, l'identification d'un parc ou d'une surface en eau nécessite un niveau de segmentation grossier alors que l'identification d'un bâtiment nécessite un niveau de segmentation fin. Un processus de segmentation héritée (les régions identifiées à un niveau supérieur sont considérées comme un acquis au niveau « fin » de la segmentation) peut être utilisé pour le niveau « fin ».

Si la définition d'un « niveau optimal » de segmentation par type d'objets « micro » doit également tenir compte de la zone d'étude et des objets présents sur l'image, il est néanmoins possible de proposer un « ordre de grandeur » de tailles de régions « les plus adaptées » (Tableau 8.7). Ce principe rejoint la tendance actuelle d'utilisation de méthodes de segmentation « multi-résolution » (Baatz et Schape, 2000).

Tableau 8.7 – Taille de région les plus adaptées selon le type d'objets en fonction de la résolution spatiale optimale (cf. § 6.1.2.2).

Objets	Résolution spatiale optimale
Objets carré à circulaire de type pavillons à arbre isolé	0.8 à 1 m
Objets linéaire de type route	1 à 2 m
Objets rectangulaire à carré de type bâtiment	2 à 3 m
Zones de forme quelconque de type zone de végétation	6 à 8 m

Dans une **troisième étape**, afin de vérifier **l'apport de la multirésolution dans ce type de démarche**, trois niveaux hiérarchiques de segmentation, contrôlés par le paramètre de regroupement, ont été construits :

- un niveau « grossier » (paramètre de regroupement de 100) pour différencier les zones de végétation, les bâtiments très réfléchissants de type « toits divers », l'eau et les routes ;
- un niveau « moyen » (paramètre de regroupement de 50) pour distinguer les bâtiments de type « toits de tuiles », les routes et les alignements d'arbres ;
- et un niveau « fin » (paramètre de regroupement de 20) pour identifier les objets élémentaires de type « arbres isolés », les bâtiments individuels de type « pavillons ».

Les résultats de cette segmentation multirésolution ont permis d'améliorer les résultats de classification. Le pourcentage de bon classement atteint 93.7%, soit une amélioration de plus de 7% par rapport à la classification spectrale et de 5.8% par rapport à la classification orientée-objets obtenue à partir d'un niveau de segmentation unique.

La Figure 8.11 met particulièrement en évidence une amélioration de l'identification des objets de type « route ».

Pour valider l'utilisation des règles sur une zone restreinte à l'aide d'une segmentation multirésolution, des tests ont été effectués sur un tissu urbain de type « grands ensembles » dont les réponses spectrales sont proches de celles de la route (Figure 8.12). Une classification orientée-objets a été appliquée selon les trois mêmes niveaux de segmentation présentés ci-dessus. La Figure 8.12 présente les résultats de ce test. Les règles ont été re-paramétrées pour permettre une meilleure identification des objets « micro ».



Figure 8.12 – Comparaison des résultats de classification spectrale (a), avec les résultats de classifications orientées-objets obtenues à partir de la base de règles de reconnaissance (b) selon une segmentation multirésolution ***(C)***.

La comparaison visuelle des résultats de classification suggère l'intérêt d'utiliser des règles géométriques. Ce critère a permis (exemple de la Figure 8.12) de différencier les bâtiments de forme rectangulaire des objets de type « route », objets qui pourtant ont une réponse spectrale similaire. Par contre, les objets de petites tailles tels que des arbres individuels ne sont pas identifiés en raison de la segmentation de départ.

Il apparaît donc que **l'application des règles d'identification dépend de la méthode de segmentation utilisée** (approche « frontière » et approche « région »). L'influence de l'utilisation de la méthode de segmentation introduite dans une classification fondée sur les règles de connaissances doit être analysée. Ceci constitue un travail spécifique (Lhomme , 2003) qui n'a pas été réalisé dans ce mémoire. Nous sommes partis de l'hypothèse que nous disposions d'une image multispectrale pré-segmentée selon la réponse spectrale.

Plus généralement, les résultats montrant que les classifications orientées-objets produisent des classes plus homogènes et permettent de réduire l'effet « *poivre et sel* » caractéristiques des classifications spectrales. L'identification des objets « micro » est améliorée même si de nombreuses confusions subsistent. Ces premiers tests ont permis de valider l'intérêt d'une base de règles dans une procédure de classification orientée-objets pour identifier les objets « micro ». Des tests paramétriques des règles sont en cours.

8.4.4 Etape d'agrégation des objets « micro » en objets « méso » par application des règles de regroupement : premiers résultats

Le résultat de la classification de l'image en objets « micro » a été intégré dans le SIG Arcview et transformé en une base de données vectorielles afin d'appliquer les critères de regroupement et reconstituer les objets « méso » selon un découpage en îlots.

Un premier test a été réalisé à partir des résultats de la Figure 8.11. L'ordre d'application des règles n'a pas d'importance dans ce cadre car l'objectif est de rechercher les caractéristiques des îlots, puis de leur « attribuer » un objet « méso ». Actuellement la recherche des critères n'est pas automatisée. Cette procédure s'apparente ici à une **recherche multicritères** qui s'exprime sous la forme suivante :

> *'Si un îlot est constitué de plus de 90 % de surfaces artificialisées (objets « micro » de type « bâtiments, « route ») correspondant à un seul bâtiment, et est caractérisé par un indice de compacité proche de 1, avec un espace vide de type « arbres » couvrant moins de 10 % de la surface de l'îlot, alors l'îlot correspond à un tissu urbain de tissu « dense »'.*

La Figure 8.13 présente un exemple de résultat de regroupement des objets sur trois îlots différents. Ces résultats indiquent que l'identification des alignements n'est pas toujours évidente car elle dépend des résultats de la segmentation de départ. L'analyse sur les espaces vides a également montré que si un buffer inverse de 20 m peut convenir en présence de bâtiment de type « grands ensembles », un buffer inverse de 10 m est plus adapté lorsque des bâtiments de type « dense » sont identifiés. Cette remarque a été observée lors de l'analyse des espaces vides des tissus urbains de type « pavillonnaire ». De plus, il est apparu que la forme de l'espace vide est un critère déterminant pour différencier les tissus urbains « pavillonnaire » des tissus urbains de type « grands ensembles ».

L'automatisation de la recherche de ces critères est envisagée dans un futur proche selon différentes possibilités :

- développer un script qui d'une part calcule les caractéristiques de l'îlot et d'autre part qui par un jeu de condition, attribue une classe d'objet « méso » en réponse aux différentes conditions ;
- implanter une telle procédure dans un système multi-agent ; ce type de développement est en cours de réflexion en collaboration avec d'autres équipes de recherches spécialisées dans le développement de prototype informatique.

Dans une étape suivante, les îlots de même type pourront être agrégés et fournir un découpage selon les quartiers, ou tout autre découpage demandé par les utilisateurs.

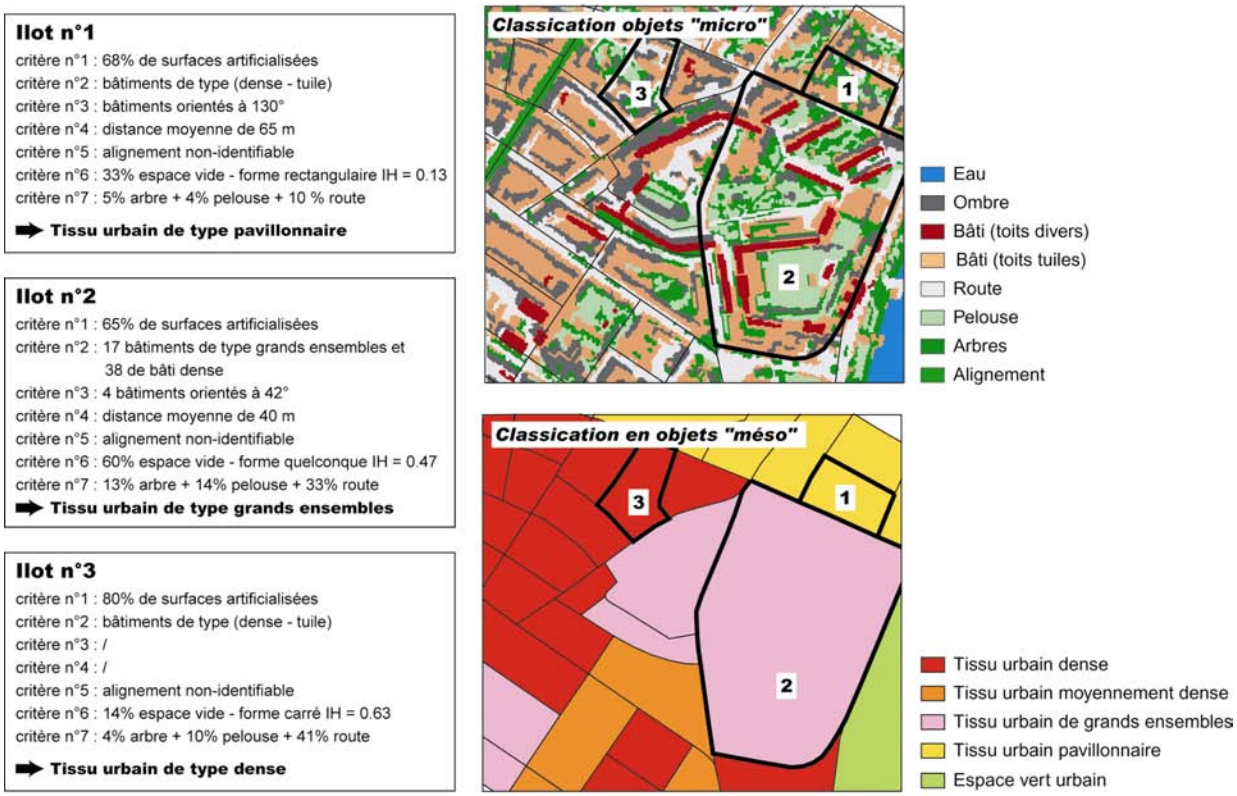


Figure 8.13 – Identification d'objets « méso » selon les critères de regroupement sur trois îlots ***(C)***.

8.5 CONCLUSION

Ce chapitre a montré que l'extraction des classes thématiques au 1/10 000e, à partir d'images satellites THR, ne dépend plus uniquement du choix d'un algorithme, mais est le résultat d'une procédure en quatre étapes : (1) une segmentation en régions homogènes, (2) une caractérisation des régions par la construction de règles de reconnaissance, (3) une classification orientée-objets des régions en classes d'objets « micro » et (4) une agrégation des objets « micro » pour reconstruire les objets « méso ».

Trois catégories de règles sont relevées comme pertinentes **pour identifier les objets « micro »** :

(1) des **règles spectrales** : cinq catégories de classes de signatures spectrales pour les matériaux les plus répandus en milieu urbain ont été identifiées. La distinction des classes spectralement proches (en particulier pour les surfaces minérales de type route et bâtiment) peut être améliorée par un indicateur de texture. Des images hyperspectrales permettraient également d'améliorer l'identification des matériaux urbains (cf. § 6.2.2.2) ;

(2) des **règles géométriques** : le critère de surface, combiné avec l'indice de Morton, est apparu comme un indicateur pertinent pour identifier les formes allongées. Combinée avec les indices de Gravélius et de Miller, il permet de distinguer les formes compactes ;

(3) une **règle d'adjacence** : la connaissance des voisins directs permet de reconstituer, par fusion, des régions appartenant à un même objet.

L'analyse des caractéristiques intrinsèques des objets « micro » et la formalisation des règles

d'identification n'est pas exhaustive. **Il s'agit donc d'un essai d'ontologie** c'est-à-dire d'une série d'exemples les plus représentatifs des objets du milieu urbain pour construire « **une structure de base » de règles simples, objectives et transposables**. Les règles sont paramétrées sur une image QUICKBIRD (2.8 m) sur les quartiers Est de l'agglomération de Strasbourg. Le processus de validation est en cours.

Les règles de reconstruction des objets « méso » à partir des objets « micro » sont formalisées sur trois types de tissus urbains (dense, pavillonnaire, grand ensemble). Trois catégories de règles sont définies :

(1) des règles de **voisinage** des objets « micro » de type bâtiments (distances entre les barycentres) ;
(2) des règles de **structure spatiale** (agencement spatial des bâtiments et des espaces vides, taille et forme des espaces vides) ;
(3) des règles d'**occupation du sol** des espaces vides.

Comme pour les objets « micro », ces règles de regroupement ne sont pas exhaustives et d'autres règles devraient être développées en particulier pour différencier des tissus urbains de morphologie identique tels qu'une « emprise hospitalière » et une « emprise universitaire ».

Les règles « micro » élaborées de manière théorique à partir de bases de données vectorielles ont été intégrées dans un logiciel de classification orientée-objets. Les règles « méso » sont intégrées dans un SIG selon une approche « non-automatique » multicritères. La validation des règles de regroupement est testée.

Les résultats exploratoires présentés dans ce travail démontrent **l'intérêt de l'utilisation d'une telle démarche** pour améliorer l'extraction d'information urbaine sur des images THR. Toutefois **des réserves sont émises.** Les tests ont mis en évidence l'influence :

- de **l'ordre de recherche des objets « micro »** et de la **procédure d'introduction des règles**. Il est apparu utile de rechercher en premier les objets plus spécifiques (eau), puis d'introduire les règles de reconnaissance selon une procédure déductive ;
- de la **complexité et de la diversité des objets urbains observés** dans la zone test. Une trop grande zone d'étude ne permet pas d'appliquer des règles qui conviennent à l'ensemble de la zone d'étude. L'optimisation des paramètres doit être réalisée en fonction de l'échelle d'observation ;
- de la **taille des régions** produites et de la **méthode de segmentation utilisée.** Une segmentation multirésolution qui tient compte de la résolution spatiale optimale des objets urbains est apparue pertinente ;
- de la **taille de la zone considérée** pour appliquer les règles de regroupement.

Si les résultats sont encourageants, il faut garder à l'esprit que ce type de démarche est complexe et loin d'être complètement automatisée. Une validation paramétrique des règles de reconnaissance des objets « micro » est actuellement en cours. Dans le cadre d'une collaboration avec le LSIIT, ces règles sont implantées « de manière dynamique » dans un système multi-agent.

Conclusion générale

L'objectif principal de la recherche a été d'évaluer l'apport **des images satellites à Très Haute Résolution** (THR - résolution spatiale inférieure ou égale à 5 m) comme source d'**Information Géographique** (IG) pour les professionnels de l'aménagement du territoire et de l'urbanisme.

La gestion du territoire nécessite des données multisources, multi-échelles, mises à jour régulièrement et avec une périodicité en relation avec son évolution. Tout utilisateur recherche l'IG la plus adaptée à ses objectifs, en fonction de ses applications. La conséquence est une **multiplication de la demande en informations localisées à diverses échelles**. Dans ce contexte, les images d'Observation de la Terre (aériennes et satellites) représentent un potentiel important d'acquisition d'IG. Depuis 1999, plusieurs satellites métriques à sub-métriques américains ont été lancés (IKONOS, QUICKBIRD, ORBVIEW). L'Europe, avec l'arrivée de SPOT 5 en 2002 et d'ORFEO en 2007, assurera la continuité du programme HR SPOT. Parallèlement le marché de la photographie aérienne a développé une filière entièrement numérique de résolution métrique et sub-métrique. La convergence de ces **deux évolutions technologiques** a engendré une **abondance de données numériques** à grande échelle adaptées aux milieux urbains.

Face à cette « révolution numérique », une **prospective sur les besoins** des utilisateurs en milieu urbain était devenue indispensable (en termes de produits-systèmes, de produits à valeur ajoutée et d'applications) pour vérifier leur adéquation avec les données disponibles. Il s'agit également de vérifier si les **méthodes traditionnelles** d'extraction d'information urbaine sur des images HR sont toujours **« efficaces » sur les images THR** ou si de **nouvelles méthodes** d'extraction d'information doivent être développées.

Formalisation des besoins des utilisateurs : définition de la demande

Une enquête en trois étapes a été réalisée auprès des utilisateurs d'IG à grande échelle (1/200e – 1/10 000e). Les résultats ont permis de comprendre les pratiques des utilisateurs au regard de l'utilisation des données images et de leurs applications. Ils ont mis en évidence les faits suivants :

(1) L'**orthophotographie** numérique est utilisée comme source d'information pour les échelles du 1/200e au 1/2000e dans des applications de gestion opérationnelle du territoire. A défaut d'autres produits, des orthophotos dégradées à plus petites résolutions sont utilisées pour les échelles du 1/5000e au 1/10 000e pour des applications de niveau tactique (planification urbaine, urbanisme réglementaire, études ponctuelles). L'**image satellite**, très peu utilisée**,** est une **source d'informations** complémentaires pour des applications de prospective à des échelles supérieures au 1/25 000e (analyses de changements d'occupation du sol).

(2) Les images satellites THR, même si elles se rapprochent des orthophotographies (vraies couleurs et grandes échelles), ne pourront jouer un rôle dans les **pratiques des utilisateurs** que si elles arrivent à servir à la fois de **support de communication et de source d'information** pour des échelles du **1/5000e au 1/10 000e** (échelles les plus utilisées). L'utilisation démocratique de ces images par l'ensemble des acteurs doit être accompagnée d'une volonté politique et de la mise en place de « consortiums » qui favorisent la mutualisation des moyens techniques et financiers.

(3) Les **applications potentielles** des images THR concernent la mise à jour ou la construction de bases de données existantes de précision métrique (type BDTOPO®), l'utilisation des images satellites comme « document de travail » pour le gestion des risques (naturels et technologiques), la production de base de données qui permettent de tenir compte de la qualité de vie des habitants, la réalisation « d'observatoire » des tissus urbains, du stationnement, des espaces végétalisés, l'analyse de l'accessibilité aux espaces verts,…

Définition de l'offre et vérification de l'adéquation avec la demande

L'utilisation pratique de l'image satellite et de ses produits dérivés dans des applications urbaines ne pourra s'effectuer que par l'intermédiaire de l'outil SIG. L'offre en capteurs HR actuels ne permet pas de satisfaire la majorité des besoins en objets urbains et en produits à valeurs ajoutées. En effet, si les images satellites HR peuvent jouer un rôle important pour l'identification de zones homogènes du 1/25 000e au 1/50 000e dans des applications de niveau stratégique, elles ne permettent pas la discrimination d'objets urbains, à des échelles du 1/200e au 1/10 000e. De plus, les nomenclatures disponibles issues d'images satellites HR (type BD CARTO®) ne répondent que partiellement aux besoins des utilisateurs (inadéquation des classes).
Pour pallier ces inadéquations, les utilisateurs ne modifieront leurs pratiques urbaines (outils, méthodes) que si les nouvelles sources proposées présentent de réels avantages : **nomenclature d'objets au 1/10 000e**, **chaînes de traitements** des produits à valeurs ajoutées adaptées aux applications, aide à l'identification et **automatisation des processus de production**.

Qualité des images THR : vers la définition d'un produit-système opérationnel en milieu urbain

La définition des performances opérationnelles d'un produit-système opérationnel pour les applications urbaines est une étape importante dans la chaîne de conception des capteurs. Les différents tests effectués dans cette recherche ont montré que :

(1) La correction géométrique des produits standards THR (corrections radiométriques et géométriques) avec 6 à 8 points de contrôle selon une polynomiale de degré 1 permet d'obtenir une précision géométrique de 2 à 3 m en terrain plat. Ce type de corrections convient aux applications au 1/10 000e qui nécessitent une précision pluri-métrique, mais pas aux applications du 1/2000e au 1/5000e. Dans ce cadre, une précision métrique demande l'utilisation d'une correction géométrique

basée sur un modèle numérique de terrain précis.
Une **résolution spatiale optimale** de 2 à 3 m a été identifiée pour les objets urbains de type bâtiments, de 1 à 2 m pour les objets urbains linéaires et de 0.8 à 1 m pour les objets de type végétation isolée (alignement ou arbre individuel). Pour les zones de végétation, une résolution spatiale optimale de 6 à 8 m a été identifiée.

(2) La **qualité spectrale** des images fusionnées (entre le panchromatique et le multispectral) dépend de la qualité radiométrique des images multispectrales de départ. La méthode de fusion selon le concept ARSIS permet une meilleure conservation de la radiométrie et une meilleure différenciation des objets urbains que la méthode par corrélation (Puissant *et al.*, 2003). Les **mesures radiométriques** réalisées au sol confirment une meilleure différenciation des principaux matériaux urbains (tuile de céramique, ardoise, éternit, tôle, asphalte) dans les bandes du visible (0.4 à 0.9 µm) et l'intérêt de l'infrarouge moyen (1.5 à 2.5 µm) pour différencier la végétation (feuillus, conifères et pelouse sèche et chlorophyllienne). Un canal panchromatique étendu vers l'infrarouge, à partir de 0.85 µm permet une meilleure visibilité dans les ombres. Par contre, l'élargissement vers le bleu n'apporte pas d'amélioration significative.

(3) Les **images stéréoscopiques** avec une valeur de B/H de 0.1, une résolution de 0.6 m et un panchromatique élargi permettent une bonne identification et analyse des objets urbains de type bâtiments, végétation. L'effet du B/H est prépondérant sur la qualité d'interprétation par rapport à la résolution spatiale et spectrale.

En résumé, il n'existe pas un capteur optique « idéal » mais des caractéristiques de résolutions spatiales, spectrales et de stéréoscopie « optimales » en fonction des objets à identifier et des échelles à atteindre :

- pour une exploitation des images THR à des **échelles du 1/10 000e**, une résolution spatiale de **2 à 3 m** avec des bandes spectrales du visible au moyen infrarouge devrait permettre d'identifier les **entités** et les **objets urbains** demandés à cette échelle par les utilisateurs ;
- pour une analyse au niveau du **bâtiment** à des échelles du **1/5000e, voire du 1/2000e**, une résolution spatiale de **0.6 à 0.8 m**, avec un canal panchromatique « de l'ancienne génération de capteur » (de 0.45 à 0.75 µm) tels que LANDSAT ou SPOT, suffisent. Un B/H de 0.1 permet une interprétation relative de la hauteur des bâtiments ;
- pour une analyse de la **végétation intra-urbaine et péri-urbaine**, une résolution spatiale de **1 à 2 m** avec des bandes spectrales étroites dans le proche et le moyen infrarouge (images super à hyperspectrales) et un panchromatique élargi vers le PIR, sont adaptées.

Deux autres critères sont à prendre en considération dans la définition des caractéristiques « optimales » d'un produit-système : **la largeur du champ de vision** et la **périodicité des enregistrements**. Dans ce cadre, les utilisateurs ont recommandé pour la gestion d'un territoire à l'échelle d'un département ou d'une région (pour faciliter l'acquisition par mutualisation des besoins et sans obligation d'acquisition de surfaces minimales), une **mise à jour** d'une couverture **image tous les 2 à 3 ans**.

Evaluation des algorithmes traditionnels d'extraction de l'information urbaine sur des images THR

Les résultats de classifications spectrales à différentes résolution spatiales (10 à 1 m) ont confirmé que l'amélioration de la résolution spatiale n'implique pas une augmentation du taux global de

bon classement. L'intégration d'une image de texture (bande additionnelle) de type « homogénéité » avec une taille de fenêtre de 7x7 en milieu urbain, dans un processus de classification sur des images de 10 à 2.5 m, ne pas permet pas d'améliorer de manière significative les résultats de classification. Par contre, **un seuil de résolution (1 m)** à partir duquel **l'information spatiale permet d'améliorer sensiblement les classifications spectrales** a été mis en évidence, particulièrement pour l'extraction des bâtiments.
Toutefois, ces améliorations ne sont pas suffisantes pour répondre aux besoins des utilisateurs au 1/10 000e ; la prise en compte d'autres critères est apparue indispensable (géométrie, contexte) car la vision des objets à THR est modifiée par rapport à la vision « par zones » des images HR. Les méthodes traditionnelles sont donc devenues « trop simples » pour la complexité inhérente aux images et au milieu d'étude.

Vers une démarche orientée-objets

L'extraction de l'information urbaine au 1/10 000e à partir d'images THR n'est plus fondée sur le choix d'un algorithme spécifique mais elle est le résultat d'une procédure interactive avec l'expert en plusieurs étapes : (1) une segmentation de l'image en régions homogènes, (2) une caractérisation des régions par la construction de règles de reconnaissance, (3) une classification orientée-objets des régions en classes d'objets « micro » (objets urbains élémentaires) et (4) une agrégation de ces objets « micro » en objets « méso » (classes thématiques demandées par les utilisateurs).

Dans ce contexte, une **base de règles des objets « micro** » a été proposée. Elle est fondée sur des **règles spectrales** (complétée par une information spatiale de texture, pour les objets de type « bâtiment »), des **règles géométriques** (surface combinée à un indice de forme) et **une règle d'adjacence** pour reconstituer les « régions » appartenant à un même objet. Cette base de règles constitue « **une structure de base » d'identification de règles simples, objectives, et transposables** (villes occidentales) qui demande un paramétrage relativement à l'image utilisée et aux objets observés.
Des **règles de regroupement** ont également été définies **pour reconstituer les objets « méso »** à partir d'un découpage en îlots. Elles sont fondées sur l'analyse (1) du voisinage des objets « micro » et particulièrement des bâtiments (distances entre les barycentres), (2) de l'organisation spatiale (agencement et caractérisation des bâtiments et des espaces vides) et (3) de l'occupation du sol des espaces vides.

Les règles « micro » élaborées de manière théorique à partir de bases de données vectorielles ont été intégrées dans un logiciel de classification orientée-objets et les règles « méso » dans un SIG selon une approche « non-automatique » multicritères. La validation des règles de regroupement a été testée. Les résultats sont encourageants ; l'amélioration est particulièrement visible pour les classes « bâtiment », « route » (amélioration du taux de bon classement de plus de 5%) et pour le reclassement de la classe « ombre ». Toutefois, plusieurs contraintes d'application ont été mises en évidence :

- l'ordre de recherche des objets « micro » et la procédure d'intégrations de leurs règles de reconnaissance influencent le résultat de la classification orientée-objets. L'identification des objets les plus spécifiques selon une approche déductive est apparue pertinente ;
- une base de règles unique ne peut, à elle seule, identifier de manière univoque la multitude d'objets présents dans un espace urbain ;
- la taille des régions produites et la méthode de segmentation utilisée influencent les résultats. L'utilisation de la résolution spatiale optimale par type d'objets s'est avérée utile pour

définir plusieurs « niveau » de segmentation selon les objets à identifier (segmentation multi-résolution) ;

- la taille de la zone considérée pour appliquer les règles de regroupement doit correspondre à un découpage défini par les utilisateurs.

Ce type de méthodes, toujours en développement, nécessite de nombreux tests et expérimentations pour ajuster et valider les règles de connaissance de manière individuelles. Des collaborations ont été engagées pour implanter ces règles de « manière dynamique » dans un système multi-agent.

Perspectives

Les images satellites THR, si elles apportent une nouvelle vision de la ville plus proche de celle des utilisateurs du milieu urbain (puisque qu'elles se rapprochent de la photographie aérienne), sont une véritable opportunité pour le milieu urbain. Toutefois, la complexité du milieu étudié est renforcée à ces résolutions et de nouvelles méthodes d'extraction doivent être développées. Il s'agit d'orienter les recherches pour assister le travail de photo-interprétation dans un environnement interactif, plutôt qu'une automatisation complète, irréaliste à court-terme.

L'ensemble de ces résultats met en évidence plusieurs aspects méthodologiques et thématiques qui méritent une réflexion approfondies à court et long terme. Ils constituent autant de pistes et de perspectives de recherche à poursuivre ou à engager dans les années à venir.

Du point **de vue du produit-système** :

(1) Il serait intéressant de poursuivre **l'analyse du comportement spectral** des matériaux urbains. Dans ce cadre, une **bibliothèque de signatures spectrales** complète des matériaux urbains, à partir de radiomètres portatifs, permettrait de constituer une aide au choix des bandes spectrales les plus adaptées ou servir dans la constitution de nouveaux capteurs hyperspectraux.

(2) Une exploration des **images radars** pourrait être utile car ce type de capteurs permet d'éliminer le problème d'acquisition sous toute condition climatique. En effet, une des limitations de l'acquisition d'images par l'utilisateur est la présence de nuages. De plus, couplée à des images optiques et à des règles de reconnaissance, elle permettrait d'identifier les changements. Cependant cette technique suscite son lot de problèmes lors de l'interprétation de ce type d'images en milieu urbains.

D'un point **de vue méthodologique et des applications thématiques** :

(1) L'influence des méthodes de segmentation utilisée en amont de ce type de démarche orientée-objets devrait être quantifiée de manière stricte par la comparaison des méthodes de segmentation les plus utilisées ;

(2) La définition de règles de reconnaissance « micro » (en plus de celles définies) plus performantes, basées sur d'autres mesures, et une étude paramétrique de celles-ci, devraient être poursuivies (en cours de développement à l'heure actuelle) pour évaluer de manière plus précise leur apport pour répondre aux besoins des utilisateurs. La validation des règles « micro » et « méso » devrait être également être menée sur l'ensemble des différents types de tissus urbains typiques des villes occidentales. Leur application sur d'autres villes européennes permettrait de valider l'ensemble de la démarche.

(3) L'application de ce type de démarche, à plus long terme, devrait être appliquée sur des villes

des pays en développement. En effet, le potentiel d'applications est d'autant plus grands dans ces villes que l'information sur le territoire n'est pas disponible ou n'est pas mise à jour.

(4) Le couplage des images THR optiques et hyperspectrales permettrait également le développement d'applications à l'échelle de la rue et des arbres (impact des espaces verts sur les nuisances urbaines).

Ces perspectives montrent bien que la télédétection à Très Haute Résolution en milieu urbain constitue un défi de taille aux applications multiples. Il demeure essentiel de poursuivre la recherche en matière de méthodologie d'extraction, de validation et d'applications.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Abric J.C., 1997, *Pratiques sociales et représentations*, Collection Psychologie Sociale, Presses Universitaires Françaises, Paris, 252 p.

Adams J.B., Smith M.O, Gillespsie A. R., 1993, *Imaging spectroscopy: interpretation based on spectral mixture analysis*, *in* Pieters C.M., Englert P.A.J. (eds.), Topics in remote sensing IV: Remote Geochemical analysis: Elemental and Mineralogical Composition, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 145-166.

Aiazzi B., Alparone L., Baronti S., Carla R., 1998, *An assessment of pyramid-based multisensor image data fusion*, Proceedings SPIE EUROTO, 3500, pp. 237-247.

Aillaud V., 1992, *Que sont devenues les banques de données urbaines*, *in* SIGAS, vol. 2, 1, pp. 15-27.

Alchrona E., 1988, *The impact of climate and made on land transformation in Central Soudan, Applications of Remote Sensing*, Lund University Press, Sweden, 144 p.

Alfonso E., Choay F., 1988, *Morphologie Urbaine et Parcellaire*, Presses Universitaires de Vincennes, Paris, pp. 129-137.

Andrews R., Diederich J., Tickle A., 1995, A *Survey of Techniques for Extracting Rules from Training Artificiels Neural Networks,* Queensland University of Technologie, Neurocomputing Research Centre, Document QUTNRC-95-01.02.ps, 11 p.

Annoni A., Smit P., Craglia M., 2003, Infrastructure des données géoréférencées en Europe, *Géomatique Expert*, 25, pp. 34-37.

Antenucci J. C., 1995, High resolution space-based imaging: the potential nears, *Geo Info Systems*, 5(10), pp. 52-55.

Anys, H., Bannari, A., He, D.C., Morin, D., 1994, *Texture analysis for the mapping of urban areas using airborne MEIS-II images,* First International Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition, Strasbourg, France, 11-15 September 1994.

Aplin, P., Atkinson, P.M., Curran, P.J., 1997, Fine spatial resolution satellite sensors for the next decade, *International Journal of Remote Sensing*, 18, pp. 3873-3881.

Aplin, P., Atkinson, P.M., Curran, P.J., 1999, Fine spatial resolution simulated satellite sensors sensor imagery for land cover mapping in the United Kingdom, *Remote Sensing of Environment*, 68, pp. 206-216.

Atkinson P.M., Cutler M.E.J, Lewis H., 1997, Mapping sub-pixel proportional land cover with AVHRR imagery, *International Journal of Remote Sensing*, 18, pp. 917-935.

Atkinson P.M., Tatnall A.R.L., 1997, Neural networks in remote sensing, *International Journal of Remote Sensing,* 18(4), pp. 699-709.

Auzelle R., 1965, *Technique de l'urbanisme*, Presses Universitaires de France, Que sais-je ?, 112 p.

Baatz M., Schape A., 1999, Object-oriented and multi-scale image analysis in semantic networks, i, Proceedings of the second international Symposium on Operationalization of remote sensing , August 16-20 1999, ITC.

Baatz M., Schape A., 2000, Multiresolution *Segmentation – an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation*, *In*: STROBL, J. (Ed.): Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII. Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg 2000, Karlsruhe, Herbert Wichmann Verlag: 12–23.

Bagot J.D., 1996, *Information, sensation et perception*, Armand Colin, Paris, 190 p.

Bailly A., 2001, *Les concepts de la géographie humaine*, Armand Colin, Paris, 333 p.

Bailly A., Baumont C., Huriot J.M., Salllez A., 1995, *Représenter la ville*, Economica, Paris, 112 p.

Bailly A., Beguin H., 2001, *Introduction à la géographie humaine*, Armand Colin, Paris, 218 p.

Bailly A., Ferras R., 1997, *Eléments d'épistémologie de la géographie*, Armand Colin, Paris, 192 p.

Bailly E., 1996, Position de recherche sur une méthode de détermination du contour urbain, *Cybergéo*, 10, 8 p.

Ballut A., Nguyen J.P., 1984, Les besoins d'information pour l'aménagement urbain et régional : apport de la télédétection spatiale à la satisfaction de ces besoins, *Société Française de Photogrammétrie et Télédétection*, 93, pp. 21-32.

Baltsavias E., Pateraki M., Zhang L., 2001a, *Radiometric and geometric evaluation of Ikonos GEO images and their use for 3D building modeling*, Proceedings of the Joint ISPRS Workshop "High Resolution Mapping from Space 2001," 19-21 September, Hannover, Germany (on CD ROM).

Baltsavias, E., A. Grün, Van Gooi, L. (editors), 2001b. *Automated Extraction of Man-Made abjects from Aeriaj and Space Images*"' 1*(III),* A.A. Balkema Publishers, Lisse, The Netherlands, 415 p.

Barnsley M.J, Moiller-Jensen L., Stuart L.B, 2000, *Inferring urban land use by spatial and structural pattern recognition*, *in* Donnay, J.-P., Barnsley, M.J., Longley, P.A. (eds.), Remote Sensing and Urban Analysis, GISDATA 9, Taylor & Francis, London, pp. 71-94.

Barnsley M.J., Barr S.L., 1996, Inferring urban land use from satellite sensor images using kernel-based spatial reclassification, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62, pp. 949-958.

Barnsley M.J., Barr S.L., 1997, A graph-based structural pattern recognition system to infer landuse from fine spatial resolution land cover data, *Computers, Environment and urban Systems*, 21, pp. 209-225.

Barnsley M.J., Barr S.L., 1997, Distinguishing urban land-use categories in fine spatial resolution land-cover data using a graph-based, structural pattern recognition system, *Computer, Environment and Urban Systems*, 21, pp. 209-225.

Barr S. and Barnsley M., 2000, Reducing clutter in land cover classifications of high spatial resolution remotely-sensed images for urban land use mapping, *Computer & Geosciences*, 26, pp. 433-449.

Barr S.L., Barnsley M.J., 1995, *A spatial modeling system to process, analyse and interpret multi-class thematic maps derived from satellite sensor images*, *in* Fisher, P. (Ed): Innovation in GIS 2, Taylor & Francis, London, pp. 53-65.

Barr S.L., Barnsley M.J., 1997, A region-based, graph-theoretic data model for the inference of second-order information from remotely-sensed images, *International Journal of Geographical Information Science*, 11, pp. 555-576.

Baudoin A., Le programme Pléiades, *Bulletin de la Société Française de Photogrammétrie et de Télédétection,* 164-165, pp. 35-44.

Beaujeu-Garnier J., 1997, *Géographie urbaine*, Armand Colin, Masson, Paris, 385 p.

Bédard Y., 1987, Sur les différents types de SIRS, *Actes du congrès conjoint de Carto-Québec et de l'Association Canadienne de Cartographie*, Québec, pp. 73-87.

Bédard Y., 1989, *A study of the nature of data using a communication-based conceptual framework of land information systems*, Ann Arbor (Michigan), UMI, 260 p.

Bédard Y., 2000, *Notions de base en SIG*, *Support de cours*, Département de Géomatique, Université Laval, Québec, 30 p.

Beguin H., 1979, *Méthodes d'analyse géographique quantitative*, LITEC, Paris, 252 p.

Benediktsson J.A, Swain P.H., Ersoy O.K., 1990, Neural network approaches versus statistical methods in classification multisource remote sensing data, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,* 28, pp. 540-552.

Berberoglu S., Lloyd C.D., Atkinson P.M., Curran P.J., 2000, The integration of spectral and textural information using neural networks for land cover mapping in the Mediterranean, *Computers & Geosciences*, 26, pp. 385-396.

Bergeron M., 1993, *Vocabulaire de la géomatique, Résultat d'un groupe d'étude : Bergeron M., Bédard T., Boutin G., Bruger D., Hudon J.Y., Malboeuf J., Cahier de l'office de la langue française,* Les publications du Québec.

Berry B.J., 1964, Cities as systems within systems of cities, *Papers and Proceedings of the Regional Science*

Association, 13, pp. 147-183.

Berstein R., Gesu V., A combined analysis to extract objects in remote sensing images, *Pattern Recognition Letters*, 20, pp. 1407-1414.

Berthold M. R., Diamond J., 1995, *Boosting the Performance of RBF Networks with Dynamic Decay Adjustment* Forschungszentrum Informatik, Uni Karlsruhe, and Intel Corporation, http://www.cs.berkeley.edu/~berthold/PAPERS/nips94-abstract.html, Document berthold.dda-nips7.ps

BIackburn G.A., Milton E.J., 1995, *Ecology through spectro- metry: the detection and classification of canopy gaps in deciduous woodlands, in* Wiley P.M. (ed.), Understanding the Terrestrial Environment: Remote Sensing Data Systems and Networks Mather, Chichester, pp. 175-187.

Bied-Charreton M., Cazaux J.C., 1989, *Intérêt économique des techniques de télédétection, in* Rapport sur la Conférence Internationale à Berlin (Ouest), 1, pp. 43-62.

Biehl L., Landgrebe D., 2002, MultiSpec-A tool for multispectral- hyperspectral image data analysis, *Computers & Geosciences,* 28, 10, pp. 1153-1159.

Bijnen E., 1973, *Cluster analysis*, Tilburg, University Press, 234 p.

Blanchet A., 2001, *Introduction à la psychologie cognitive*, Nathan, Paris, 218 p.

Blanchet A., Gotman A., 1992, *L'enquête et ses méthodes : l'entretien*, Nathan, Paris, 125 p.

Boffet A., 2001, *Méthode de création d'informatoins multi-niveaux pour la généralisation cartographique de l'urbain*, Thèse de Doctorat, Université de Marne-la-Vallée, 228 p.

Bonn F., 1996, *Précis de télédétection : application,* Presses de l'Université du Québec, Sainte-Foy, 650 p.

Bonn F., Rochon B., 2001, *Précis de télédétection : principes et méthodes*, Presses de l'Université du Québec, Sainte-Foy, 477 p.

Boucheron J.M., 2001, *Le renseignement par l'image*, Rapport d'Information de l'Assemblée Nationale, Commission des Finances, de l'Economie Générale du Plan, 114 p.

Boureau J.G., 2001, *Choix du B/H couple à la résolution et à la bande spectrale: applications aux besoins de l'inventaire forestier national*, Rapport IFN, 13 p.

Bourrelier P.H., 1999, *Les parties prenantes de la gestion du risque de crues*, Conseil général des mines, la Houille Blanche, 6, pp. 25-26.

Brundtland M., 1987, *Notre avenir à tous,* Rapport de la Commission Mondiale Sur l'Environnement et le Développement (CMED), Éditions du Fleuve / Les publications du Québec, Montréal, 434 p.

Brunet R., 1974, Espace, perception et comportement, *Espace Géographique*, 3, pp 189-204.

Brunet R., Ferras R., Thery H., 1993, *Les mots de la géographie*, Reclus, Paris, 518 p.

Bruzzone L., Prieto D.F., 1999, An incremental learning neural network for the classification of remotely-sensed images, *Pattern Recognition Letters*, 20, pp.1241-1248.

Burrough P.A., 1983, Multiscale sources of spatial variation in soil – the application of fractal concepts to nested levels of soil variation, *Journal of Soil Science*, 34, 577.

Cao C., Lam N., 1997, *Understanding the scale and resolution effects in remote sensing and GIS, in* Quattrochi D.A. and Goodchild M.F. (eds.), Scale in Remote Sensing and GIS, Lewis Publishers, USA, pp.57-72.

Caron C., 1991, Nouveau formalisme de modélisation conceptuelle adapté aux SIRS, Mémoire de maîtrise, Centre de recherche en géomatique, Université Laval, Québec, 186 p.

Carpenter G.A, Gopal S., Macomber S., Martens S. and Woodcock C.E, 1999, A neural network method for mixture estimation for vegetation mapping, *Remote Sensing of Environment*, 70, pp. 135-152.

Catlow D.R., Parsell R.J., Wyatt B.K., 1984, The integrated use of digital cartographic data and remotely sensed imagery, *Earth Orientated Applications Space Technology*, 4, pp. 255-260.

Cauvin C., 1972, *Un habitat en évolution : les villages-rue du Pays Adjukru (Basse Côte d'Ivoire).*

Cauvin C., Rimbert S., 1976, *La lecture numérique des cartes thématiques*, Éditions Universitaires de Fribourg, Suisse, 172 p.

CCTS (Centre Canadien de Télédétection Spatiale), 2001, http://www.ccrs.nrcan.gc.ca

CDG (Centre de Développement de la Géomatique), 1997, *Etude stratégique sur l'échange des DRS au Québec*, Etude réalisée à la demande du Consortium BCGT-DMR-IGI-PGI, 64 p.

CERTU (Centre d'Etudes sur les Réseaux de Transport et l'Urbanisme), 2001, *Le projet d'aménagement et de développement durable du PLU*, Guide Technique, Lavoissier, Paris, 92 p.

Chavez P., Bowell J.A, 1988, Comparison of the spectral information content of Landsat TM and SPOT for three different sites in the Phoenix, Arizona, Region, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54, 12, pp. 1699-1708.

Chavez P., Kwarteng A., 1989, Extracting spectral contrast in Landsat TM data using selective component analysis, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 55, 3, pp. 339-348.

Chavez P.S., Sides S.C., Anderson J.A. 1991, Comparison of three different methods to merge multiresolution and multispectral data : Landsat TM and SPOT Panchromatic, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 57, 3, pp. 295-303.

Chen P.P., 1976, *The entity relationships model. Towards a unified view of data*, ACM TODS, 1, 1, pp.9-36.

Cheng P., Toutin T., Zhang Y., Wood M., 2001, *Quickbird – Geometric Correction, Path and Block Processing and Data Fusion*, PCI Technical paper, 12 p.

Chevalier J., 1990, *Implementation of an SIRS in a municipal environment: a problem of computarisation or a problem of organization?, in* Actes du Colloque : La Géomatique, voir…à sa mesure, Association de Géomatique Municipale du Québec, Montréal, 13 p.

Cheylan J., 1991, Editorial, *Revue des Sciences de l'Information Géographique et de l'Analyse Spatiale,* Hermès, 1, 1, pp. 7-10.

Christaller W., 1966, Central places in southern Germany, Englewood Cliffs, Prentice-Hall.

Clarck, C.S., Eckhardt, W.O., MaNary, C., Nevatia, R., Olin, K., Van Orden, E., 1979, *High accuracy model matching for scenes containing man-Made structures*, *In:* Proceedings of the Symposium on Digital Processing of Aerial Images, Stanford, California, pp. 54-62.

Clark R.N., 1999, *Spectroscopy of Rocks and Minerals and Principles of Spectroscopy*, *in* Rencz A.N. (ed.), Manual of Remote Sensing, Wiley and Sons, New York, pp. 3-58.

Clark R.N., King T., Klejwa M., Swayze G., Vergo N., 1990, High spectral resolution reflectance stereoscopy of minerals, *Journal of Geophysical Research*, 95, 12, pp. 653-680.

Claval P., 1968, La théorie des villes, *Revue de Géographie de l'Est*, 8, pp. 3-56.

Cliche C., Bonn F., 1985, Integration of SPOT Panchromatic channel into its multispectral mode for image sharpness enhancement, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 51, 3, pp. 313-316.

Codd E.F., 1970, *A relational model of data for large shared data banks*, ACM, 13, 6, pp.337-387.

Colette B., Donnay J.-P., Nadasdi I., 1991, Essai de discrimination du tissu urbain par segmentation d'images , *Mappemonde*, 4, pp. 31-35.

Collet C., 1999, Vers un système d'assistance à l'interprétation d'images numériques de télédétection, *in* Bannari A. (ed.), Actes du Colloque International Télédétection et Géomatique pour la Gestion des Problèmes Environnementaux, ACFAS, Université d'Ottawa, pp. 27-37

Collet C., Hussy CH., 1995, Les systèmes d'information en géographie, *Actes du troisième Cycle Romand 1994-1995*, Rapports de Recherche, Institut de Géographie, Fribourg, 12 p.

Comby J., 1977, *Mémento d'urbanisme*, Centre de Recherche et d'Urbanisme, 574 p.

Congalton R., 1991, A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data, *Remote Sensing of Environment*, 37, pp. 35-46.

Congalton R.G., 1997, Exploring and evaluating the consequences of vector to raster and raster to vector conversion, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 63, pp. 425-434.

Conners R. and Harlow C., 1980, A Theoretical Comparison of Texture Algorithms, *IEEE Transactions of Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2, 3, pp. 204-222.

Coopers & Lybrand Consultants, 1997, *Economic aspects of the collection, dissemination and integration of*

government's geospatial information, A report arising from work carried out for Ordnance Survey (http://www.o-s.co.uk/literatu/external/geospat/index.html, 25 p.

Correia F.N., Saraiva M.G., Da Silva F.N., Ramos I., 1999, - Floodplain management in urban developing areas. Part I. Urban growth scenarios and land-use controls, *Water Resources Management*, 13, pp. 1-21.

Corti D., 2001, *Télédétection satellitales THRS et caractérisation de couverts forestiers : influence de la resolution spatiale et du rapport de base à hauteur,* Rapport SILAT, Montpellier, 25 p.

Coster M., Chermant J.L., 1985, *Précis d'analyse d'images*, Editions du CNRS, Paris, 521 p.

Coster M., Chermant J.L., 1989, *Précis d'analyse d'images*, Presses du CNRS, pp. 291-339.

Coudercy L., 1997, *Cohérence entre CORINE LAND COVER et la BD CARTO®*, Rapport d'étude, Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques, 60 p.

Couloigner I., 1998, *Reconnaissance de formes dans les images de télédétection du milieu urbain*, Thèse de doctorat de l'Université de Nice, Sophia Antipolis, 91 p. + Annexes.

Coulombe A., Charbonneau,L., Brochu R., Morin D., 1991, L'apport de l'analyse texturale dans la définition de l'utilisation du sol en milieu urbain, *Journal Canadien de Télédétection*, 7, pp. 46-55.

Cross A.M., Mason D.C., Dury S.J., 1988, Segmentation of remotely-sensed images by a split-and-merge process, *International Journal of remote Sensing*, 19, 8, pp. 1329-1345.

Curran P.J., 1985, *Principles of Remote Sensing. Longmans*, London, 282pp.

Cushnie J.L., 1987, The interactive effect of spatial resolution and degree of internal variability within land cover type classification accuracies, *International Journal of Remote Sensing*, 8, pp. 15-29.

Dale J., 1996, Let the games begin, *Earth Observation Magazine*, 5(7), pp. 26-28.

Dao H., 2001, *Les systèmes d'Information Géographique*, Support de cours, Département de Géographie, Université de Genève, 40 p.

David B., Fasquel P., 1997, Qualité d'une base de données géographiques : concepts et terminologie, *Bulletin d'Information de l'IGN*, 67, 50 p.

Davies C. H., Wang X., 2001, *Planimetric Accuracy of IKONOS 1-m Panchromatic Image Products,* Proceedings of the 2001 ASPRS Annual Conference, St. Louis, MI, USA, April 23 - 27, CD-ROM.

Davis F.W., Quattrochi D.A, Ridd M.K., 1991, Environmental analysis using integrated GIS and remotely sensed data: some researches and priorities*, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing,* 57, pp. 689-697.

De Béthune S., Muller F., Binard M., 1997, *Adaptative intensity matching filters : a new tool for multi-resolution datat fusion,* Symposium on multi-sensor systems and radar, Lisbonne, Portugal, 15 p.

de Boissezon H., Laporterie F., 2003, *Évaluations thématiques et statistiques de cinq algorithmes de fusion P/XS sur des simulations d'images Pléiades-HR,* Bulletin de la *Société Française de Photogrammétrie et de Télédétection*, 169, pp.83-99.

De Cola L., 1989, Fractal analysis of a classified Landsat scene, *Photogrammetric: Engineering and Remote Sensing,* 55, 601 p.

De Cola L., 1993, *Multifractals in image processing and process imaging, in* N. Lam and L. De Cola (eds.), Fractals in Geography, pp. 213-227.

De Groof H., 2003, GMES, La réponse spatiale de l'Europe, *CNES Magazine*, 19, pp. 22-24.

De Singly F., 1992, *L'enquête et ses méthodes : le questionnaire*, Nathan, Paris, 126 p.

Dechaume A.F, 2000, *Notions de base sur les nouvelles technologies de l'information et de la communication en construction,* Rapport de la DGUHC, Ministère de l'Equipement, des Transports et du Logement, 103 p.

Deering D.W., 1989, *Field measurements of bi-directional reflectance, in* Asrar G. (ed.), Theory and Applications of Optical Remote Sensing, Wiley and Sons, New York, pp. 14-65.

Denègre J., Salge F., 1996, *Les systèmes d'information géographique*, Presses Universitaires de France, Paris, 85 p.

Destival I., 1987, Recherche automatique des réseaux linéaires sur les images SPOT, *Société Française de Photogrammétrie et Télédétection,* 105, pp. 5-16.

Dial G., 2000, IKONOS satellite mapping accuracy, *Proceedings of the ASPRS Annual Conference,* 22-26 May, Washington, D.C. (on CD ROM).

Dictionnaire de Sociologie, 1999, Le Robert/Seuil, Paris, 587 p.

Didier M., 1990, *Utilité et valeur de l'information géographique*, Economica, Paris, 255 p.

Dionne D., Boureau J.G., Deshayes M., Gratton D., Marceau D., 1996, *Étude de la résolution spatiale optimale dans un milieu forestier de moyenne montagne*, Bulletin de la *Société Française de Photogrammétrie et de Télédétection*, 141, pp. 51-55.

Document de Travail des Services de la Commission, 2001, *Document consultatif en vue de la préparation de la stratégie européenne pour le Développement Durable*, Commission Européenne, Bruxelles, 66 p.

Donnay J.-P., Barnsley M.J., Longley P.A., 2000, Remote sensing and urban analysis, *in* Donnay,J.-P., Barnsley, M.J., Longley, P.A. (eds.), Remote Sensing and Urban Analysis, GISDATA 9, Taylor & Francis, London, pp. 3-18.

Durand P., Hakdaoui M., Chorowicz, Rudant J.P., Simonin A., 1994, Caractérisation des textures urbaines sur des images radar VARAN par approche morphologique et statistiques, Application à la ville de Luc (sud-est de la France), *International Journal of Remote Sensing*, 15, pp. 1064-1078.

Eastman J. R., 2001, *Exploration in Geographic Information Systems Technology*, GIS and Decision making, UNITAR European office.

Eastmann J.R., Laney R.M., 2002, Bayesian soft classification for sub-pixel analysis: a critical evaluation, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 68, 11, pp. 1149-1154.

Eckmann O., 1997, *Collectivités locales, entreprises et informatisation. Gestion classique des données spatiales et besoins actuels : difficultés d'appréciation de la demande et propositions de réponses, l'exemple du couplage Phocus-Autocad,* Thèse de l'Université Louis Pasteur, Strasbourg, 299 p.

Ecobichon C., 1994, *L'information géographique*, Hermès, Paris, 121 p.

Edmond M., 2000, *Grand Dictionnaire de la psychologie*, Larousse, 864 p.

eEurope, 2001, *Créer un cadre communautaire pour l'exploitation de l'information émanant du secteur public,* Communication de la Commission au Conseil, au Parlement européen, au Comité Economique et Social et au Comité des Régions, Commission Européenne, Bruxelles, 19 p.

Ehlers M., Greenlee D., Smith T., Star J., 1991, Integration of remote sensing data and GIS: data and data access, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 57, pp. 669-675.

Encyclopaedia Universalis, 1997, Paris.

Ersboll B., Conradsen K., Larsen R., Nielsen A., Nielsen T., 1998, *Fusion of Spot HRV XS and orthophoto using Markov random field*, Proceedings Fusion of earth Data, Sophia-Antipolis, 28-30 janvier 1998, 12 p.

EUROGI, 2000, *Towards a strategy for geographic information in Europe* – A consultation paper, Commission Européenne, Bruxelles, 11 p.

EUROSTAT, 1993, *Télédétection et statistiques urbaines*, Compte-rendu de la réunion de fin de projet : programme télédétection, projet pilote, Paris.

EUROSTAT, 1995, *Projet pilote - Délimitation des agglomérations européennes par télédétection - Résultats et conclusions*, Thème 9, Série D, Luxembourg : Office des publications officielles des Communautés européennes.

Faure J., 2001, *Défense, nucléaire, espace et services communs*, Projet de loi des finances pour 2002 : annexe du procès-verbal du 22 novembre 2001, Commission des affaires étrangères, de la défense et des forces armées, 48 p.

Ferber J., 1995, *Les systèmes multi-agents - vers une intelligence collective*, InterEditions, Paris, 312 p.

FGDC, 1999. Framework Survey, http://www.fgdc.gov/framework/survey_results/readme.html.

Flouzat G., Guichou C., Merghoub Y., Guillemyn D., 1984, Recherche de fonctions texturantes et carto-

graphie automatique de l'occupation des terres, *L'Espace Géographique*, 3, pp. 241-249.

Foody G.M., 1996, Approaches for the production and evaluation of fuzzy land cover classifications from remotely-sensed data, *International Journal of Remote Sensing*, 17, pp. 1317-1340.

Forrest D., 1993, Start-up company plans high-resolution mapping satellites, *GIS World*, 6(10), pp. 55-58.

Forstener W., Gulch E., 1999, Automatic orientation and recognition in highly structured scenes, *International Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54, pp. 23-34.

Forster B.C., 1984, Combining ancillary and spectral data for urban applications, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing,* 14, pp. 2403-2410.

Forster B.C., 1985, An examination of some problems and solutions in monitoring urban areas satellite platforms, *International Journal of Remote Sensing*, 6, 1, pp. 139-151

Frankhauser P., 1994, *La fractalité des structures urbaines*, Anthropos, Paris, 291 p.

Franklin J., 1995, Predictive vegetative mapping: geographic modeling of biospatial patterns in relation to environmental gradients, *Progress in Physical Geography*, 19, 4, pp. 474-499.

Fraser C., Baltsavias E., Grün A., 2002, Processing of Ikonos imagery for submetre 3D positioning and building extraction, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing,* 56, 3, pp. 177-194.

Fraser C., Hanley H.B., Yamakawa T., 2001, *Sub-metre geopositioning with Ikonos GEO imagery*, Proceedings of the Joint ISPRS ., Workshop "High Resolution Mapping from Space 2001", 19-21 September, Hannover, Germany (on CD ROM).

Fricke R., Wolff E., 2002, The MURBANDY Project: development of land use and network databases for the Brussels area (Belgium) using remote sensingand aerial photography, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 4, pp. 33–50

Fritz L.W., 1996, The Era of Commercial Earth Observation Satellites, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 62(1), pp. 39-45.

Fu X., Wang L., 2000, *Linguistic Rule Extraction From a Simplified RBF Neural Network,*Nanyang Technological University, Singapore, Document Fu.ps, 12 p.

Gagnon H., 1974, *La photographie aérienne : son interprétation dans les études de l'environnement et de l'aménagement du territoire*, Les Editions HRW Itée, Montréal, 280 p.

Gagnon P., Bedard Y., Robitaille R., Poulin G., 1990, Le cadre évolutif du domaine de la géomatique, *Actes de la Conférence Canadienne sur les SIG*, Ottawa, 23-25 mars, pp. 50-60.

Galaup M., de Boizesson H., 1997, *User workshop to define the requirements of town/city local government departments,* Final report, CEO RGC9D, 1997, 120 p.

Gamba A., 1990, *La télédétection satellitaire au service d'un observatoire urbain de l'aire métropolitaine de Buenos Aires*, IAURIF, Paris, 26 p.

Gao Y., 2003, *Pixel based and object oriented analysis for coal fire research*, ITC Publication, Enschede, 82 p.

George P., 1970, *Dictionnaire de la géographie*, Presses Universitaires de France, Paris, France, 498 p.

Georget E., 2000, *Annuaire 1999 et 2000 des SIG du METL*, Publication du Centre d'Etudes sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques, 126 p.

Gérard A., 1980, *Géographie urbaine*, Support de cours, Ecole d'Architecture de Strasbourg, 30 p.

Giacento G., Roli F., Bruzzone L., 2000, Combination of neural and statistical algorithms for supervised classifcation of remotely-sensed images*, Pattern Recognition Letters*, 21, pp. 385-397.

Gilliot J.M., 2000, *Introduction aux SIG*, Support de cours, Institut National Agronomique, Paris-Grignon, 61 p.

GINIE, 2001, Data Policy Technical Report, www.ec-gis.org/ginie

Gong P., Howarth, P.J., 1990, An assessment of some factors influencing multispectral land-cover classification, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing,* 56, pp. 597-603.

Gong P., Marceau D.J., Howarth P.J., 1992, A comparison of spatial feature extraction algorithms for land-use classification with SPOT HRV data*, Remote Sensing of Environment*, 40, pp. 137-151.

Gonzalez R.C., Wintz P., 1987, *Digital image processing*, Addison-Wesley, Menlo Park, CA, 414 p.

Goodchild, M. F., Mark, D. M., 1987, The fractal nature of geographic phenomena, *Ann. Assoc. Am. Geogl*, 77, 265 p.

Gray L., Freemantle J., Shepherd P., Miller J.R., Harron J., Hersom, C., 1997, Characterization and calibration of the CASI airborne imaging spectrometer for BOREAS. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 23, 2, pp. 188-195.

Grégoire C., Dondainas N., Raffy M., 1993, *Construction de modèles multispectraux pour milieux hétérogènes à partir de modèles validés sur milieux homogènes : application au LAI*, Deuxième réunion sur les changements d'échelle dans les modèles de l'environnement et de la télédétection, Strasbourg, France, 17-19 mai, pp 5-11.

Groove C.I., Hook S.J., Paylor E.D., 1992, *Laboratory reflectance Spectra of 160 minerals, 0.4 to 2.5 micrometres*, NASA-JPL Publication, Pasadena, 92-2.

Haala, N., Brenner, C., 1999, Extraction of Buildings and Trees in Urban Environments, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54, pp. 130–137.

Halounova L., 1995, Comparison of neural network and maximum likelihood classifications in an urban area, *in* Askne J. (ed.), Sensors and environmental applications of remote sensing, Rotterdam, pp. 463-468.

Han M., Cheng L., Meng H., 2003, Application of four-layer neural network on information extraction, *Neural Networks,* 16, 5-6, pp. 547-553.

Haralick R.M., 1979, Statistical and structural approaches to texture, *Proceeding of the IEEE*, 67, pp. 45-69.

Haralick R.M., 1979, Statistical and structural approaches to texture, *Proceeding of the IEEE*, 67, pp. 45-69, 1979.

Haralick R.M., Saphiro L., 1992, *Computer and Robot Vision*, 1 (Reading Massachusetts: Addison-Wesley), pp. 157–255.

Haralick R.M., Shunmugan K.S., 1974, Combined spectral and spatial processing of ERTS imagery data, *Remote Sensing of Environment*, 3, pp. 3-13.

Harris C.D., Ullman E.L., 1945, The nature of cities, *The Annals of the American Academy of political and social science*, 1945.

Harris P.M., Ventura S.J., 1995, The integration of geographic data with remotely-sensed imagery to improve classification in an urban area, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 61, pp. 993-998.

He D.C., Wang L., Baulu T., Morin D., Bannari A., 1994, Classification spectrale et texturale des données d'images Spot en milieu urbain, *International Journal of Remote Sensing*, 15, pp. 2145-2153.

Henderson-Sellers A., Wilson M., Thomas G., 1985, The effect of spatial resolution on archives of land cover type, *Climatic Change,* 7, pp. 391-399.

Herold M., Gerdner M., Hadley B., Roberts D., 2003, *The spectral dimension in urban land cover mapping from high resolution optical remote sensing data*, *in* Proceedings of 3th International Symposium Remote Sensing of Urban Areas, 11-13 June 2003, Istanbul, Turkey, pp 77-84.

Hill J., Diemer C., Stover O., Udelhoven T., A local correlation approach for the fusion of remote sensing data with different spatial resolutions in forestry applications, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 32*, part 7-4-3 W6, Valladolid, 3-4 June 1999.

Hinton J.C., 1996, GIS and remote sensing for environmental applications, *International Journal of Remote Sensing*, 10, pp. 877-890.

Hofmann P., 2001, *Detecting informal settlements from Ikonos image data using methods of object oriented image analysis – an example from Cape Town* (south Africa), in Jürgens, C. (ed.). Remote Sensing of Urban Areas/ Regensburg Geographische Schriften, Regensburg, pp. 107-118.

Hofmann P., 2001, Detecting urban features from IKONOS data using an object-oriented approach. RSPS Geomatics, Earth Observation and the Information Society.

Hofstee P., Tariel J., 2000, Utilisation des photographies aériennes, des cartes ou plans et d'un SIG lors

de la catastrophe de Enschede (Pays-Bas), *Revue XYZ*, 87, pp. 24-29.

Hougouet, 1998, Approche et méthodes pour l'automatisation de la généralisation cartographique : applications en bord de ville, Thèse de doctorat en Sciences de l'Information Géographique, Université de Marne-la-Vallée, 354 p.

Hoyt H., 1939, *The Structure and Growth of residential Neighborhood in American Cities*, Washington, Federal Housing Administration, 122 p.

Hsu, S.Y., 1978, Texture tone analysis for automated land-use mapping, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing,* 44, pp. 1393-1404.

Hugel H., 2002, Le SIG de la Communauté Urbaine de Strasbourg : utilité et économie du SIG - Premiers résultats, *Génie urbain*, 12 p.

IETI Consultants, 2000, L'observatoire Géomatique : mise à jour 1998 à 2000, www.ieti.fr/1sig_observatoire.htm, 1998 et *2000.*

IETI Consultants, 2002, L'observatoire Géomatique : mise à jour 2000 à 2002, www.ieti.fr/1sig_observatoire.htm, 2000 et 2002.

IGN Magazine, 2001. *Le Référentiel à Grande Echelle*, Numéro Spécial, 6, 12 p.

Janssen L., Van der Wel F., 1994, Accuracy assessment of satellite derived land cover data, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62, 4, pp. 419-426.

Jeansoulin R., 1982, *Les images multi-sources en télédétection, mise en correspondance et analyse des structures géométriques* Thèse de Doctorat d'Etat, Université Paul Sabatier, Toulouse, 224 p.

Jensen J.R., Cowen D.C., 1999, Remote sensing of urban/suburban infrastructure and socio-economic attributes, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 65, pp. 611-622.

Joliveau T., 1995, *De la gestion à l'analyse des villes : un panorama des systèmes d'information géographique urbain*, *in* Télédétection et systèmes d'informations urbains, édité par Dureau F. et Weber C., Anthropos, pp. 29-39.

Jung M., 2001, Contextual modelling and generation of texture observed in single and multi-channel images*, Korean Journal of remote Sensing*, 17, 4, pp. 335-344.

Kartikeyan B., Sarkar A., Majumber K.L., 1998, A segmentation approach to classification of remote sensing imagery*, International Journal of Remote Sensing*, 19, 9, pp. 1695-1709.

Kersten T., Baltsavias E., Schwarz M., Leiss I., 2000*,* IKONOS-2 CarterraTM Geo: Erste geometrische Genauigkeits-untersuchungen in der Schweiz mit hochauflösenden Satellitendate, *Photogrammetrie, Fernerkundung, Kulturtechnik,* 98, 8, pp. 490-497.

Kiema J.B.K., 2000, Texture analysis and data fusion in the extraction of topographic objects from satellite imagery, *International Journal of Remote Sensing*, 23, pp. 767-776.

Kohler R., 1981, A segmentation system based on thresholding, *Computer Graphics and Image Processing*, 15, pp. 319-338.

Kontoes C.C., Raptis V., Lautner M., Oberstadler R., 2000, The potential of kernel classification techniques for land use mapping in urban areas using 5 m spatial resolution IRS 1C imagery, *International Journal of Remote Sensing*, 21, 16, pp. 3145-3151.

Kulkarni A.D., 1998, Neural-Fuzzy models for multispectral image analysis, *Applied intelligence*, 8, pp. 173-187.

Kyonos, 1998, *MODALISA : Traitement d'enquêtes et analyse de données (Manuel utilisateur*), Microsoft Corporation, Paris, 129 p.

Laaribi *A*., Chevalier J.J., Martel J.M., 1993, Méthodologie d'intégration des SIG et de l'analyse multicritère, *Revue Internationale de Géomatique*, 3-4, pp. 415-435.

Lacaze J.P., 1995, *L'Aménagement du territoire*, Edition Flammarion, Dominos, 127 p.

Lacaze J.P., 1997, *Les méthodes de l'urbanisme*, Presses Universitaires de France, Paris, 127 p.

Lake L.A., 1991, *Analyses de méthodes texturales appliquées au traitement des images*, Essai, Département de Géographie et Télédétection, Université de Sherbrooke, 38 p.

Lam N., 1990, Description and measurement of Landsat TM images using fractals, *Photogrammetric Engineering and. Remote Sensing,* 56, pp. 187.

Lam N., Quattrochi D. A., 1992, On the issues of scale, resolution, and fractal analysis in the mapping sciences, *Professionnal Geographer,* 44, pp. 88-96.

Laporterie F., 2003, Revue des méthodes de fusion d'images de télédétection de résolutions spatiales différentes, *Bulletin de la Société Française de Photogrammétrie et de Télédétection*, 169, pp. 7-16.

Laporterie F., Flouzat G., 2002, The morphological pyramid concept as a tool for multi-resolution data fusion in remote sensing, *Integrated Computer-Aided Engineering*, 9, pp. 1-17.

Latry C., 2002, *Fusion panchromatique / multispectrale par transformation ITS*, Atelier Fusion, 16-17 décembre 2002, 12 p.

Latry C., Vadon H., Lefevre M.-J., de Boissezon H., 2003, *SPOT 5 THX : a 2.5 m fused product*, *in* Proceedings of URBAN 2003, Berlin, 22-23 May 2003, pp. 87-89.

Lauer A., 2003, Situation de l'information géographique numérique dans l'Aménagement, les Transports, l'Urbanisme, les Réseaux et l'Environnement, La Lettre de l'Information Géographique, *Signature*, 25, 18 p.

Laurini R., 2001, *Information Systems for Urban Planning*, Taylor & Francis, London, 349 p.

Laurini R., Milleret-Raffort F., 1993, *Les bases de données en géomatique*, Hermès, Paris, 1993, 264 p.

Lavalle, C., 2002, *Monitoring and forecasting the dynamics of European urban areas – the territorial approach as key for urban development strategies*, *In* Proceedings of EURA Conference on Urban and Spatial European Policies: Levels of Territorial Government, Turin, 18-20 April 2002, 12 p.

Le Gleau J.P, Pumain D., Saint-Julien T., 1996, Villes d'Europe : à chaque pays sa définition, *Economie Statistique*, 194-295, 4/5, pp. 9-23.

Lefèvre-Fonollosa M.-J et Cruchant H., 1985, *Uses of principles of color vision in the processing of remote sensing imagery*, in Proceedings of Image Science, Helsinki, Finland.

Lenco M., 1997, *Etude par télédétection des écosystèmes urbains des grandes agglomérations françaises à l'échelle du 1/25 000e*, Dureau, F., Weber, C. (Eds) : Télédétection et Systèmes d'information urbaine, Anthropos, Paris, pp. 241-255

Lengagne G., 1984, *Rapport de la Commission nationale : « l'information géographique »,* La documentation française, 156 p.

Lengagne G., 1999, *Les perspectives d'évolution de l'information géographique et les conséquences pour l'IGN*, Rapport présenté au Premier Ministre, 57 p.

Levy-Leboyer C., 1980, *Traité de psychologie du travail*, Presses Universitaires de France, 85 p.

Lhomme S. (en cours), Élaboration d'une méthode de détection semi-automatique du bâti en milieu urbain à partir d'images à très haute résolution spatiale, Thèse de Doctorat en cours, Université Louis Pasteur, Strasbourg.

Li R., Zhou G., Yang S., Tuell G., Schmidt N., Fowler C., 2000, *A study of the potential attainable geometric accuracy of Ikonos satellite*, *in* Proceedings of the ASPRS Annual Conference, 22-26 May, Washington D.C.

Li X., Strahler A.H., 1992, Geometric-optical bi-directional reflectance modeling of the discrete crown vegetation canopy: effect of crown shape and mutual shadowing, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 30 (2), pp. 276-292.

Lillesand T.M., Kiefer R.W., 1987, *Remote Sensing and Image Interpretation*, 4th edition, Wiley, Chichester, 721 p.

Liu X., Skidmore A.K., Van Oosten H., 2002, Integration of classification methods for improvement of land cover map accuracy*, International Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 56, pp. 257-268.

Livre Blanc sur la Défense, 1994, http://www.resdal.org.ar/Archivo/cndf-abrege.htm.

Livre Blanc, 1998, *L'information géographique française dans la société de l'information*, Rapport CNIG/AFIGEO, 25 p.

Livre Vert, 1998, *L'information émanant du secteur public dans la société de l'information*, France, 50 p.

Livre Vert, 1998, *Livre vert sur l'information émanant du secteur public dans la société de l'information*, Commission Européenne, Bruxelles, 45 p.

Livre Vert, 2003, *Politique Spatiale Européenne,* Commission Européenne, Bruxelles, 36 p.

Lobo A., Moloney K., Chiariello N., 1998, Fine-scale mapping of a grassland from digitized aerial photography: an approach using image segmentation and discriminant analysis, *International Journal of remote Sensing*, 19, 1, pp. 65-84.

Longev P.A. and Mesev V., 2000, *Measuring urban morphology using remotely-sensed imagery*, *in* J.P. Donnay, M.J. Barnsley, P.A. Longley (eds.), Remote Sensing and Urban Analysis, GISDATA 9, Taylor & Francis, London, pp. 161-184.

Lorette A., Descombes X., Zerubia J., 1998, *Extraction des zones urbaines fondées sur une analyse de la texture par modélisation markovienne,* Rapport INRIA, Sophia-Antipolis, 3423, 49 p.

Luman D., 1995, The lake Michigan ozone study : an application of satellite based land use and land cover mapping to large area emissions Inventory analysis, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 61, 8, pp. 1021-1032.

Lummaux J.C., 1999, *L'accès aux données publiques*, Document EUROGI, 4 p.

Lynch K., 1999, *L'image de la cité*, Dunod, Paris, 222 p.

Mace G., 1988, *Guide d'élaboration d'un projet de recherche*, De Boeck Université, 116 p.

Mandelkern D., 1999, *Diffusion des données publiques et révolution numérique*, Rapport de l'Atelier « des moyens nouveaux au service de la diffusion des données publiques », 108 p.

Mao J., Jain A.K., 1992. Texture classification and segmentation using multiresolution simultaneous autoregressive models, *Pattern Recognition*, 25(2), pp. 173-188.

Marceau D.J., Howarth P.J., Gratton D. J., 1994, *Remote sensing and the measurement of geographical entities in a forested environment. 1) The scale and spatial aggregation problem, 2) The optimal spatial resolution. in Remote sensing of environment*, 49, 2, pp 93-117.

Marceau, D.J, Howarth, P.J., Dubois, J.M.M., Gratton, D.J., 1990, Evaluation of the grey-level co-occurrence matrix-method for land cover classification using SPOT imagery, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 28, pp. 513-519.

Mark D. M., Aronson P.B., 1984, Scale-dependent fractal dimensions of topographic surfaces: an empirical investigation, with applications in geomorphology and computer mapping, *Mathematical Geology,* 26, pp. 671-689.

Markham B. L., Townshend J.R.G., 1981, *Land cover classification accuracy as a function of sensor spatial resolution*, *in* Proceedings of the 15th lnternational Symposium on Remote Sensing and the Environment, Annil Airbour, 1075-1082.

Markham B.L., Barker J.L., 1987, Radiometric properties of U.S. processed Landsat MSS data, *Remote Sensing of Environment*, 22, pp. 39-71.

McDonald, R. A., 1995, Opening the Cold War sky to the public: declassifying satellite reconnaissance imagery, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 61(4), pp. 388-390.

Meentemeyer V., Box, 1987, Scale effects in landscape studies, *Ecological Studies,* 64, pp. 15-21.

Meinel G., Hennersdorf J., 2000, *Classification systems of land cover and land use and their challenges for picture processing of remote sensing data-status of international discussion and programs*, *in* Proceedings of Third International Symposium Remote Sensing of Urban Areas, June 11-13, Istanbul, Turkey.

Melka J., Nayman L., 2003, *TIC et productivité : où en est la France* ?, La Lettre du Centre d'Etudes Prospectives et d'Informations Internationales, 220, 4 p.

Merlin P., 1988, *Morphologie urbaine et parcellaire*, Presses Universitaires de Vincennes, 292 p.

Merlin P., Choay F., 1988, *Dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement*, Presses Universitaires Françaises, 723 p.

Mesev V., 1998, The use of census data in urban image classification, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 64, pp. 431-438.

Mesev V., Gorte B., Longley P., 2000, *Modified maximum-likelihood classification algorithms and their application to urban remote sensing*, *in* J.P. Donnay, M.J. Barnsley, P.A. Longley (eds.), Remote Sensing and Urban Analysis, GISDATA 9, Taylor & Francis, London, pp. 71-94.

METL 1996, *Des données localisées aux systèmes d'information géographique : conseils aux services*, Commission de l'informatique et de la bureautique, METL, 50 p.

METL, 1999, *Système d'Information Géographique*, Publication du Ministère de l'Equipement, des Transports et de l'Habitat, Editions de la DGUHC, 233 p.

Meyer C., Apport des données simulées SPOT 5 pour l'évaluation des dégâts de tempête dans la forêt, *Société Française de Photogrammétrie et Télédétection,* 164, pp. 162-171.

Middleton E.M., Chan S.S., Ruskin R.J., Mitchell S.K., 1997, *Optical properties of black spruce and jack pine needles at BOREAS sites in Saskatchewan,* Canada, Canadian Journal of Remote Sensing (Special Issue: BOREAS) 23 (2),108-119.

Miellet P., 1996, *France : an historical perspective on GIS diffusion*, *In:* Masser I., Campbell H., and Craglia M. (eds.), GIS Diffusion, the adoption and use of GIS in local government in Europe, Taylor & Francis, London, pp. 163-182.

Millet A., 1972, Perception, Perception, imagination, mémoire, Manon & Cie, 214 p.

Milton E.J., 1987, Principles of field spectroscopy, *International Journal of Remote Sensing*, 8, pp. 1807-1827.

Milton E.J., Rollin E.M., Emery D.R., 1995, *Advances in field spectroscopy, in* Danson F.M., Plummer S.E. (eds.), Advances in Environmental Remote Sensing, Wiley, Chichester, pp. 9-32.

Minghelli A., Mangolini M., Petit M., Polidori L., 2001, Spatial resolution improvement of Meris images by fusion with TM images, *IEEE Transactions on Geosciences and remote Sensing*, 39, 7, pp. 1533-1536.

Moellering H., Tobler W., 1972, Geographical variances, *Geographical Analysis.*, 4, 35.

Molenaar M., Cheng T., 2000, Fuzzy spatial objects and their dynamics, *International Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 55, pp. 164-175.

Moller-Jensen L., 1990, Knowledge-based classification of an urban area using texture and context information in Landsat YM imagery, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 56, 6, pp. 899-904.

Morain S., 1995, For sale: 1-metre digital data, *GIS World*, 8(5), pp. 74-81.

Moscarola J., 1990, *Enquête et analyse de données*, Paris, Vuibert Gestion., 65 p.

Muller J.P., Kim J.R., Tong L., 2001, *Automated mapping of surface roughness and landuse from simulated and spaceborne 1 m data, in* Baltsavias E., Grün A., Van Gool L., A.A. Balkema (eds.), Automated extraction of man-made objects from aerial images, Lisse, The Netherlands, pp. 369-380.

Muller P.A., *Modélisation objet avec UML*, Eyrolles Paris, 232 p.

Mustière S., 2001, *Apprentissage supervisé pour la généralisation cartographique, Thèse de doctorat ès Informatique*, Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, 246 p.

National Report on Cartography in Belgium, 1999, Proceedings of the 11th General Assembly of International Communication Association, Ottawa, 40 p.

Netzband M., 2002, *Modelling the internal structure of urban areas by remote sensing methods for a more effective urban environmental management*, *in* Proceedings of Third International Symposium Remote Sensing of Urban Area, Istanbul, pp. 206-212.

Niemayer I., Canty M.J., 2001, *Knowledge-based analysis of change images by object-oriented post classification, in* Proceedings of the 2nd Remote Sensing of Urban Area, 22-23 June 2001, 9 p.

Novak Jean-Pierre, 2000, *Méthodes meuronales pour la segmentation d'images de télédétection et l'apprentissage de concepts,* Université Louis Pasteur LSIIT UPRES-A 7005 CNRS/ULP, Strasbourg 2000.

Nunez J., Otazu X., Fors O., Prades A., Pala V., Arbiol R., 1999, Multiresolution-based image fusion with

additive wavelet decomposition, *IEEE transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 37, 3, pp. 1204-1211.

of textured colour images. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 17(10), pp. 939-954.

Openshaw S., 1984, *The Modifiable Areal Unit Problem, CATMOG,* 38, Geobooks, Norwich, England.

Pal C., Swayne D., Brendan F., 2001, The automated extraction of environmentally relevant features from digital imagery using Bayesian multi-resolution analysis*, Advances in Environmental Research*, 5, pp. 435-444.

Panjwani D., Healey G., 1995, Markov random field models for unsupervised segmentation

Pelletier J., Delfante C., 1997, *Villes et urbanisme dans le monde*, Armand Colin, Paris, 238 p.

Pesaresi M., Bianchin A., 2000, Recognizing settlement structure using mathematical morphology and image texture, *in* J.P. Donnay, M.J. Barnsley, P.A. Longley (eds.), Remote Sensing and Urban Analysis, GISDATA 9, Taylor & Francis, London, pp. 55-67.

Pesaresi, M., 2000, *The remotely sensed city: concepts and applications about the analysis of the contemporary built-up environment using advanced space technologies,* Final report of Post Doctoral Fellowship, EC Joint Research Centre, Italy, 64 p.

Pesaresi, M., Bianchin, A., 2000, *Recognizing settlement structure using mathematical morphology and image texture, in* Donnay, J.-P., Barnsley, M.J., Longley, P.A. (eds.), Remote Sensing and Urban Analysis, GISDATA 9, Taylor & Francis, London, pp. 55-67.

Pinon P., 1994, *Lire et composer l'espace public,* Edition Villes et Territoires, Paris, 158 p.

Pira International Ltd, University of East Anglia, and Knowledge Ltd. 2000. *Commercial Exploitation of Europe's Public Sector Information*. Luxembourg: EC DG INFSO, 221 p.

Plouvier C., 2000, *L'IG et les Agences d'urbanisme*, Rapport « confidentiel industrie » réalisé à la demande de l'IGN, 36 p. + annexes 40 p.

Plumb K., Harris, R., Needham, D., 1997, Commercial activities in high resolution imaging from space, *From Space to Database, A Seminar on High Resolution Optical Satellite Missions*, (London, British National Space Centre).

Pornon H, 1990, *Systèmes d'information géographique, des concepts aux réalisations*, Hermès, Paris, 189 p.

Pornon H., 1993, Utilisation et place des SIG dans les systèmes d'information des organisations, *Revue Internationale de Géomatique*, 3, 1-2, pp.65-70.

Pornon H., 1995, *Les SIG : mise en œuvre et applications*, Hermès, Paris, 159 p.

Pornon H., 1998, *Systèmes d'information géographique, Pouvoir et organisations: géomatique et stratégies d'acteurs*, L'Harmattan, Paris, 255 p.

Pornon H., 2002, Le marché français des SIG en 2002 : situation, évolutions et perspectives, *Géomatique Expert*, 15, pp. 27-30.

Pornon H., Bilhaut R., Roche S., 1995, Des SIG dans les communes de moins de 3000 habitants, *Revue Internationale de Géomatique,* Hermès, Paris, 5, 1, pp. 73-82.

Pradines D., 1986, *Improving SPOT images size and multispectral resolution*, SPIE Earth Remote Sensing using Landsat Thematic Mapper and SPOT sensor systems, 660, pp. 98-102.

Prélaz-Droux R., 1995, *Système d'information et gestion du territoire*, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 202 p.

Price J., 1985, Radiometric calibration of satellite sensors in the visible and near-infrared : history and outlook*, Remote Sensing of Environment*, 22, 1, pp. 3-10.

Price J., 1987, Combining Panchromatic and Multispectral Imagery from dual resolution satellite instruments, *Remote Sensing of Environment*, 21, 2, pp. 119-128.

Programme National de Télédétection Spatiale, 2002, *Morphologie urbaine et répartition spatiale des polluants atmosphériques*, Coordinator : C. Weber, Université Louis Pasteur of Strasbourg, France.

Puech C, 1994, Thresholds of homogeneity in targets in the landscape. Relationship with remote sens-

ing. *International Journal of Remote Sensing*, 15, 12, pp. 2421-2435.

Puech C., 2000, *Utilisation de la télédétection et des modèles numériques de terrain pour la connaissance du fonctionnement des hydrosystèmes,* Mémoire de recherches, Habilitation à Diriger des Recherches, INPG Grenoble, 105 p.

Puech C., Doumerc F., Lieutaud A., 1995, Identification d'objets selon l'échelle: apport des outils SIG, *Bulletin de la Société Française de Photogrammétrie et de Télédétection*, 140, pp. 18-19.

Puissant A., Weber C., 2003a, Les images à Très haute Résolution Spatiale : une source d'information géographique en milieu urbain ? État des lieux et perspectives, *L'Espace Géographique*, 4, pp. (sous presse).

Puissant A., Weber C., 2003b, Vers une démarche orientée-objets pour extraire les objets urbains sur des images THR, *Bulletin de la Société Française de Photogrammétrie et Télédétection* (soumis).

Puissant A., Weber C., 2001, *The use of image in Geographical Information Market : results of an inquiry on the needs of end-users in urban studies*, *in* Proceedings of the 7th EC-GI & GIS WORKSHOP, EGII – Managing the Mosaic, , 13-15 June 2001, Potsdam, Germany.

Puissant A., 2000, *Résultats préliminaires de l'enquête sur les besoins des utilisateurs en IG à grande échelle en milieu urbain*, Rapport interne, Laboratoire Image et Ville, Strasbourg, 2000, 20 p.

Puissant A., Hirsch J., Weber C., 2002, *The utility of texture analysis to improve per pixel classification for high spatial resolution imagery*, *in* Proceedings of Third International Symposium Remote Sensing of Urban Areas, June 11-13, Istanbul, Turkey, pp. 175-183.

Puissant A., Hirsch J., Weber C., 2003a, The utility of texture analysis to improve per-pixel classification for high spatial resolution imagery", *International Journal of Remote Sensing* (accepted with correction in 2003), 12 p.

Puissant A., Ranchin T., Weber C., Serradj A., 2003b, *Fusion of Quickbird MS and Pan data for urban studies*, EARSeL Symposium, 2-5 June 2003, Gent, Belgium, 6 p.

Querzola J., Billaut M., 1999, *Mercator 1999 : Guide de l'Information Géographique*, Editions Euro Vista, Paris, 158 p.

Raclot D., Puech C., 1998, Photographies aériennes et inondation, *Revue Internationale de Géomatique*, 8, 1-2, pp.191-206

Rajabifard A., Williamson I. P., Holland P., Johnstone G., 2000, *From Local to Global SDI Initiatives: A Pyramid of Building Blocks*', Proceedings of GSDI 4 Conference, Cape Town, South Africa, 12 p.

Ranchin T., Wald L., 2000, Fusion of high spatial and spectral resolution images: the ARSIS concept and its implementation, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 66, 1, pp. 49-61.

Rapport d'Etude, 2002, *L'évolution du droit de l'espace en France*, Rapport au Ministre délégué de la Recherche et des Nouvelles Technologies, 130 p.

Rase D., Björnsson A., Probert M., Haupt M.F., 2002, *INSPIRE: Reference Data and Metadata*, Position Paper, RDM Working Group, 45 p.

Ravalet S., Panet I., 2001, *Vademecum du chef de projet SIG*, Projet commandité par Grandjean J., Ecole Nationale des Sciences géographiques, 45 p.

Regnauld N., 1998, *Généralisation du bâti : Structure spatiale de type graphe et représentation cartographique*, Thèse de doctorat en Informatique, Université de Provence, 191 p.

Revol H., 2001, *La politique spatiale française : bilan et perspectives*, Rapport de l'Assemblée Nationale, Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques, 215 p.

Ridley H., 1995, Land satellite information in the next decade, *Proceedings of the American Society for Photogrammetry and Remote Sensing Conference*, Vienna, Virginia, Ordnance Survey, unpublished.

Roberts D.A., Gardner M., Church R., Ustin S., Scheer G., Green R.O., 1998, Mapping, chaparral in the Santa Monica Mountains using multiple endmember spectral mixture models, *Remote Sensing of Environment*, 65, pp. 267-279.

Robin M., 1995, *La télédétection*, Nathan, Paris, 318 p.

Roche S., 1995, La géomatique et le géomètre-Expert, *Revue de l'Ordre des Géomètres-Experts Français*, 12,

pp. 54-59.

Roche S., 1997, *Enjeux de l'appropriation sociale des technologies de l'information géographique pour l'aménagement territorial,* Thèse de Doctorat, Université d'Angers, 362 p.

Roche S., 2000, *Les enjeux sociaux de Systèmes d'Information Géographique. Les cas de la France et du Québec*, Paris, Harmattan, 158 p.

Roche S., Caron C., Bédard Y., 1996, Vers une approche plus complète du rôle de la géomatique dans les organisations, *Revue Internationale de Géomatique*,. 6(1), pp. 73-92.

Rochon G., 1999, *Réflexion sur la diffusion des DRS au Québec*, Rapport d'étude Softmap Inc., Québec, Canada, 44 p.

Rosema A., Verhoef W., Noorbergen H., Borgesius, J., 1992, A new light interaction model in support of forest monitoring, *Remote Sensing of Environment*, 42, pp. 23-41.

Rossi A., 1981, *L'architecture de la ville*, L'Equerre, Paris, 250 p.

Rouet P., 1991, *Les données dans les systèmes d'information géographique*, Hermès, Paris, 271 p.

Rouquette M.L., Guimelli C., 1979, *Méthodologie expérimentale des Sciences Humaines*, Nathan Information, Université Psychologie, Sociologie, 144 p.

Rousseau D., Vauzelles R., 1995, *L'aménagement urbain*, Presses Universitaires de France, Paris, 126 p.

Ruas A, 1999, Modèle de généralisation de données urbaines à base de contraintes et d'autonomie, *Cybergeo*, 107, 10 p.

Ruas A., 1999, *Modèle de généralisation de données géographiques à base de contraintes et d'autonomie*, Thèse de Doctorat, Université de Marne-la-Vallée, 226 p.

Rumelhart D., Hilton G., Williams R., 1986, Parallel Distributed Processing : Explorations in the Microstructure of Cognition*, MIT Press*.

Sadler G.J., Barnsley M.J. & Barr S.L., 1991, *Information extraction from remotely-sensed images for urban land analysis, in* Proceeding of the 2nd European Conference on Geographical Information Systems (EGIS'91), Brussels, Belgium, April, EGIS Foundation, Utrecht, pp. 955-964.

Salgé F., 2001, *Projet d'arrêté sur les CDIG*, 31ème réunion plénière du CNIG, http://www.cnig.gouv.fr/cnigv2/commission/plenierMai2001/arrete_CDIG.htm.

Sali E., Wolfson H., 1992, Texture Classification in Aerial Photographs and Satellite Data, *International Journal on Remote Sensing,* 13(18),. 3395-3408p.

Schiewe J., Tufte L., Ehlers M., 2001, Potential and problems of multi-scale segmentation methods in remote sensing*, GeoBIT/GIS*, 6, pp. 34-39.

Schiewe J., Tufte L., Ehlers M., 2001, Potential and problems of multi-scale segmentation methods in *remote sensing, i*n: GIS. Heft 6. Heidelberg.

Schmidt K.S., Bakker W., Bijker W., 2002, *New environmental remote sensing systems, in* Skidmore A. (eds.), Environmental Modelling with GIS and Remote Sensing, Taylor & Francis, London, pp.26-51.

Schwartzenberg, R.-G., 2001, La France et la politique spatiale commune, Ministre de la Recherche, Assemblée Nationale, www.recherche.gouv.fr/discours/2001/despace.htm, 6 p.

Sellers P.J., Schimel D., 1993, *Remote sensing of the land biosphere and biogeochemistry in the EOS era: science priorities, methods and implementation,* Global and Planetary Change 7, pp. 279-297.

Serendero M.A., Berthod M., 1987, Extraction des réseaux fins par suivi directionnel de lignes de crêtes et de vallées, SPOT 1*, Utilisation des Images, bilans, résultats*, Toulouse, Cepaduès-Editions, pp. 1403-1413.

Serpico S.B., Bruzzone L., Roli F., 1996, An experimental comparison of neural and statistical non-parametric algorithms for supervised classification of remote sensing images, *Pattern Recognition Letters,* 17, pp. 1331-1341.

Serra J., 1994, *Mathematical morphology and its application to signal processing, in* Soille P. (ed.), Computational imaging and vision, Kluwer, Dordrecht, 383 p.

Serradj A., Weber C., Hirsch J., 1991, *Cartographie d'une forêt spécifique : la forêt alluviale de la Robertsau, in*

Quatrième Journées de Télédétection de l'AUPELF, Montréal, 8 p.

Sharma K.M.S., Sarkar A., 1998, *A Modified Contextual Classification Technique for Remote Sensing Data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing,* 64, pp. 997-1005.

Skidmore A., Watford F., Luckananurug P., Ryan P., 1996, An oprational GIS expert system for mapping forest soils, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62, 5, pp. 501-511.

Smits P., 2002, INSPIRE : *Architecture And Standards Working Group,* Report by Joint Research Center, 64 p.

Smits P.C., Annoni A., 1999, Towards operational knowledge-based remote sensing image analysis, *Pattern Recognition Letters*, 20, pp. 1415-1422.

Smits P.C., Annoni A., 1999, Updating land cover maps by using texture information from very high resolution space borne imagery, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 37, 3, pp.1244 – 1254.

Stehman S., 1996, Estimating the Kappa coefficient and its variance under stratified Random sampling, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62, 4, pp. 401-402.

Steinberg G., 1998, *Dual use aspects of commercial high resolution imaging satellites*, Mideast Security and Policy Studies, 37, 25 p.

Steinberg G., 1998, Dual use aspects of commercial high resolution imaging satellites, *Mideast Security and Policy Studies*, 37, 21 p.

Stübben J., 1980, *Der Städtebau*, Darmstat, 561 p.

Sureau K., Roche S., Caron C., 2001, *Résultats de l'enquête sur les utilisateurs et les utilisations des SIG,* Mémoire de Maîtrise, Mémoire de maîtrise, Université d'Angers, 125 p.

Syndicat Professionnel de la Géomatique, 2000, *Contribution du SPDG aux débats ouverts par le PAGSI et le livre blanc du CNIG/AFIGEO* , 20 p.

Ted Alitec & Siage, 1997, *Utilisation de l'information géographique dans les procédures de planification territoriale,* Rapport d'Etude, AFIGéO, Paris, 118 p.

Teillet P.M., 1995, *The role of surface observations in support of remote sensing, in* Ledrew *E.F.*, Strome M., Hegyi F. (eds.), The Canadian Remote Sensing Contribution to Undersdtanding Global Change, Department of Geography Publication Series, 38, University of Waterloo, Canada, pp. 333-352.

Tellez B., Servigne S., 1998, Cadastre et photos aériennes : de la structuration à la comparaison, *Revue Internationale de Géomatique*, 8, 3, pp. 61-73.

Temesgen, B., Mohammed, M.U., Korme, T., 2001, Natural hazard assessment using GIS and remote sensing methods, with particular reference to the landslides in the Wondogenet area, Ethiopia, *Physics and Chemistry of the Earth*, 26, 9, pp. 665-675.

Terretaz P., 1998, *Délimitation des agglomérations et segmentation urbaine à l'aide d'images satellitales Spot HRV,* Thèse de Doctorat , Université de Fribourg, Suisse, 304 p.

Terretaz P., Collet C., 1997, *Différenciation des tissus résidentiels à l'aide de l'indice PVI, de la morphologie mathématique et du filtrage contextuel : exemple de Genève (Suisse), in* Télédétection des milieux urbains et périurbains, AUPELF-UREF, Montréal, pp. 123-132

Thériault M., 1992, *Les systèmes d'information géographique, entre le mythe et l'utopie*, Actes des journées d'études SIG et Gestion des sols – potentialités et limites d'application, Institut d'Aménagement des Terres et des Eaux (IATE) et Société Suisse de Pédologie (SSP), EPFL, Suisse, 15 p.

Thériault M., 1994, *Systèmes d'information géographique – Concepts fondamentaux*, Support de Cours, Département de Géographie, Université Laval, Québec.

Thériault M., 2001, *Les SIG en géographie: outil de démocratisation ou instrument élitiste? in* Laurin S., Klein J.L., Tardif C. (Eds), Géographie et Société, Presses de l'Université du Québec, Sainte-Foy, pp. 93-108.

Thines G., Lempereur A., 1984, *Dictionnaire général des sciences humaines*, Louvain-La-Neuve, Belgique, 1031p.

Thrun S., 1993, *Extracting Provably Correct Rules from Artificial Neural Networks,* University of Bonn ,

Dept. Of Computer Sciences, Adresse INTERNET : http://www.informatik.uni-bonn.de/III/forschung/publicationen document IAI-TR-93-5.ps, 14 p.

Tonye E., Akono A., Ndi Nyoungui A., Assako Assako R. J., 2000, *Extraction du réseau routier sur une image RSO de ERS-2 et sur une image HRV (XS) de SPOT par analyse de texture et morphologie mathématique : application à la ville de Yaoundé (Cameroun), in* Dubois, J.-M M., Caloz, R. et Gagnon, P. (éd.), La télédétection en francophonie : analyse critique et perspectives, Série Actualité scientifique, Agence Universitaire de la Francophonie, Montréal, p. 95-103.

Toutin T., 1995, *Intégration de données multisources :comparaison des méthodes géométriques et radiométriques, International Journal of Remote Sensing*, 16, 15, pp. 2795-2811.

Toutin T., 2001, *Geometric processing of Ikonos GEO images with DEM*, Proceedings of the joint ISPRS Workshop "High Resolution Mapping from Space, 19-21 September 2001, Hannover, Germany (CD ROM).

Toutin T., Cheng P., 2000, *Demystification of IKONOS, Earth Observation Magazine*, 9, 7, pp. 17-21. http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/eduref/ref/bibpdf/4807.pdf.

Townshend J.R.G., 1981, The spatial resolving power of Earth resources satellites, *Progress in Physical Geography*, 5, pp. 32-55.

Townshend J.R.G., 1992, Land Cover, *International Journal of Remote Sensing*, 13, pp. 1319-1328.

Troispoux G., 2002, *Évaluation de la BD TOPO®*, Rapport d'étude, Centre d'études sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les Constructions Publiques, Paris, 97 p.

Troispoux G., Coudercy L., 2001, *Echelle et données numériques*, Dossier du Centre d'études sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les Constructions Publiques, Paris, 12p.

URBANDATA, 1999, *SIG Systèmes d'Information Géographique : les utilisations nouvelles de l'information géographique numérique en urbanisme,* Actes des Rencontres des 17 et 18 juin 1999, Paris, MELT-Urbandata, 35 p.

Urbatique, 1999, *Le référentiel adresse, états des lieux et perspective*, Rapport d'Etude, Urbatique-AFIGéO, Paris, 67 p.

USGS Digital Spectral Library (AVIRIS).

Valorge C., 2002, *Imagerie haute résolution*, Journées techniques : THR, CETEL 2002-2003, 40p.

Van der Haegen M., 2001, Environmental European Spatial Data Infrastructure, *in* Proceedings of the *7th EC-GI & GIS Workshop*, EGII – Managing the Mosaic, 13-15 June 2001, Potsdam, Germany, 10 p.

Van der Meer F., 2002, *Physical principles of optical remote sensing, in* Spatial Statistics for Remote Sensing, Kluwer Academic Publisher, The Netherlands, pp. 27-40.

Van der Meer F., de Jong S., 2001, *Imaging spectrometry: basic principles and prospective applications*, Kluwer Academic Press, 425 p.

Van der Meer F., Schmidt K.S, Bakker W., Bijker W., 2002, *New environmental remote sensing systems*, *in* Skidmore A. (ed.), Environmental Modelling with GIS and Remote-Sensing, Taylor & Francis, London, pp. 26-51.

Van Westen, C.J., 2002, *Remote sensing and geographic information systems for natural disaster management*. *in* Skidmore A. (ed.), Environmental Modelling with GIS and Remote-Sensing, Taylor & Francis, New York, pp. 200-226.

Vers une politique européenne de l'espace, 2001, Communication de la Commission au Conseil et au Parlement Européen, Commission Européenne, Bruxelles, 34 p.

Voiron C., 1995, *Analyse spatiale et analyse d'images*, GIP Reclus, Montpellier, 120 p.

Voiron C., 1995, *Morphologie mathématique*, Reclus, Montpellier, 1995, 192 pp.

Vulliamy E., 1997, US firms plan to launch PI in the sky, *The Guardian*, February 12, p. 13.

Wald L., 1998, *A* European proposal for terms of reference in data fusion, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, XXXII, 7, pp. 651-654.

Wald L., Ranchin T., 2001, *Data fusion for a better knowledge of urban areas, in* Proceedings of the

IEEE/ISPRS joint Workshop on Remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas, Roma, Italy, November, 8-9th 2001, pp. 127-132.

Wald L., Ranchin T., Mangolini M., 1997, Fusion of satellite images of different spatial resolutions: assessing the quality of resulting images, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 63, 6, pp. 691-699.

Wang F., 1992, A knowledge-based vision system for detecting land changes at urban fringes, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 63, pp. 691-699.

Warthon S.W., 1982, A context-based landuse classification algorithm for high resolution remotely sensed data, *Journal of Applied Photographic Engineering*, 8, pp. 46-50.

Weber C., 1993, *Traitement de l'information satellitaires et modélisation urbaine : contraintes de discrimination et reproductivité*, Technical Paper PNTS, Institut de Géographie, Université Louis Pasteur, Strasbourg, 25 p.

Weber C., 1995, *De la banque de données urbaines au système d'information géographique urbain en France, in* Télédétection et systèmes d'informations urbains, édité par Dureau F. et Weber C., Anthropos, Paris, pp. 15-27.

Weber C., 1995, *De la banque de données urbaines au système d'information géographique urbain en France*, *in* Télédétection et systèmes d'informations urbains, Anthropos, Paris, pp. 15-27.

Weber C., 1995, *Des chiffres et des images, in* Dureau F., Weber C. (eds.), Télédétection et systèmes d'Information Urbains, Anthropos, Paris, pp 295-307.

Weber C., 1997, *Système urbain et information multisource, Habilitation à diriger des recherches*, Université Louis Pasteur, Strasbourg, 147 p. + annexes.

Weber C., 2000, Remote sensing data used for urban agglomeration delimitation*, in* J.P. Donnay, M.J. Barnsley, P.A. Longley (eds.), Remote Sensing and Urban Analysis, GISDATA 9, Taylor & Francis, London, pp. 155-172.

Weber C., Hirsch J., 2000, Processus de croissance et limites urbaines, *Cybergéo*, 158, 10 p.

Weber C., Puissant A., Brun E., Brichtler C., 2002, *Urban green spaces : modern heritage,* Conference Space Applications for Heritage Conservation, 5-8 November, Strasbourg, France, 8 p.

Weber C., Ranchin T., Puissant A., Serradj A., 2003, Extraction of urban features in Strasbourg, France : Comparison of two fusion algorithms for Quickbird MS and Pan data, *2nd Joint Workshop on remote sensing and data Fusion over Urban Areas (URBAN2003)*, 22-23 May 2003, Berlin, Germany, pp. 206-210.

Welch R. Ehlers M., 1987, *Merging multiresolution SPOT HRV and Landsat TM data*, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 53, 3, pp. 301-303.

Welch R., 1982, Spatial resolution requirements for urban studies, *International Journal of Remote Sensing*, 3(2), pp. 139-146.

Welch R., 1982, Spatial resolution requirements for urban studies, *International Journal of Remote Sensing*, 3, pp.139-146.

Weszka J.S., Dyer C., Rosenfeld A., 1976, A Comparative Study of Texture Measures for Terrain Classification. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, SMC-6, 4, pp. 269-285.

Wharton S.W., 1987, A spectral knowledge-based approach for urban land cover discrimination, *IEEE Transactions on Geoscience and remote Sensing*, 25, pp. 272-282.

Wilmet J., 1996, *Télédétection aérospatiale : méthodes et applications*, Sidès, Bruxelles, 300 p.

Wilson J. D., 1995, CAD trends foreshadow future for geotechnologies: the warning for geotechnology vendors at all levels is clear: reinvent yourself, keep pace with a changing market or risk extinction, *Earth Observation Magazine*, 4, 12, pp. 18-20.

Woodcock C. E. and Strahler A. H., 1987, The factor of scale in remote sensing, *Remote Sensing of Environment*, 21, 312 p.

Xia L., 1996, A method to improve classification with shape information, *International Journal of Remote Sensing*, 17, 8, pp. 1476-1481.

Yésou H., *Apport des données simulées SPOT 5 pour la gestion du risque inondation*, Bulletin de l'IGN, 164, pp. 151–161

Yésou H., Besnus Y., Rolet J., 1994, Perception of a geological body using multisources remotely sensed data - relative influence of the spectral content and of the spatial resolution, *International Journal of Remote Sensing*, 15, 12, pp.2495-2510.

Yésou H., Chastenet P., De Fraipont P., Dossman P., Stock N., Bequignon J., *2001, Mapping floods in France,* Backscatter, 12(3), pp. 23-26.

Yésou H., Meyer C., Clandillon S., De Fraipont P., 2001, *Apport des données simulées SPOT 5 pour la gestion des risques d'inondation,* Rapport Sertit, CNES édition, 14 p.

Zhan Q., Molenaar M., Tempfli K., 2002, *Hierarchical image object-based structural analysis toward urban land use classification using high-resolution imagery and airborne Lidar data, in* Proceedings of Third International Symposium Remote Sensing of Urban Area, Istanbul, pp. 251-258.

Zhang Y.J., 1996, A survey on evaluation methods for image segmentation, *Pattern recognition*, 29, 8, pp. 1335-1346.

Zhang Y.J., 1999, Optimisation of building detection in satellite images by combining multispectral classification and texture filtering, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 54, pp. 50-60.

Zhang Y.J., 2001, Detection of urban housing development by fusing multisensor satellite data and performing spatial feature post-classification, *International Journal of Remote Sensing*, 22, 17, pp. 3339-3355.

Zhang Y.J., Foody G.M., 1998, A fuzzy classification of sub-urban land cover from remotely-sensed imagery, *International Journal of remote Sensing*, 19, pp. 2721-2738.

Zhukov B., Oertel D. Lanzl F., 1998, *Unmixing of fusion of multi- resolution images with applications to TM/Landsat and simulated ASTER data*, Fusion of Earth Data, Sophia-Antipolis, pp. 91-96.

Sources internet :

http://ceo.gelos.org/free/TWG/MI_definitions.html

http://ceos.cnes.fr:8100/cdrom-00b2/ceos1/science/gdta/fr/a2fr/33.htm

http://emedia.free.fer/helios.htm

http://emma.la.asu.edu/speclib/index.html

http://speclab.cr.usgs.gov/spectral.lib04/spectral-lib04.html

http://speclib.jpl.nasa.gov/

http://www.agi.org.uk/pages/NGDF/citui.htm

http://www.agi.org.uk/pages/pages/freepubs/pitsup4c.pdf

http://www.defense.gouv.fr/actualites/dossier/d38/index.htm

http://www.generale-infographie.fr

http://www.gouvernement.lu/salle_presse/actualite/2002/006/03hennicotesa/esa.pdf

http://www.monde-diplomatique.fr/cahier/europe/defenseur

http://www.satmag.com/affichage_theme.php?no_theme=125

http://www.sigale.nordpasdecalais.fr/

http://www.transfert.net

http://www2.echo.lu/gi/en/gi2000/egii.html

http://www.cnig.fr

http://www.mont-blanc-leman.org/oml/dossiers/institutions/adm-territoriale-fr.html

http://www2.dgcl.interieur.gouv.fr/interco/cadrebase.htm

http://www.equipement.gouv.fr/ministeres/strustures/servicesdeconcentres.htm

ANNEXES



ANNEXE 2.1 - RELEVÉ DE DÉCISION GOUVERNEMENTAL - 19 FÉVRIER 2001 : LES ORIENTATIONS DU RÉFÉRENTIEL À GRANDE ÉCHELLE (RGE)

Pour la **composante topographique**, avec les caractéristiques de la BD TOPO® Standard, l'ensemble du pays n'aurait pu être couvert avant 2017. Les feuilles de la BD TOPO® Standard déjà établies seront, à l'occasion de leur mise à jour, transformées en version BD TOPO® Pays, dans les zones rurales ou peu urbanisée et en version dite BD TOPO® Agglo, dans les zones agglomérées (10% du territoire accueillant 35 millions d'habitants). Dans le cœur des agglomérations (environ 2% du territoire), une composante topographique du RGE de grande précision (bords de trottoir à 5 cm de précision et autres objets topographiques à 25-30 cm de précision) sera établie, en étroite association avec les collectivités locales concernées qui possèdent déjà très souvent des SIG de qualité. L'état actuel de la couverture est présenté à la Figure 2.1.1a.

Pour la **composante image**, une couverture orthophotographique[1] couleur de précision métrique et de résolution de 50 cm devra couvrir l'ensemble du territoire en 2005, en respectant les limites départementales. En 1999, six départements ont été couverts par une orthophotographie couleur ; vingt l'ont été en 2000 (dont les huit départements de l'Ile de France qui disposent de la BD ORTHO® Standard), et vingt-trois ont suivi en 2001 (au total de 49 départements fin 2001). Les années suivantes, le programme devra se poursuivre au rythme de vingt par an. L'état de la couverture au 1er janvier 2003, est présenté par départements à la Figure 2.1.1b.
Dans les zones rurales, l'orthophotographie pourra être livrée en noir et blanc, à la résolution de 1 m. Dans les zones agglomérées (10% du territoire, accueillant 35 millions d'habitants), des orthophotographies couleur de résolution 25 cm et de précision 50 cm, dites BD ORTHO® Agglo sont prévues ; et dans les zones urbaines denses (environ 2% du territoire) seront réalisées des orthophotographies de haute précision dites BD ORTHO® Urbi (12.5 cm de résolution et 25 cm de précision). Ces deux dernières seront réalisées en coédition (50% - 50%), soit avec les collectivités locales, soit avec des sociétés privées.

Le processus de réalisation de la **composante parcellaire** du RGE conduit par l'IGN, se fera en étroite collaboration avec la DGI. La DGI fournira les données cadastrales numérisées, au rythme d'une actualisation annuelle. Actuellement, des conventions de numérisation du cadastre sont engagées dans beaucoup de départements. Les pourcentages de superficies par départements sont présentés à la Figure 2.1.1c. L'IGN réalisera la composante parcellaire en attachant les données du système national de coordonnées, réalisant la meilleure continuité possible entre ces données, assurant la cohérence des données avec les composantes TOPO et ORTHO (mise en géométrie), et enfin, en intégrant (automatiquement) les informations de mises à jour fournies par la DGI (parcellaire et bâti). Il est important de noter que le bâti provenant du cadastre ne fera pas double emploi avec celui établi par l'IGN qui comporte les informations de hauteur que ne possède pas le bâti cadastral.

Pour la constitution de la **BD Adresse**, un accord est en préparation entre l'IGN et la Poste pour intégrer dans le référentiel BD Géoroute® (et ultérieurement dans la composante topographique BD TOPO du RGE, le fichier Adresse de la poste. L'élaboration de la BD Géoroute® s'achève dans toutes les agglomérations de plus de 10 000 habitants (3250 communes accueillant 35 millions d'habitants). Elle contient déjà les adresses postales de tous les carrefours. Il faudra la compléter par les adresses entre les carrefours en rattachant ces données aux localisant de parcelles de la

[1] Une orthophotographie (ou orthophoto) est une photographie aérienne scannée pour obtenir un produit numérique, géométriquement corrigée et géoréférencée.

BD Parcellaire, localisant des points d'entrée dans les parcelles et points de projection sur l'axe géométrique des voies.

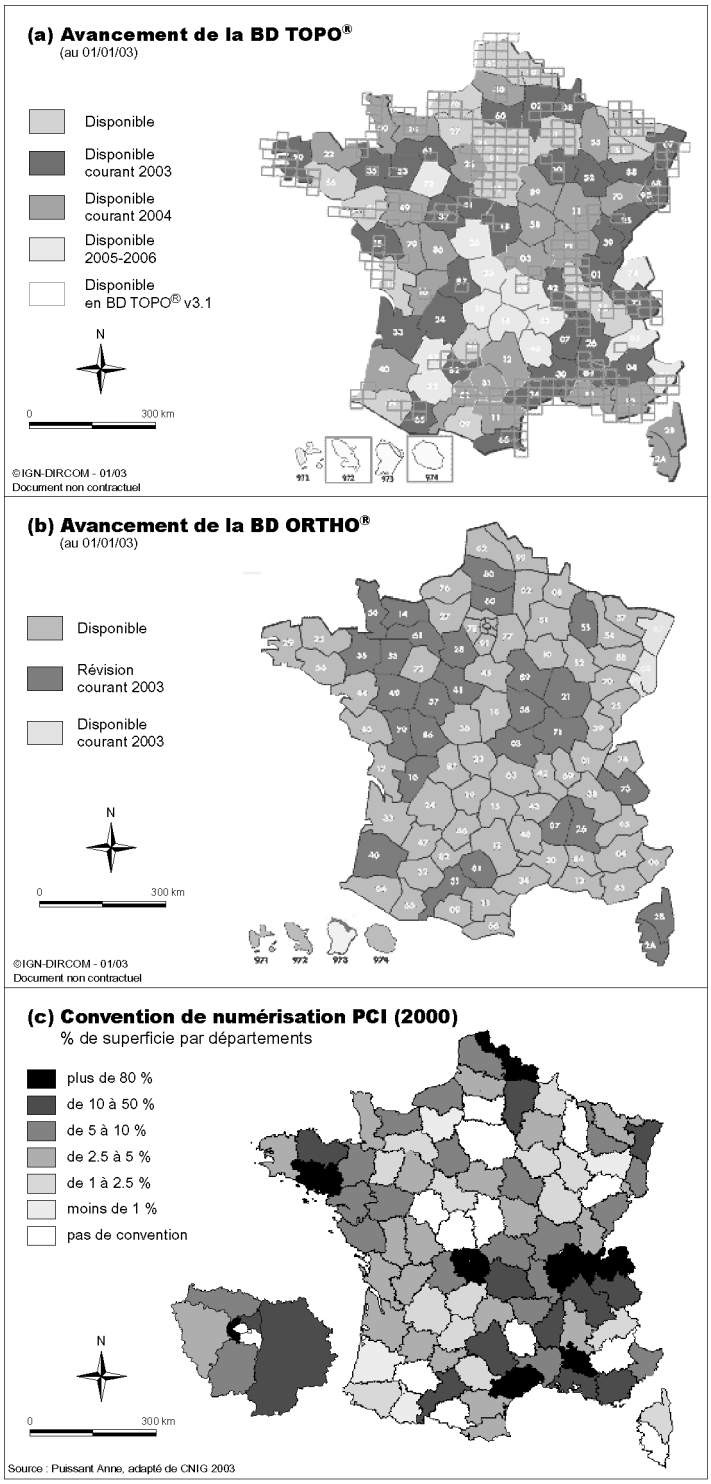


Figure 2.1.1 - Etat d'avancement des différentes composantes du RGE : (a) topographique, (b) image et (c) parcellaire.

ANNEXE 2.2 - DONNÉES DE BASE GÉRÉÉS AU CANADA

Les données gérées au niveau fédéral, à de petites échelles, sur l'ensemble du territoire , et les données provinciales , à de plus grandes échelles sont constituées de :

- la **Base Nationale de Données Géodésiques** (NGDB) : au niveau **fédéral**, les points géodésiques sont disponibles sur des cartes topographiques dont l'échelle varie selon la densité des points à représenter. Les points planimétriques sont disponibles au 1/50 000e, au 1/20 000e et au 1/10 000e en milieu urbain et les points altimétriques au 1/50 000e, sauf dans les secteurs où ces points sont très denses et où le recours à l'échelle 1/20 000e ou 1/10 000e est parfois indiqué. Au niveau **provincial**, par exemple pour la province de Québec, des données GPS (réseaux de stations du service de la géodésie du Québec) sont aussi accessibles via Internet, sur la base d'un abonnement géré par la Photocartotèque Québécoise. Ce Système de Gestion des Données Géodésiques du Québec (GEODEQ) compte 5 stations de référence (positionnement en temps réel). Dans le cadre de l'IQIGR 4 nouvelles stations seront installées ;
- la **Base Nationale de Données Topographiques** (BNDT), est au niveau **fédéral**, la plus grande échelle à couvrir l'ensemble du territoire canadien (1/50 000e au 1/250 000e). Au niveau **provincial**, la Base de Données Topographique du Québec (BDTQ) est aussi la plus grande échelle disponible sur toute la province (1/20 000e), avec plus de 100 objets géographiques, répertoriés en classes thématiques. Ces cartes comprennent les thèmes habituels d'une carte topographique : l'hydrographie, l'hypsographie (courbes de niveau), la végétation, le réseau routier, les chemins, le réseau ferroviaire, … ;
- La **Base de Données Toponymiques du Canada** (BDTC) est gérée uniquement au niveau fédéral. Elle renferme actuellement plus de 500 000 entrées toponymiques. La désignation des entités géographiques du Canada relève de la compétence de chaque province et territoire, sauf lorsque les entités se trouvent sur des terres fédérales, comme les réserves indiennes et les parcs nationaux. Les coordonnées géographiques sont tirées d'une carte du Système National de Référence Cartographique au 1/50 000e. Comme les utilisateurs réclament des coordonnées de plus en plus précises, notamment pour les besoins des SIG, des améliorations sont actuellement apportées ;
- la **Banque de Données des Levés Aériens** (BDLA) contient environ 250 000 photos aériennes et diapositives, couvrant près de 60% du territoire canadien (niveau **fédéral**). Des mosaïques d'orthophotographies numériques, d'imagettes de contrôle, de modèle d'élévation numérique (pas de 25 m) et de scènes en perspectives sont également proposés. Divers projets, en cours de développement ou déjà actif, permettent d'accéder gratuitement à plusieurs types d'images satellites en pleine résolution (site Geogratis, à l'initiative du Centre Canadien de Télédétection). D'autres types de données sont aussi disponibles gratuitement : cartes des écosystèmes canadiens, inventaire forestier, cartes vectorielles de l'atlas national, circonscriptions électorales, mosaïques des Grands Lacs, …

L'image est aussi gérée au niveau **provincial**, au Québec :

- des **photographies aériennes** sont disponibles en IR, au 1/15 000e et au 1/50 000e essentiellement sur les secteurs forestiers, et en N/B aux échelles du 1/5000e pour les secteurs urbains et aux échelles du 1/15 000e et 1/40 000e (sur le territoire méridional en entier) ;
- la **Base de Données Satellitaires du Québec** (BDSQ) comprend plus de 250 images du Québec acquises depuis 1989 (Landsat MSS, TM, SPOT, ….), sous diverses formes (scène complète, sous-scène géocodée, ...) Une mosaïque du territoire à l'échelle du 1/3 000 000e existe à une résolution de 1 kilomètre. Des spatiocartes, compatibles avec d'autres types de données géoréférencées utilisées dans les SIG, à l'échelle du 1/250 000e sont réalisées sur demande, à partir des données du satellite Landsat TM. A partir d'avril 2001, le MRN par l'intermédiaire

de l'IQIGR, met à disposition la spatiocarte du Québec (130 fichiers images géoréférencés). Un modèle numérique de terrain, produits à partir des courbes de niveau de la BDTQ au 1/20 000e et d'une image Landsat TM est disponible sur la ville de Québec et ses environs.

Les données gérées, uniquement au **niveau provincial** sont, par exemple par la province de Québec :

(1) Les **découpages administratifs**, dont plusieurs bases sont disponibles à différentes échelles :

- le Système sur les Découpages Administratifs (SDA) est disponible au **1/20 000e**, sur l'ensemble du territoire québécois (depuis 2000). Il présente une synthèse, mise à jour trois fois par année, des limites administratives suivantes : frontières, limites des régions administratives, municipalités régionales de comté et territoires équivalents, municipalités, territoires non organisés (TNO) et territoires autochtones. Dans le cadre de l'IQIGR, il est prévu d'enrichir la base par un ensemble de nouveaux découpages et des composantes socio-économique ;
- la Base de Données Topographiques et Administratives (BDTA) à l'échelle du 1/250 000e, sur l'ensemble de la province (une version généralisée de SDA, à l'échelle 1/250 000, est intégrée à la BDTA) ;
- la Base de données géographiques et administratives (BDGA), à l'échelle 1/1 000 000e, disponible sur la partie méridionale de la province. Elle provient de la généralisation de la BDTA à l'échelle 1/250 000e. La dénomination et la codification de chacune des entités administratives permettent l'association de données socio-économiques régionales ou municipales, afin de produire des cartes de répartition statistique.

(2) Les **données de référence liées à l'adresse postale** : des réflexions sont en cours, au sein du groupe "Adresses et codes postaux", mandaté par la Plan Géomatique du Gouvernement du Québec, pour mettre en place une « géobase adresse » de qualité sur l'ensemble du territoire québécois (GéoInfo, 1999). En effet, actuellement, les municipalités de 5000 habitants et moins (20 % de la population du Québec) demeure absentes des géobases de rues avec tranches d'adresse. Celles-ci ont été constituées par divers organismes fédéraux, régionaux, locaux ou par des entreprises du secteur privé, mais toujours avec des couvertures partielles qui correspondent aux priorités des utilisateurs ou aux demandes du marché, dans le cas du secteur privé. Leur situation est identique à la France.

(3) Les **données cadastrales**, gérées au niveau provincial, sont mises à jour par les municipalités. Depuis la rénovation cadastrale, les données numériques sont disponibles au 1/500e en zones urbaines et 1/1000e en zones rurale. Ces données ne sont pas très fiables en zones urbaines (enquête ville de Québec, 2001).

D'autres bases de données plus techniques, à plus grande échelle, sont disponibles telles que des cartes du risque d'inondation, élaborées dans le cadre d'une entente avec le Ministère de l'Environnement, aux échelles 1/5000e et 1/2000e, avec certains secteurs couverts à plus grande échelle (1/1000e).

ANNEXE 2.3 - DONNÉES DE BASE GÉRÉES AUX ETATS-UNIS

Le **National Digital Geospatial Framework** comprend des données, des procédures, et des technologies et vise sept catégories de données regroupées en thèmes, dont le contrôle géodésique, les orthoimages, les limites administratives, l'information cadastrale, qui correspondent à une partie des données de base en Europe, mais aussi l'altimétrie, les réseaux de transport, et l'hydrographie[2]. Enfin, il comprend une politique d'accès d'une très grande importance, pour tout le succès de ce programme, avec des **données gratuites** (seuls les coûts d'accès peuvent être facturés au client) et une **libre reproduction** des données du domaines publics. Cette politique d'ouverture va encore beaucoup plus loin, car elle établit clairement que les conditions d'accès doivent être telles que les données puissent être accessibles réellement par les demandeurs.

Le serveur de l'USGS (**USGS Geospatial Data Clearinghouse)** permet aux utilisateurs, par l'intermédiaire du **Global Land Information System,** d'accéder aux catalogues de données géographiques de base dans les domaines de la cartographie et de l'observation de la terre. Les thémes disponibles sont : le climat, la géologie, l'hydrologie, la hauteur, l'occupation du sol, la cartographie, les photographies aériennes, les images satellites. Ainsi :

(1) Les **données cartographiques** rassemblent des données de base suivantes :

- des **cartes topographiques** à différentes échelles au 1/24 000e (et 1/25 000e) pour la planification locale, sur tout le territoire, du 1/50 000e au 1/100 000e pour l'aménagement du territoire, au 1/250 000e, 1/500 000e et 1/1 000 000e pour des études à l'échelle de la région ou de l'état. Les cartes au 1/50 000e de la National Imagery and Mapping Agency (NIMA), le pendant militaire du NDSI, couvrent en partie les Etats-Unis (précision métrique) ;
- le **Geographic Names Information System** (GNIS), développé par l'USGS, en collaboration avec le US Board on Geographic Names (BGN) correspond à la composante toponymique. La constitution de cette base s'est réalisée en deux étapes : la première étape a consisté à introduire les noms issus des cartes topographiques à grande échelle. Cette partie est disponible sur tous les Etats. La seconde phase consiste à répertorier les toponymes des cartes historiques, et de la littérature. Cette base est constituée sur 45 % du territoire ;
- des « **orthophotomaps** » au 1/24 000e et 1/25 000e : il s'agit d'orthophotographies auquels sont superposés des données topographiques. Ces données sont disponibles uniquement sur quelques états (moins de 10 Etats sur 48). Ce type de données n'existe pas en Europe.
- Des « cartes d'images satellites », en N/B, IR et couleurs du 1/24 000 e au 1/7 500 000e sur les 48 Etats sont disponibles. Les cartes images au 1/250 000e contiennent les informations de la carte topographique.

(2) Les données relatives à **l'occupation du sol** regroupent, une base de données, créée à partir du classement des données NOAA, à un kilomètre de résolution, contenant 159 types d'occupation du sol, (mise à jour en 1997 et 1999 pour les besoins de programme de recherche[3]) et une base nationale[4], réalisée à partir des donnée s Landsat TM, en 21 classes sur tous les Etats-Unis (algorithme de classification non-supervisé).

(3) Les **données d'élévation** rassemblent plusieurs MNT (15 min, 7.5 min, …) sur tout le territoire. Des cartes thématiques sont aussi disponibles (carte géologique, hydrahraphique, de végétation,

[2] En 1997, une enquête a été réalisée par le FGDC afin d'évaluer les ressources en IG, à travers tous les Etats-Unis (www.fgdc.gov).

[3] International Geosphere and Biospshere Program et the U.S. Global Change Research Program

[4] Cette base a été réalisée en partenariats avec diverses agences gouvernementales (trois divisions de l'USGS, l'Agence de la Protection de l'Environnement, le service des forêts, …) pour des applications nationales et régionales tels que des inventaires environnementaux, la gestion des incendies de forêt, la gestion du territoire (évolution des dynamiques urbaines, ..).

…).

(4) les **données images** (photographies aériennes et images satellites) sont disponibles :

- des **orthophotographies**, à 1 mètre de résolution (1/40 000e), en N/B, couleurs et IR, sont disponibles grâce au National Aerial Photography Program (NAPP), sur tout le territoire, y compris l'Alaska, Hawaï et Puerto Rico. Des photographies aériennes de la NASA, de l'USGS et du gouvernement US sont aussi disponibles. Des othophotos N/B au 1/25 000e sur la côte Est des Etats-Unis (1980)
- des **images satellites** de divers capteurs sont accessibles (images AVHRR, Landsat MSS et TM et SPOT HRV), sur tout le territoire. En 1995, des photgraphies aériennes militaires (systèmes CORONA, ARGON et LANYARD) acquises entre 1960 et 1972, sur toute la surface de la terre, ont été déclassées et sont disponibles à partir du GLIS.

L'**information cadastrale** est sous la responsabilité d'un autre organisme gouvernemental, comme en Europe et au Canada. Le Bureau of Land Management (BLM) est responsable de la création et de la mise à jour des données cadastrales au niveau national. Celles-ci sont rassemblées dans un plan, le **Public Land Survey System** (PLSS). Chaque état, à travers son Land Information Office, est chargé de créer et de mettre à jour son territoire. Ces documents sont établis au 1/200e et superposables aux cartes topographiques. Le problème est que les données sont difficilement échangeables entre les états car il n'existe pas de normes. Pour pallier ces manques, le FGDC a mis en place des règles de contenu des données cadastrales et travaille à l'élaboration de règles de transfert. Actuellement, le PLSS existe sur 78 % du territoire (Ouest des Etats-Unis). Les états qui ne disposent pas d'un PLSS, ont créé un système semblable (par exemple, en Ohio). Dans le cadre de la numérisation du cadastre, commencée depuis 1989 (avec l'aide de sociétés privées), la **Geographic Coordinate Data Base** (GCDB) est mise en place afin de constituer la prochaine génération des produits cadastraux (données cadastrales proprement dites et métadonnées). L'état de la numérisation des données est difficilement chiffrable car il est très variable selon les Etats.

Depuis le milieu du 20ème siècle, beaucoup d'investissements du gouvernement fédéral, par l'intermédiaire du National Geodetic Survey (NGS). ont permis de développer un réseau national géodésique **National Spatial Reference System** (NSRS), avec plus de 700 000 points. Avec le développement des nouvelles technologies (GPS) et la demande croissante de position précise sur le territoire, les anciennes stations de mesure sont devenues obsolètes et le gouvernement n'arrive pas à répondre aux besoins. Le NGS encourage les utilisateurs publics et privés à utiliser et à améliorer les données du NSRS. Il assure la vérification de la précision, de la densité, de la distribution, de la compatibilité des données fournies par les utilisateurs et il détermine si les stations ont été correctement connectées au NSRS. Actuellement, le NGS conduit la **Federal Base Network** (FBN), par une campagne GPS, à travers tous les Etats-Unis, pour améliorer la précision verticale des points[5]. Les responsabilités du NGS sont donc de développer et de gérer le FBN et d'assister et de conseiller les organismes qui établissent un système de référence en accord avec les standards fédéraux.

[5] Il s'agit d'un réseau de grande précision établi à l'aide de stations disposées tous les 75 à 125 km, qui enregistre en continu la position de points de contrôle géodésique, à 2 cm près et à travers tous les Etats-Unis. Ce type de réseau existe aussi au niveau régional (Cooperative Base Network), avec des stations de mesure tous les 25 à 50 km.

ANNEXE 2.4 - LE MARCHE DE L'IG EN EUROPE (LENGAGNE, 1999)

Le marché de l'information géographique ou l'activité économique qu'elle représente en Europe ont donné lieu ces dernières années à de nombreuses études s'efforçant de les évaluer et de comparer les dynamiques nationales. Ces études menées par des entreprises spécialisées – Dataquest, Daratech et Frost & Sullivan -, par la Commission Européenne[1] ou par le CNIG[2] conduisent à des résultats absolus qui ne sont pas directement exploitables parce qu'ils sont liés à des définitions très différentes des contours de l'activité. Ainsi, les études Dataquest et Daratech évaluent le marché des seules données « sur étagères » alors que les estimations à partir du marché des SIG incluent les prestations de service de recueil de données (Tableau 2.4.1).

Tableau 2.4.1 - Estimation du marché Européen de la donnée géographique selon les sources (*in* Lengagne 1999).

Source	Estimation
Exercice Delphi (GI base)	3.6
Estimations à partir du marché des SIG	
Commission Européenne	8.0
GIS Europe	8.4
Frost et Sullivan	4.5
Evaluation directes	
Dataquest	2.5 (5.4 avec coûts de conversion)
Daratech	1.5 (2.2 avec coûts de conversion)

Cependant, quelle que soit la définition retenue, **les valeurs relatives des estimations pour chaque pays restent similaires**. Et quelle que soit l'étude les valeurs retenues pour l'estimation de la croissance restent très proches. On peut donc en déduire des indicateurs de valeur et de dynamisme relatifs du secteur d'activité dans les états membres. Le résultat pour les 5 pays concernés par l'étude conduite pour le CNIG donne le tableau suivant ou le marché français a été conventionnellement affecté de la valeur 100 (Tableau 2.4.2)

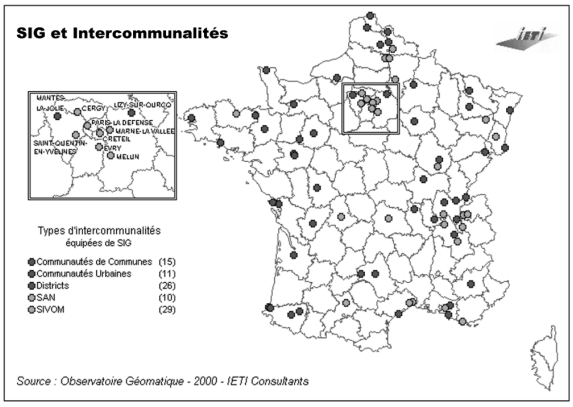
Tableau 2.4.2 - Comparaison de l'activité information géographique entre pays européens (*in* Lengagne, 1999).

Pays	Marché (valeur absolue)	Marché (rapporté au PIB)	Croissance estimée sur 5 ans (%)
France	100	100	50
Suède	23	150	100
Royaume-Uni	262	217	80
Paus-Bas	33	133	250
Espagne	23	58	150
Allemagne	231	158	80

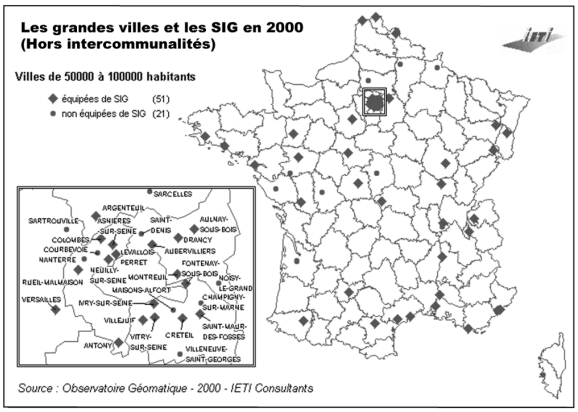
1 Etude « GIBase » réalisée par NavTech, l'Ordnance Survey et El Da Ingegneria pour le compte de la DGXIII.1997.

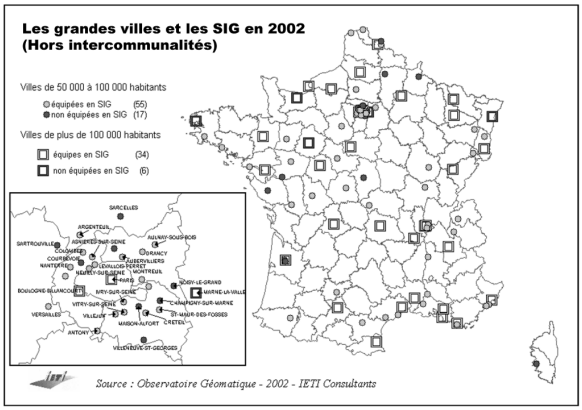
2 « Etude sur le marché européen de l'information géographique » Coopers & Lybrand et Urbatique pour le CNIG et AFIGéO, Octobre 1997.

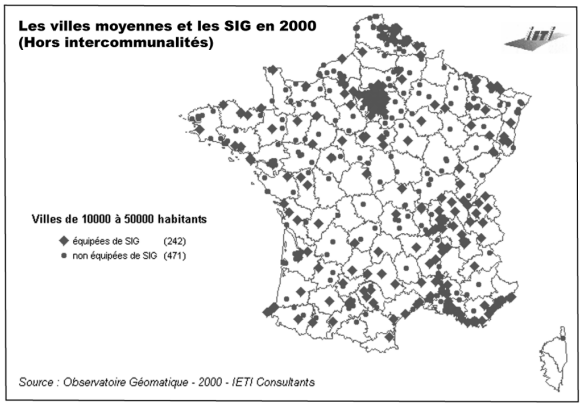
ANNEXE 3.1 - LES SIG DANS LES COLLECTIVITÉS TERRITORIALES EN 2000 ET 2002– PARTIE 1

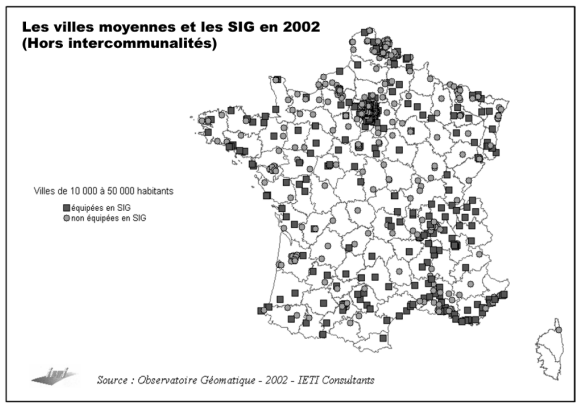


pas de cartes en 2002 ; intercommunalités

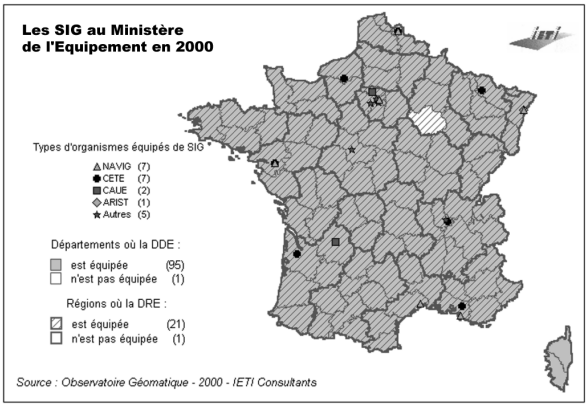


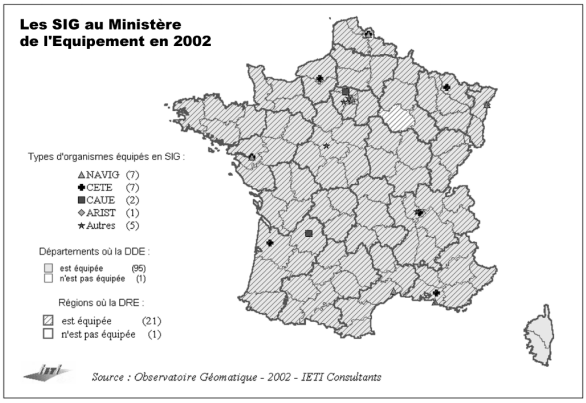


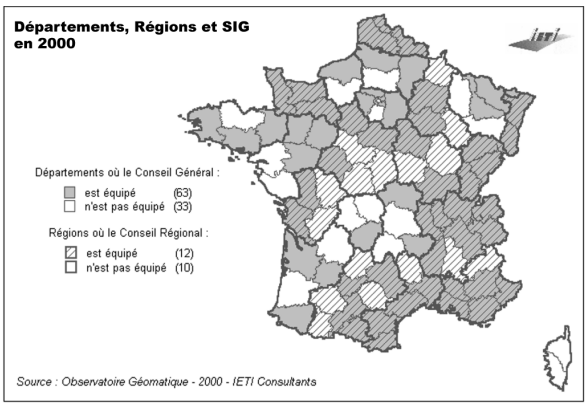


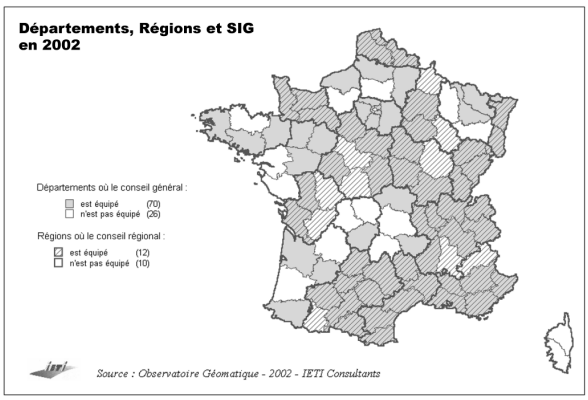


ANNEXE 3.1 : LES SIG DANS LES COLLECTIVITÉS TERRITORIALES EN 2000 ET 2002 – PARTIE 2









ANNEXE 3.2 : LE QUESTIONNAIRE ET SON PROTOCOLE

image et ville

CNRS CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Enquête sur les besoins des utilisateurs en informations géographiques pour l'étude du milieu urbain

CNES

Région Alsace

Doctorante à l'Université Louis Pasteur à la Faculté de Géographie et d'Aménagement (Strasbourg), dans le cadre d'un travail de thèse soutenu par le CNES (Centre National des Etudes Spatiales à Toulouse) et la région Alsace, je m'intéresse à L'UTILITE DE L'INFORMATION GEOGRAPHIQUE DANS LES DOMAINES DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE ET DE L'URBANISME.

Je me permets de vous poser, dans un premier temps, quelques questions sur la structure, l'organisation, et les activités de votre organisme en matière de données localisées (parties I et II). Ces questions s'adressent à un responsable de service.

Dans un deuxième temps, je tenterai de vous faire préciser les caractéristiques :

- de vos tâches et objets d'étude (partie III),
- des données géographiques manipulées en entrée (INPUT) (partie IV),
- des produits créés en sortie (OUTPUT) (partie V).

Ces questions s'adressent à une personne chargée de tâches, qui a l'habitude de manipuler des données localisées.

La dernière partie du questionnaire (partie VI) sera consacrée à votre intérêt pour la télédétection. Elle s'adresse aussi bien au responsable qu'à la personne chargée des tâches.

Remplissez ce questionnaire en cochant la ou les réponses qui vous conviennent, en complétant les colonnes ou en répondant librement dans les espaces prévus.

Si vous estimez que ce questionnaire ne s'adresse pas à vous, n'hésitez pas à le transmettre à une autre personne de votre organisme.

Nous vous remercions d'avance de le compléter rapidement, si possible, **avant le 30 juin 1999**.

Si vous avez un problème contactez-moi au n° suivant : + 33 3 88 45 65 33
ou par e-mail : anne@lorraine.u-strasbg.fr

Vous vous tiendrons au courant des résultats de l'enquête et de l'organisation d'un éventuel workshop.

I. Caractéristiques de la structure et de l'organisation de votre organisme.

1. Nom de l'organisme : .....
Adresse : .....
.....

2. Nom de la personne interrogée : .....
Tél : .....
Fax : .....
E-mail : .....

3. Type d'organisme :
- administration ❑
- collectivité locale ❑
- société privée ❑
- établissement public ❑
- autre (à préciser) ❑
.....
.....

4. Si l'organisme est une société privée, le qualifieriez-vous de :
- société de conseil ❑
- bureau d'étude ❑
- autre (à préciser) ❑ .....
.....
- cabinet de géomètre ❑
- opérateurs de réseaux ❑

5. Nombre approximatif d'employés dans l'organisme : .....

6. Niveau(x) d'intervention de l'organisme : *(plusieurs cases peuvent être cochées)*
- ville (niveau local) ❑
- agglomération (niveau local) ❑
- autre (à préciser) ❑ .....
.....
- région (niveau régional) ❑
- pays (niveau national) ❑

7. Quels sont les services qui manipulent, le plus, l'information géographique ?
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Si vous possédez un organigramme de fonctionnement de l'organisme, pourriez-vous le joindre au questionnaire. Merci.

II. Activités de l'organisme en matière de données localisées (spatiales).

8. Existe-t-il une base / banque de données urbaines (BDU) ? oui ❑ non ❑

8a. ***Si oui***, est-elle intégrée dans un Système d'Information Géographique (SIG) ? oui ❑ non ❑

8b. Ancienneté de l'activité SIG :
- moins d'un an ❑ - de 1 à 5 ans ❑ - plus de 5 ans ❑

8c. ***Si non***, (si vous n'avez pas d'activité SIG), celle-ci est-elle envisagée ?
oui : à court terme ❑ oui : à long terme ❑ non ❑

9. Quel(s) logiciel(s) utilisez-vous pour gérer la BDU ou le SIG ?

Access	❑	Géocity	❑	Géoconcept	❑
Oracle	❑	Arc/info	❑	Arcview	❑
Autocad	❑	Carine	❑	Mapinfo	❑
MicroStation	❑				
Autre (préciser)	❑	.....			

10. Quelles sont les caractéristiques des couches d'informations contenues dans la BDU ou le SIG ? Précisez leur échelle respective.
Pour rappel, si cette question ne s'adresse pas à vous, pourriez-vous la transmettre à la personne susceptible de pouvoir y répondre le plus précisément possible.

	Echelle
topographie ❑	
cadastre ❑	
POS, SDAU, ... (préciser) ❑	
carte(s) thématique(s) : utilisation du sol, espaces verts, ... ❑	
photographies aériennes ❑	
ortho-photos ❑	
Modèle Numérique de Terrain ❑	
Image satellite ❑	
Autre (à préciser) :	

III. Renseignements sur votre activité (vos tâches).

11. Nom du service auquel vous appartenez : .....

12. Vos responsabilités générales au sein de ce service : .....

13. Nombre d'employés (approximatif) de votre service : .....

14. A quel(s) ***thème(s)*** se rapportent votre activité principale ?
Indiquez l'ordre d'importance (1, 2, 3, ...)

- le transport	.....	- les statistiques	.....
- l'environnement	.....	- les réseaux techniques	.....
- l'habitat	.....	- le cadastre	.....
- la planification urbaine	.....	- les risques	.....
- le tourisme	.....	- l'information géographique	.....
- autre (à préciser)	.....	.....	

15. Quel est l'**objectif final** de votre activité ?
- gestion (maintenance, ...) ❑
- projet (opérationnel) ❑
- étude pilote ❑
- autre (à préciser) ❑ .....
- recherche ❑
- structuration de l'information géographique ❑ (acquisition, mise en forme, diffusion, ...)

16. Pouvez-vous décrire **3 exemples de tâches** représentatives de votre activité.

Nom de la TACHE N°1 : .....

Objectif principal et description : .....

Nom de la TACHE N°2 : .....

Objectif principal et description : .....

Nom de la TACHE N°3 : .....

Objectif principal et description : .....

17. Pour réaliser ces tâches, avez-vous besoin d'**identifier** ?
- des zones (zones résidentielles, industrielles, ...) ❑
- des objets urbains (mobiliers urbains, bâtiments, segments de rue, ...) ❑

18. Accordez-vous de l'importance à la fonctionnalité des objets urbains à identifier ?
oui ❑ non ❑

19. Pour répondre à vos tâches, avez-vous recours à des **nomenclatures** de référence d'occupation / utilisation du sol ? oui ❑ non ❑

19a. ***Si oui***, quelle(s) sont les nomenclatures utilisées ?

		Nombre de niveaux
- CLUSTERS	❑	.....
- Corine Land-Cover	❑	.....
- Nomenclature propre	❑	.....
- Autre (à préciser) :	❑	.....

Dans le cas de l'utilisation d'une nomenclature propre, pourriez-vous nous fournir le détail du document utilisé par votre service ou votre organisation ?
Merci d'y penser

19b. Pouvez-vous expliquer les problèmes rencontrés lors de leur utilisation ?

20. Choisissez **une des tâches** décrites à la question 16 et précisez :
- les informations spatiales demandées,
- les objets urbains ou les zones spécifiques à identifier,
- le niveau de détail de chaque objet ou zone à identifier : précision géométrique (cm, ...),
- l'échelle requise,
- le délai de mise à jour des données : leur date de péremption, l'actualité des objets ou des zones à identifier.

N° de Tâche	Informations/données localisées requises	Objets (O) ou Zones (Z) spécifiques à identifier (à préciser)
Ex :	*- info sur le réseau routier autoroutier*	*- O routes principales - O routes secondaires - O autoroutes - O échangeurs - Z forêt*
T A C H E N°1	.....	.....

Attention !! La tâche que vous choisissez servira de référence pour les questions suivantes.

Caractéristiques des Objets et/ou des Zones à identifier		
Précision géométrique	**Echelle**	**Délai de mise à jour**
- 1 m - 50 cm - 1 m - 50 cm - 5 m	*1/2000 e*	*1 an*
.....	.....	.....

IV. Les données utilisées en entrée (INPUT).

ATTENTION ! Les questions suivantes (de 21 à 28) se rapportent à la tâche que vous avez choisi de décrire précédemment.

TACHE choisie N°....

21. Quelle(s) sont les **sources** des données localisées utilisées pour la **tâche choisie**.

Précisez le nom et l'adresse de la source

- collection de données propres : *(relevés de terrain, base de données réseaux, voirie, ...)* ❑ .....
- données fournies par un organisme privé ❑ .....
- données fournies par un organisme public ❑ INSEE ☐ Cadastre ☐ IGN ☐ autre (s) : .....
- autre : à préciser ❑ .....

22. Quels sont les **documents de base** utilisés pour créer ces données localisées et leurs **caractéristiques** (échelle et couleurs) ? Précisez aussi **l'importance de leur utilisation** par rapport à l'ensemble des documents manipulés.

	Echelle utilisée	- noir et blanc (N/B) - vraies couleurs (V) - fausses couleurs (F)	Importance en %
relevé de terrain ❑		X	
tableaux statistiques ❑		X	
photographies aériennes analogiques ❑			
photographies aériennes digitales ❑			
ortho-photos ❑			
Images satellites préciser : ..... ❑			
autres : .... ❑			

23. Les données acquises, le **traitement** est effectué : *(plusieurs réponses possibles)*

Précisez le nom et l'adresse de contact

- par votre service ❑ .....
- par un autre service de votre organisation ❑ .....
- par un autre organisme ❑ .....
- par une société privée *(bureau d'étude, ...)* ❑ .....
- autre : à préciser ❑ .....

24. Quelles sont les **techniques** utilisées pour traiter ces données localisées ? Précisez aussi **l'importance de leur utilisation** par rapport à l'ensemble des techniques employées et les **logiciels** couramment employés.

	Importance en %	Logiciels utilisés
photo-interprétation ❑		
photogrammétrie ❑		
enquêtes ❑		
levés topographiques ❑		
traitement automatisé ❑		
cartographie ❑		
autres : .... ❑		

V. Les produits en sortie (OUTPUT).

25. Quel est le type de **produit final** élaboré pour la **tâche choisie précédemment** ?
Précisez leur(s) **objectif(s)** (par exemple : document à diffuser, de travail, d'illustration, scénario d'aide à la décision, ...) et les **utilisateurs finaux** de ces documents (élus, services techniques, sociétés privées, public, ...).

	Objectif(s)	*Utilisateurs finaux*
rapport technique ❑		
statistiques ❑		
cartes thématiques (utilisation du sol, espaces urbanisés, espaces verts, ...) ❑		
scénario d'aménagement (simulation) ❑		
autres : ..... ❑		

26. Quelles sont les **caractéristiques** des produits finaux créés (hors rapport technique et statistiques) ?

	échelle du document final	*précision géométrique du document final*	*document couleurs document noir/blanc (NB)*	*vues en 3D*	*possibilités d'intégration directe à un SIG*
cartes thématiques (utilisation du sol, ...)					
scénario d'aménagement (simulation)					
autres : préciser					

27. Contrôlez-vous la **qualité** de ces produits finaux (toujours pour la tâche choisie) ?
oui ❑ non ❑

28. Si oui, quels sont les **critères de contrôle** exigés à la **production** de ces documents ?
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

VI. Intérêt pour la télédétection.

Dans l'optique de l'utilisation de données localisées dans les tâches d'aménagement et d'urbanisme, les données satellites peuvent constituer une source potentielle de données. C'est ce qui motive cette dernière partie du questionnaire.

29. Avez-vous déjà utilisé des images satellites au cours de vos activités ?
oui ❑ non ❑

29a. Si oui (vous avez déjà manipulé des images satellites), décrivez une tâche (ou davantage) pour laquelle vous avez utilisé une image et précisez les caractéristiques de ce produit (capteur, résolution spatiale, ...) :

Exemples de tâches	Caractéristiques du produit utilisé
.....	.....
.....	.....
.....	.....
.....	.....
.....	.....
.....	.....
.....	.....
.....	.....
.....	.....
.....	.....
.....	.....

29b. Si non, pourquoi n'utilisez-vous pas de produits satellites dans vos tâches ?

Précisez si possible pourquoi

- je suis satisfait des documents que j'utilise ❑ .....
- je ne connais pas les produits satellites offerts ❑ .....
- je ne vois pas l'utilité des images satellites pour étudier le milieu urbain ❑ .....
- je trouve que les produits offerts sont trop chers ❑ .....
- autre (à préciser) : .....

30. Seriez-vous prêts à vous **investir** (pour la 1ère fois ou plus intensément) dans l'utilisation d'images satellite, **à coût égal** à d'autres produits (photographies aériennes, ortho-photos, ...) ?
oui ❑ non ❑

31. Quel type de produit vous paraîtrait le plus utile ?
- produit brut : image non-traitée ❑
- produit à valeur ajoutée : image traitée (corrigée, thématique, ...) ❑
- autre (à préciser) : .....
.....

32. Quelles seraient les **caractéristiques** d'un produit satellite "idéal" qui vous inciterait à l'utiliser dans vos tâches quotidiennes ?

	Limites actuelles	*Caractéristiques idéales*
couverture géographique	40 à 60 km²	
résolution spatiale	5 à 10 mètres ≈ 1/25 000e 20 mètres ≈ 1/50 000e	
résolution spectrale	du visible au thermique	
résolution temporelle *(retour sur le même lieu)*	≈ 26 jours	
capacité stéréoscopique *(vue en 3D)*	possible	
ordre de prix	> 10 000 FF (> 1500 euros)	
autre (à préciser) :		

33. Si vous deviez commander une image satellite, connaissez-vous des fournisseurs ?
oui ❑ non ❑

34. Seriez-vous intéressé par rencontrer d'autres professionnels, lors d'un Workshop, pour discuter de l'utilité de l'information géographique à grande échelle et des nouvelles images dites à Très Haute Résolution (inframétrique) ?
oui ❑ non ❑

Dans les questions 20 à 28 vous avez décrit une tâche au choix parmi les trois demandées. Si vous disposez d'encore un peu de temps et de courage... pourriez-vous répondre à ces mêmes questions en *Annexe I* **(pour une 2ème tâche) et en** *Annexe II* **(pour une 3ème tâche) ?UN GRAND MERCI !**

ANNEXE I : Tâche n°...

Rappel du nom de la TACHE : .....
.....

20a. Pour cette **deuxième tâche** choisie, précisez :

Informations/données localisées requises	*Objets (O) ou Zones (Z) spécifiques à identifier (à préciser)*
.....	.....
.....	.....
.....	.....
.....	.....
.....	.....
.....	.....
.....	.....
.....	.....
.....	.....
.....	.....
.....	.....
.....	.....
.....	.....
.....	.....
.....	.....

Caractéristiques des objets et /ou des zones à identifier		
Précision géométrique	*Echelle*	*Délai de mise à jour*
.....	.....	.....
.....	.....	.....
.....	.....	.....
.....	.....	.....
.....	.....	.....
.....	.....	.....
.....	.....	.....
.....	.....	.....
.....	.....	.....
.....	.....	.....
.....	.....	.....
.....	.....	.....
.....	.....	.....

21a. Quelles sont les **sources** des données localisées utilisées pour la **tâche choisie ?**

Précisez le nom et l'adresse de la source

- collection de données propres : *(relevés de terrain, base de données réseaux, voirie, ...)* ❑ .....
- données fournies par un organisme privé ❑ .....
- données fournies par un organisme public ❑ INSEE ☐ Cadastre ☐ IGN ☐ autre (s) : .....
- autre : à préciser ❑ .....

22a. Quels sont les **documents de base** utilisés pour créer ces données localisées et leurs **caractéristiques** (échelle et couleurs) ? Précisez aussi **l'importance de leur utilisation** par rapport à l'ensemble des documents manipulés.

	Echelle utilisée	*- noir et blanc (N/B) - vraies couleurs (V) - fausses couleurs (F)*	*Importance en %*
relevé de terrain ❑		X	
tableaux statistiques ❑		X	
photographies aériennes analogiques ❑			
photographies aériennes digitales ❑			
ortho-photos ❑			
Images satellites ❑ préciser :			
autres : ..... ❑			

23a. Les données acquises, le **traitement** est effectué : (plusieurs réponses possibles)

Précisez le nom et l'adresse de contact

- par votre service ❑ .....
- par un autre service de votre organisation ❑ .....
- par un autre organisme ❑ .....
- par une société privée *(bureau d'étude, ...)* ❑ .....
- autre : à préciser ❑ .....

24a. Quelles sont les **techniques** utilisées pour traiter ces données localisées? Précisez aussi **l'importance de leur utilisation** par rapport à l'ensemble des techniques employées et les **logiciels** couramment employés.

	Importance en %	*Logiciels utilisés*
photo-interprétation ❑		
photogrammétrie ❑		
enquêtes ❑		
levés topographiques ❑		
traitement automatisé ❑		
cartographie ❑		
autres : ..... ❑		

25a. Quel est le type de **produit final** élaboré pour la **tâche choisie précédemment** ?
Précisez leur(s) **objectif(s)** (par exemple : document à diffuser, de travail, d'illustration, scénario d'aide à la décision, ...) et les **utilisateurs finaux** de ces documents (élus, services techniques, sociétés privées, public, ...).

	Objectif(s)	*Utilisateurs finaux*
rapport technique ❑		
statistiques ❑		
cartes thématiques (utilisation du sol, espaces urbanisés, espaces verts, ...) ❑		
scénario d'aménagement (simulation) ❑		
autres : ..... ❑		

26a. Quelles sont les **caractéristiques** des produits finaux créés (hors rapport technique et statistiques) ?

	échelle du document final	*précision géométrique du document final*	*document couleurs document noir/blanc (NB)*	*vues en 3D*	*possibilités d'intégration directe à un SIG*
cartes thématiques (utilisation du sol, ...)					
scénario d'aménagement (simulation)					
autres : préciser					

27a. Contrôlez-vous la **qualité** de ces produits finaux (toujours pour la tâche choisie) ?

oui ❑ non ❑

28a. Si oui, quels sont les **critères de contrôle** exigés à la **production** de ces documents ?

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Remarques / Suggestions / Commentaires :

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Merci de votre coopération !

Vous disposez d'une enveloppe pour renvoyer le questionnaire, si possible avant le 30 juin, à l'adresse suivante :

Anne Puissant
Laboratoire Image et Ville UPRES-A 7011 - CNRS
Université Louis Pasteur
3, rue de l'Argonne
F-67083 Strasbourg Cedex
Fax + 33 3 88 45 33 88

Si vous avez un problème contactez-moi au n° suivant :
+ 33 3 88 45 65 33
ou par e-mail : anne@lorraine.u-strasbg.fr

ANNEXE 3.3 - PLAQUETTE DE PRÉSENTATION DE L'ATELIER DE RÉFLEXION

CNIG
Conseil National de l'Information Géographique

CNES
Centre National des Etudes Spatiales

Région Alsace

Strasbourg 31 Janvier 2000

Quelles échelles pour quels besoins ?

"L'utilité de l'information Géographique à grande échelle pour l'étude du milieu urbain"

ULP UNIVERSITE LOUIS PASTEUR STRASBOURG

Image et Ville

CNRS CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Introduction

Dans le cadre d'une thèse soutenue par le Centre National des Etudes Spatiales (**CNES**) à la faculté de Géographie de l'ULP à Strasbourg, nous nous intéressons aux **besoins des utilisateurs**, actuels et potentiels, en termes **d'informations géographiques (spatiales)**, que tous types de données, y compris celles issues de l'observation de la terre (données actuelles et données métriques futures dites à Très Haute Résolution Spatiale), pourraient couvrir.

Dans un contexte général de développement de l'utilisation de l'Information Géographique (IG) numérique, il nous est apparu essentiel de rassembler des professionnels de l'IG en organisant un **atelier de réflexion**. **L'objectif** de cet atelier est de confronter les démarches individuelles des utilisateurs, les problèmes rencontrés, ..., afin de ***faire émerger des besoins précis*** et de ***vérifier la pertinence des données disponibles sur le marché***.

Cette rencontre serait l'aboutissement d'une enquête **(http://imaville.u-strasbg.fr/enq2web.html),** élaborée dans le but de préciser les besoins des utilisateurs et d'établir un " cahier des charges " de produits adaptés aux besoins des utilisateurs.

Cette journée doit nous permettre, entre autre :

- d'évaluer si le ***besoin de simplicité*** dans l'utilisation des produits numériques passe, d'une part, par une ***flexibilité dans le découpage*** des zones d'études proposées par les distributeurs de données et d'autre part, par une certaine ***normalisation*** dans l'identification des objets (uniformisation des nomenclatures utilisées) ;
- de vérifier la pertinence d'un produit à valeur ajoutée **" occupation du sol "** auprès des utilisateurs ;
- ...

Programme de la journée

9h00 à 9h30	**Mr Jean-Claude Lummaux** : Ouverture de la session. *"La place de l'information géographique dans la politique française (référence aux positions européennes)"*
9h35 à 10h05	**Mr Eric Duclos-Gendreu** : responsable commercial France de SPOTIMAGE. *"L'aspect commercial de la demande et l'évolution du marché des images satellites"*
10h10 à 10h40	**Mr Michel Pochon** : Communauté Urbaine de Lyon. *"L'évolution des métiers liée à l'apparition des nouvelles sources de données et des nouvelles technologies (développement des orthophotographies numériques)"*
PAUSE	
10h55 à 11h25	**Mr Hervé Yésou** : SERTIT (en remplacement de Mme Marie-José Lefèvre, du CNES) : *"L'apport des futures données haute et très haute résolution du satellite SPOT 5 pour la gestion de l'espace : Aide à la mise en place de Mesure Agriculture et Environnement (MAE) et de Plan de Prévention au Risque Inondation (PPR-I) en Alsace"*
11h30 à 12h00	**Mr Jean-Daniel Piquet-Pellorce** : IGN *"Le développement des produits liés à la caméra numérique"*
REPAS	
14h00 à 14h25	**Anne Puissant/Christiane Weber** : Laboratoire Image et Ville. *"Intérêt d'une enquête et résultats"*
14h30 à 15h30	**Thème 1** : "Urbanisme et Planification urbaine" Animateur : ADEUS Strasbourg
15h35 à 16h35	**Thème 2** : "Environnement" Animateur : DIREN Alsace
PAUSE	
16h50 à 17h50	**Thème 3** : "Transport : gestion de trafic et infrastructure" Infrastructure : Mr Jean-Paul Braun de CERENE (Filiale mixte d'Electricité de France et de Gaz de France)
18h00 à 18h20	**Synthèse** : Anne Puissant / Christiane Weber. "Ce qu'il se dégage des discussions dans les différents thèmes en termes de précision des besoins des utilisateurs et identification des produits à grande échelle" Confrontation avec les participants : observations, critiques, ...

Contacts :

LABORATOIRE IMAGE ET VILLE
Faculté de Géographie et d'Aménagement
3, rue de l'Argonne - 67 000 Strasbourg
Télécopie : 33 (0)3 88 45 33 88

Téléphone : 33 (0)3 88 45 65 33 — **Anne PUISSANT**
anne@lorraine.u-strasbg.fr

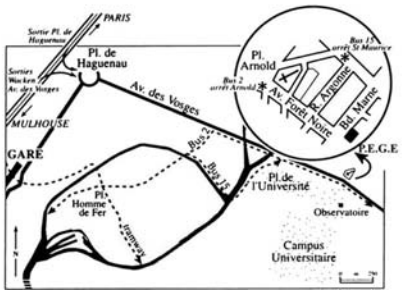
Téléphone : 33 (0)3 88 45 65 21 — **Christiane WEBER**
chris@lorraine.u-strasbg.fr

Téléphone : 33 (0)3 88 45 33 87 — **Estelle BAEHREL**
estelle@lorraine.u-strasbg.fr

Adresse de l'atelier :

P.E.G.E. (Pôle Européen de Gestion et d'Economie)
61, Avenue de la Forêt Noire - 67 000 Strasbourg
SALLE n°

Plan d'accès au site :



ANNEXE 3.4 - ARTICLE PARU DANS SIG-LA-LETTRE N°14 (FÉVRIER 2000)

Echo des recherches

Quelle information géographique à grande échelle pour l'étude du milieu urbain ?

Milieu urbain | DONNÉES

Avec un double titre "quelles échelles pour quels besoins ?" et "l'utilité de l'information géographique à grande échelle pour l'étude du milieu urbain", le colloque organisé le 31 janvier à Strasbourg par le Laboratoire Image et Ville du CNRS, sous l'égide du CNIG, de l'université et de la région a révélé de nombreuses ambiguïtés. Quand les techniciens de la ville y côtoient ceux de l'environnement (DIREN), quand les urbanistes chargés de convaincre les politiques y rencontrent des chercheurs, le dialogue est riche, voire enflammé. Mais il en ressort clairement, une fois de plus, qu'un référentiel à grande échelle est un outil de base nécessaire dans l'étude et la gestion du territoire. Si l'on a finalement peu évoqué le cadastre, l'imagerie haute résolution apparaît comme un complément fort utile.

L'orthophotographie est au centre des expériences présentées par le Grand Lyon et la Communauté Urbaine de Strasbourg (alias CUS). Ainsi, Michel Pochon du Grand Lyon, compare les deux missions effectuées par la communauté. En 1993, une première image mosaïquée couvrant 900 kilomètres avec une précision au sol d'1,50 mètre (soit un pixel de 75 cm) avait déjà permis de vérifier l'état des mises à jour du plan topo et avait participé à l'élaboration du POS ainsi qu'à la saisie du filaire des voies. Même de qualité médiocre par rapport aux produits d'aujourd'hui, cette image était devenue un élément à part entière du système de la ville. C'est en 1997 que l'expérience a été renouvelée en partenariat avec l'IGN. La campagne est beaucoup plus ambitieuse et atteint une précision de 24 cm terrain. Elle élargit les usages du produit et concerne tous les services : voirie, urbanisme, réseaux, aménagement, cartographie. Pour servir une gamme de clients étendue (les services de la communauté mais également les communes et les partenaires), le support de diffusion a été longuement étudié. Aujourd'hui, des cédéroms contiennent différentes versions de l'image, adaptée à divers systèmes : résolution allégée (de 16 cm à 2 m), formats géoréférencés directement intégrables dans les nombreux outils SIG, découpage en blocs, communes et imagettes de navigation, avec ou sans habillage, par les autres couches du système urbain de référence (SUR). Un tarif doit être voté lors d'un prochain conseil communautaire. Ainsi, la collectivité prend pleinement son rôle de producteur de données au service du développement d'un marché local.

Un outil technique et de communication

Cette orthophotographie fait partie intégrante de GeoNet, le service Intranet dédié à la voirie et aux communes de la communauté. Elle sert de fond de repérage simple et permet la prise de diverses mesures. Bien sûr, les tirages sur papier connaissent un succès grandissant, notamment chez les élus. "Si l'image a beaucoup de succès auprès des élus, convaincre les techniciens qu'elle est un support d'information n'a pas toujours été simple. Mais, aujourd'hui, tout le monde l'utilise. Quand nous avons lancé la mission, nous avions essayé d'établir un partenariat avec des services de l'Etat, qui n'avaient pas souhaité s'engager. Aujourd'hui, ils sont demandeurs".

Cette campagne a coûté entre 4 et 5 millions de francs. La création d'un modèle numérique de terrain, la mise en place d'une chaîne de production et de contrôle ont pesé sur le budget global. Pourtant, Michel Pochon ne sait pas encore ce que lui coûtera une mise à jour tous les 3 à 5 ans. "Nous nous orientons

Mission Lengagne

Référentiel image ou occupation du sol, pourquoi sont-ils absents du rapport Lengagne ?

Jean-Claude Lummaux, secrétaire général du CNIG, et un des rapporteurs de la mission Lengagne a profité de la journée pour présenter les différents rapports et documents officiels qui font la une de l'actualité géomatique de ces derniers mois. Il est également revenu sur un sujet peu étudié dans le rapport Lengagne, celui des référentiels images et des bases de données d'occupation du sol. "Si nous n'avons pas abordé ces deux domaines, c'est avant tout parce que nous manquions de réponses claires de la part des utilisateurs et des acteurs. Quel est le niveau d'obsolescence acceptable ? En matière d'occupation du sol, quel arbitrage doit être fait entre la complexité de la nomenclature et le rythme de la mise à jour ? Enfin, quelles sont les techniques qui permettraient une mise à jour à un coût marginal par rapport au coût de constitution ? " Face à ces interrogations, et en gardant en mémoire que l'objectif du rapport était de définir des priorités pour les investissements de l'Etat dans la constitution de bases de données de référence, les rapporteurs ont choisi de ne pas évoquer le sujet. Si des utilisateurs ont des réponses à apporter, le forum du CNIG est à leur disposition (http://www.cnig.fr).

EXPLICATION

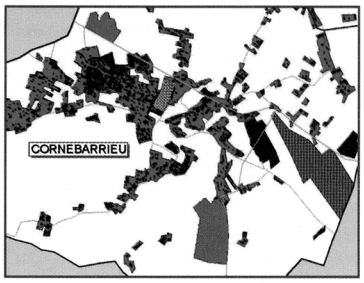
Echo des recherches

vers une mise à jour globale, mais ce sera d'abord une question de budget."

La mission commandée par la CUS est encore plus précise (voir SIGLL novembre 99) avec une résolution terrain de 20 cm. Là encore, la création du MNT et de la chaîne de contrôle sont des investissements qui ne seront plus à prendre en compte dans les prochaines versions. Ici, le produit est en cours d'intégration dans le SIG. Mais Henri Hugel, chef du service de l'information géographique tient à remettre l'image à sa place. "C'est un support très important en termes de communication, mais il ne peut absolument pas se substituer à la base de données vectorielles que nous constituons depuis 25 ans. Il y a beaucoup d'informations que l'on ne pourra jamais voir du ciel, notamment une des plus importantes pour une collectivité : les réseaux enterrés. Je reste par ailleurs sceptique sur la capacité à lire tout le mobilier urbain, le marquage au sol et les affleurements sur une orthophotographie."

Grâce à la recherche, les coûts et les délais devraient baisser prochainement

Daniel Piquet-Pellorce qui dirige le laboratoire de recherche MATIS de l'IGN reconnaît bien volontiers que la ville vue du ciel comprend de nombreuses parties cachées (ombres, dévers des immeubles) et explique comment son équipe travaille à leur limitation. Ici, l'apport du numérique est indéniable. Certes, la scannérisation des clichés argentiques apporte un certain confort d'utilisation. Mais les gains les plus importants viennent des prises de vues numériques, dont la qualité radiométrique est plus stable. Les recherches actuelles portent sur l'extraction automatique d'objets, et la génération d'orthophotograhies vraies. La prise de vue numérique permet aussi de multiplier les points de vue (en stéréographie classique, nous ne pouvons utiliser que nos deux yeux) ce qui affine la corrélation. Les redressements présentés pour la génération de modèles numériques de surfaces (MNS) à Rennes semblent prometteurs. "Bien sûr, tout cela relève encore de la recherche et n'est pas opérationnel, mais ces différentes techniques le seront bientôt et diminueront sensiblement les coûts et les délais de création de bases de données images".



«Le suivi dans le temps est un plus de la télédétection» remarque Claude Ecobichon du ministère de l'Equipement. Ici, évolution diachronique de SPOT Thema Agglomération.

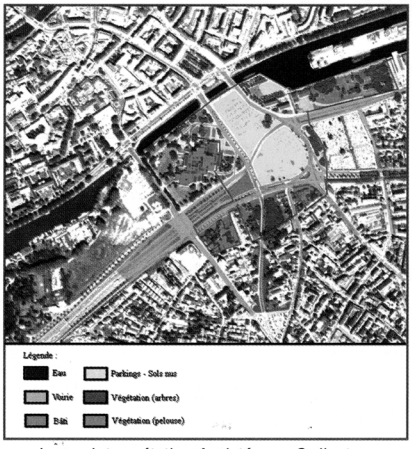


Image Interprétation Assistée par Ordinateur réalisée par Anne Puisant, pour l'identification des objets urbains à partir d'une image simulée à 0,83 m de résolution (CNES 1997) sur la zone d'aménagement concerté de la Place de l'Etoile à Strasbourg.

L'exploitation de cette vision détaillée de la ville par ses toits reste encore à trouver : outre qu'elle fera certainement le bonheur des maquettistes et des architectes, elle facilitera sans doute l'identification de types de bâtis et débouchera peut-être sur des études de micro climatologie urbaine.

Du ciel à l'espace, l'apport des nouvelles images

Si l'orthophotographie semble trouver sa place en ville, qu'en est-il alors de l'imagerie satellitaire ? L'offre SPOT Image actuelle est-elle exploitable ? Quid de l'offre future en très haute résolution ? SPOT Thema agglomération est certainement une réponse en tant que produit vectoriel élaboré à partir d'images SPOT qui permet de suivre la croissance urbaine. Plusieurs villes l'utilisent déjà avec succès (Angoulême notamment). Le SERTIT a également mené une étude tout à fait intéressante dans le cadre de la campagne préparatoire à SPOT 5. En comparant des images actuelles et des simulations haute résolution, l'apport du nouveau capteur européen est évident. Plusieurs thématiques ont été testées. Pour reconnaître des prairies, SPOT 5 permettra certainement d'identifier des parcelles plus fines, des bosquets, des haies. Ainsi, dans le cadre des directives nitrates, les bordures de cours d'eau qui doivent être enherbées afin de limiter les entrants seront identifiables. En partenariat avec SCOT, le SERTIT a aussi démontré l'utilité de produits haute résolution dans la création de plans de protection des risques (PPR), qui concernent autant le milieu urbain que rural. Ainsi, des tests ont été effectués à différentes résolutions pour identifier les éléments naturels ou anthropiques ayant une influence dans la limitation des inondations (buttes, levées, digues, routes secondaires, fossés, talus, bordures de champs…). Sur une zone donnée, une image multispectrale à 10 mètres de résolution permet d'identifier 57 objets. Un produit composite mêlant l'image multispectrale à une image panchromatique à 5 mètres, en reconnaît 102. La même combinaison poussée à 2,5 m en détecte 13 de plus.

L'image prend une place de plus en plus importante dans la représentation de la ville. Encore chère aujourd'hui, les nouvelles techniques numériques, venues du ciel ou de l'espace, permettront prochainement de réduire les coûts d'acquisition et de mise à jour. Cette image d'abord considérée comme un simple habillage destiné à la communication devient détentrice d'informations utiles à l'étude et à la gestion de la ville. Mais attention à ne pas oublier notre bon sens et à ne pas aller chercher avec peine dans l'image ce que nous pouvons trouver rapidement sur le terrain, seul lieu de confrontation avec la réalité urbaine ■

Quels besoins ?

Anne Puisant fait une thèse de géographie sur les besoins des utilisateurs en information géographique pour l'étude du milieu urbain. A ce titre, elle a lancé une enquête auprès de quelques 350 organismes français et internationaux (collectivités, agences d'urbanisme, services de l'Etat…). Elle a aujourd'hui peu de réponses et ses premières analyses restent difficilement exploitables. Si vous avez quelques minutes à consacrer à son questionnaire, vous l'aiderez dans sa mission. Pour en savoir plus et recevoir le questionnaire : anne@lorraine.u-strasbg.fr.

APPEL À TÉMOINS

ANNEXE 3.5 - GRILLE D'ENTRETIEN

Destiné au service IG (producteurs de données) **Interview n° .....**

Organisme :	**Date :**
Adresse :	

Nom de la personne interrogée :	**Tél :**
Service :	**Fax :**
Fonction :	**E-mail :**

Déroulement de l'entretien :

I. Les données « Images » de votre service.

- campagne d'orthophotos (p 2 à 4)
- Images satellites (si oui, p 5 à 6 et si non, p 7 à 8)

II. Acquisition et Production de données :

= les types de données gérées et créées par votre service (p 9 à 12)

1.

Quels sont les critères de qualité assurés ? (moyens mis en œuvre)
mots-clés : généalogie, précision géométrique, exhaustivité (tx de déficit) et précision sémantique (matrice de confusion), actualité, validations géométriques = formes des objets...

Pourquoi avoir choisi d'effectuer une campagne d'orthophotos ?
mots-clé : demande des services ?, le moins coûteux ?, le plus précis ?, le + rapide ?...

Quelles ont été les difficultés rencontrées ? liées à leur utilisation et leur exploitation ?
(mots-clés :- acquisition (délai d'obtention trop long, ...)
- caractéristiques techniques : géométrie, d'angle d'éclairage = ombre,
- difficultés de traitements et d'analyse (extraction automatique ou manuelle des objets),
- couleur, précision, ...

Qui est demandeur des orthophotos " brutes " ? Quels sont les services demandeurs (et les utilisations des orthophotos) ?
Service :
Nom de la personne à contacter :
Tél :
e-mail :

3.

I. Les données « Images » de votre service

1. Y a-t-il eu une campagne d'orthophotos récemment ? oui ☐ non ☐ *aller p 5*

⇒ SI OUI :

Point de vue économique :
- Par qui a-t-elle été réalisée ?
  - Nom de la société :
  - Adresse :
  - Personne à contacter :
  - Tél :
  - E-mail :
- Quel est le coût global de l'opération ? Que comprend-t-elle ? *(prise du vue, numérisation, corrections, mosaïquage, MNTIE,) ?*
- Quel est le délai d'obtention de votre commande ?

- **Quelles sont les caractéristiques des orthophotos ?**
- Date de la prise de vue :
- Etendue de la prise de vue (en km²) :
- Taille du pixel :
- Précision géométrique :
- Vraies couleurs ☐ Fausses couleurs (IR) ☐ N/B ☐
- Support papier ☐ Support numérique ☐
  - * comment ont-elles été numérisées ?
  - * quel logiciel est utilisé pour les traiter ?
  - Intégrées à un SIG : oui ☐ non ☐
  - * nom du logiciel SIG ?
  - * depuis quelle année ?
- Cycle de mise à jour prévu (fréquence de renouvellement) :
- Autres caractéristiques :

2.

A partir des orthos, des produits (ou données) « prêts à l'emploi » sont-ils crées ? Pour qui ?

1.	*A quel pas (m) ?*
- MNTerrain ☐	
- MNElévation ☐	
- MNSurface ☐	

Quels sont les services demandeurs ? Nom de personnes à contacter ?

2. Autres produits ou données créées à partir des orthos et leurs caractéristiques ?
Pour qui ? *(caractéristiques : échelle, précision, couleur, mise à jour, intégrables dans un SIG, 3D, critères de qualité, ...)*

Qu'est ce qui vous manque ? Qu'est ce que vous n'arrivez pas à identifier ou à faire ou obtenir à partir de ces orthos? Si vous aviez une attente à formuler ?
mots-clés : 1. délai d'obtention, disponibilité du produit, coût
2. géométrie, ombre, précision du MNT, couleur naturelle, mise à jour, 3D
3. taille du pixel, support

4.

2. Avez-vous déjà acquis des images satellites ? oui ☐ non ☐ *aller p 7*

⇒ **SI OUI :**

Point de vue économique :

- Qui est le fournisseur ?
  - Nom de la société :
  - Personne à contacter :
  - Tél :
  - E-mail :
- Quel est le coût global de cet achat ?
- Quel est le délai d'obtention de votre commande ?

De quels type d'images disposez-vous ? Ses caractéristiques ?

- capteur :
- résolution spatiale :
- résolution spectrale :
- date des prises de vues :
- stéréo :
- taille de la scène (km² couverts):
- niveau de pré-traitements (corrections géométriques, ...) :
- autre :

Pourquoi avoir choisi d'acheter des images satellites ?
mots-clé : demande des services ?, le moins coûteux ?, le plus précis ?, le + rapide ?...

5.

Quelles ont été les difficultés rencontrées ?
(taille de scène , résolution, fréquence de mise à jour, coût, traitements, ...)

Est-ce que un couplage avec le SIG est réalisé ? oui ☐ non ☐
* Si oui, avec quel logiciel ?
* Depuis quelle année ?

Préféreriez-vous acquérir un produit à valeur ajoutée ? oui ☐ non ☐
(type occupation du sol, ...)
Préciser le **type de produit** attendu et ses **caractéristiques** :
(occupation du sol, MNT, 3D...) *(résolution, couleur, nomenclature, répétitivité....)*

Si vous aviez une attente à formuler sur les images satellites ?
(à propos de l'accès, en données brutes, en données prêtes à l'emploi, sur leurs caractéristiques en échelles ou résolution, précision, 3D, couleur N/B ou couleurs naturelles, facilité de traitement, fréquence de mise à jour, ...)

Autres commentaires :

6.

⇒ **SI NON :**

Avez-vous déjà songé à acquérir des images satellites ? oui ☐ non ☐

Certaines demandes (en orthos) pourraient-elles être remplacée par des images ? oui ☐ non ☐

**** Si oui,***

1. A votre avis, dans quel type de projet aurait-elle pu s'intégrer ?

2. Pourquoi des images n'ont-elles pas été acquises ?

- Manque de financements ☐
- Manque de volonté hiérarchique ☐
- Manque de compétences ☐
- Pas de connaissance des produits ☐
- Pas d'utilité car : ☐ Pourquoi ?
  - * Satisfait ☐
  - * Pas assez précis /résolution inadaptée ☐
  - * Répétitivité trop faible (3 jours) ☐
  - * Découpage ne convient pas (obligation d'achat de scène entière) : ☐
  - * 4 canaux ne suffisent pas (R, V, PIR, MIR) ☐
  - * Autres ☐

**** Si non,*** pourquoi ?

7.

Quel type de produit vous paraîtrait le plus utile ? Exemples ?

- Images brutes ☐
- Produits à valeur ajoutée ☐

Préciser le **type de produit** attendu et ses **caractéristiques** :
(occupation du sol, MNT, 3D...) *(résolution, couleur, nomenclature, répétitivité....)*

8.

II. Acquisition et Production de données : les types de données gérées et créées par votre service.

1. Avez-vous acquis des données publiques? oui ❑ non ❑

⇒ **SI OUI :**

Ont-elles été acquises :

par votre organisme ❑ noter **O**

en partenariat ❑ (précisez avec qui) noter **P**

	Echelle		*Echelle*
IGN		*INSEE*	
BDAlti ❑	.....	INSEE alphanum ❑	.....
BDCarto ❑	.....	INSEE Base ilôt ❑	.....
BDTopo ❑	.....	Autre : ..... ❑	.....
BD Trapu ❑	.....	.....	.....
Corine Land Cover ❑	.....	*Cadastre*	.....
GéoFLA ❑	.....	DGI Alphanum ❑	.....
Géoroute ❑	.....	DGI Cadastre ❑	.....
Route 500 ❑	.....	Autre : ..... ❑	.....
SCAN IGN 100* ❑	.....	.....	.....
SCAN IGN 25* ❑	.....	*Autres :préciser*	.....
Photo aériennes* ❑	.....	TéléAtlas ❑	.....
Orthophotos* ❑	.....	IFN ❑	.....
Autres : préciser ❑	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....

* Pour les données images préciser la couleur (N/B pour noir et blanc ; V pour vraies couleurs, F pour fausses couleurs).

Autres :

Sont-elles toutes intégrées dans un SIG ? oui ❑ non ❑

De quand date le SIG ?

- moins de 1 an ❑
- entre 1 et 5 ans ❑
- plus de 5 ans (préciser combien) ❑ .....

Logiciel utilisé ?

9.

2. Avez-vous acquis d'autres données ? oui ❑ non ❑

⇒ **SI OUI :**

Ont-elles été acquises :

par votre organisme ❑ noter **O**

en partenariat ❑ noter **P**

précisez avec qui :

.....

.....

Quels sont les organismes fournisseurs ? Précisez le type de données acquises et leurs caractéristiques *(support, échelle, précision, couleur, 3D, intégrable dans un SIG...)* :

mots-clés : - autre collectivité locale

- exploitants de réseaux (gaz, electricité, ...)

- service déconcentré de l'état (DIREN, DDE, CETE, ...)

- association (type Agence d'urbanisme)

- autres ...

10.

3. Produisez-vous des données ? oui ❑ non ❑

La fonction fondamentale de votre service est la production et la diffusion d'IG de base ou thématique, sous forme de fonds de plans, de cartes, d'images sur papier ou sur écran.

⇒ **SI OUI :**

- **Etes-vous en accord avec l'affirmation suivante ?** oui ❑ non ❑

Les SIG urbains ont 3 fonctions principales :
1. la **localisation** des objets ou événements,
2. l'aide aux interventions opérationnelles sur le terrain : **gestion quotidienne**,
3. les **études** : planification, projets, simulations.

Si non, précisez ?

Quels types de données/informations créez-vous et gérez-vous, pour ces 3 fonctions? Précisez :

(A_1) Mode d'acquisition	*(A_2) A partie de quel document ?*	*(B) Caractéristiques*	*(C) Fréquence de mise à jour*
1) Numérisation	1) PA analogique	1) Echelle	1)
2) Levés directs	2) PA digitale	2) Résolution	2)
3) Levé GPS	3) Orthophotos	3) Précision géométrique	3)
4) Photogrammétrie	4) Images satellites	4) Couleur	
5) Photo-interprétation	5) Données IGN (BD)	5) 3D	
6) Autre	6) Cadastre	6) Intégrable dans un SIG	
	7) Autre		

Exemple : informations pour identifier les changements tout type de changements (bati, voirie, réseaux, ...

A_1 = (2) B =

A_2 = C =

Réponses :

(répondez au verso si nécessaire)

11.

Quels sont les critères de qualité appliqués lors de la production de vos données ?
mots-clés : précision géométrique, exhaustivité (tx de déficit) et précision sémantique (matrice de confusion), actualité, validations géométriques = formes des objets...

4. Avez-vous « revendus, échangés » des données produites par votre service ?

oui ❑ non ❑

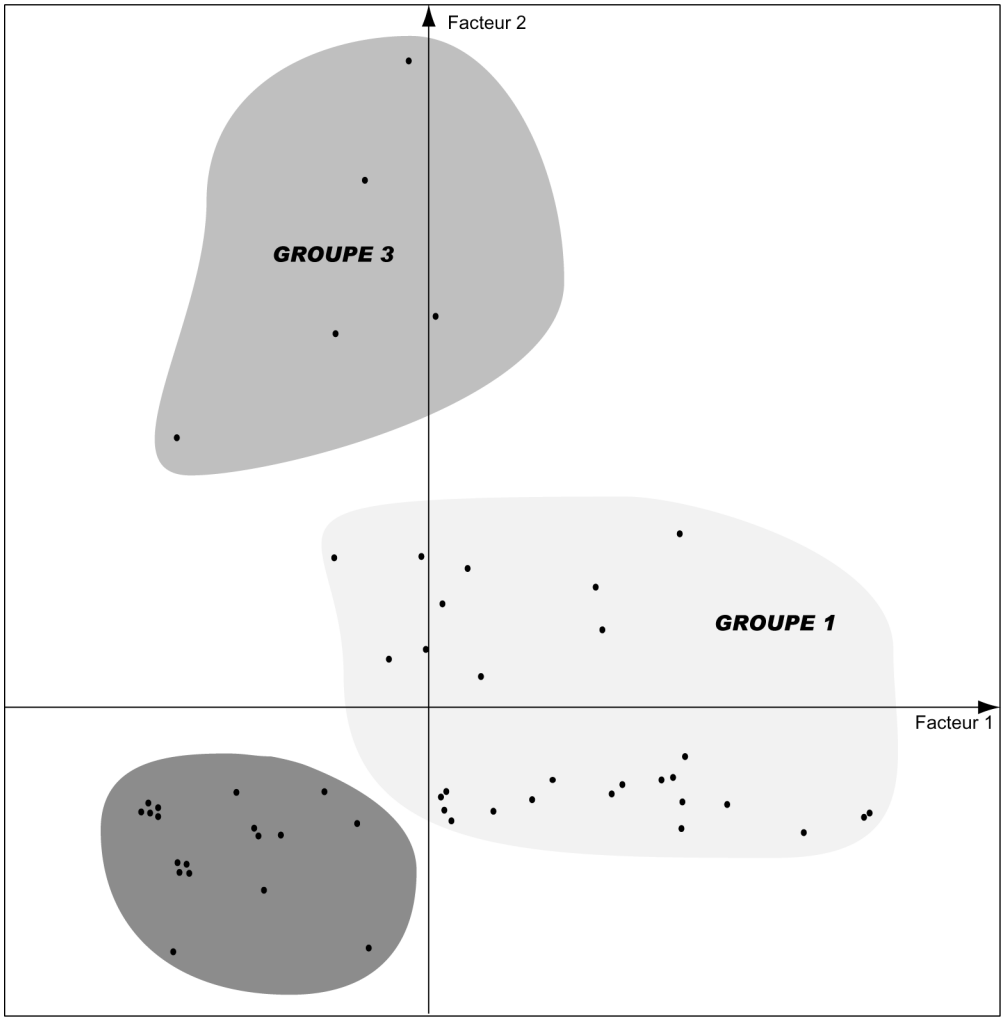
⇒ **SI OUI :**

A qui ?	Quels types de données ?
Organisme : personne à contacter : Tél : E-mail :	

Commentaires :

12.

ANNEXE 3.6 - CLASSIFICATION HIÉRARCHIQUE ASCENDANTE SUR LES FACTEURS 1 ET 2 (VARIABLES LIÉES RELATIVE AU SIG)



VARIABLES

Type d'organismes
Ancienneté du SIG
Logiciels SIG utilisés

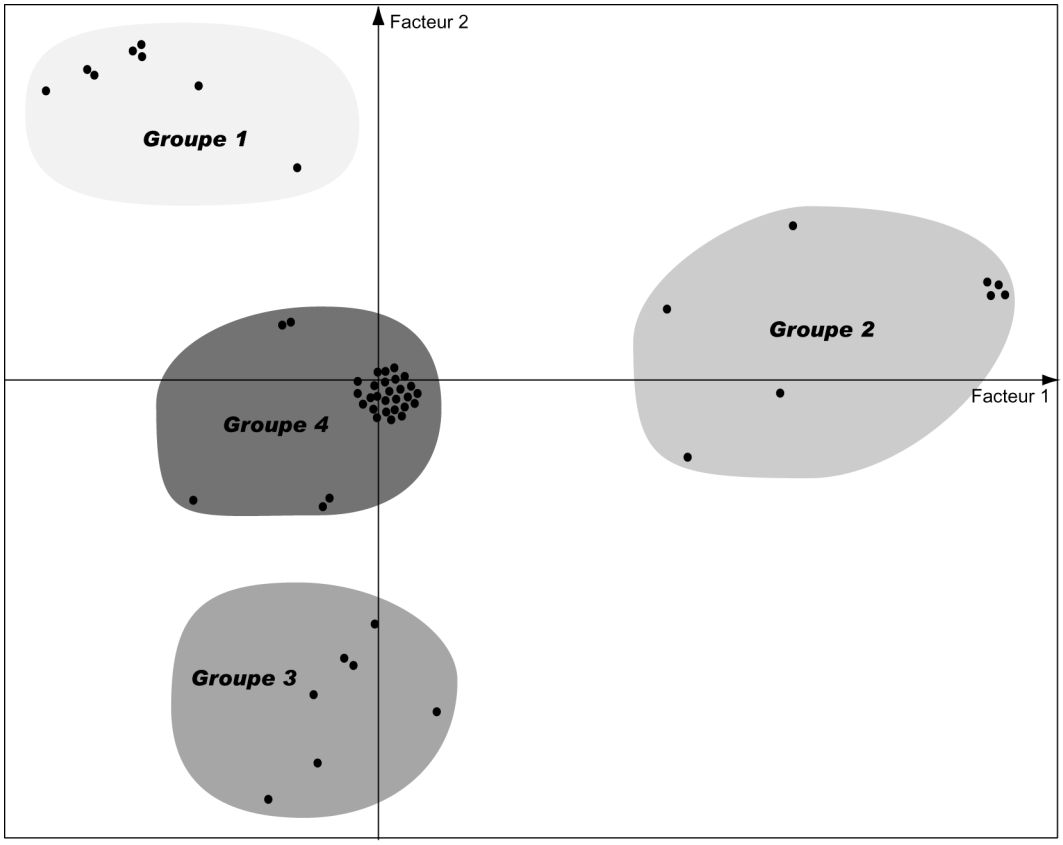
Groupe 1 : **Communautés Urbaines, Villes de plus de 100 000 habts, et villes entre 50 000 et 100 000 habts**
Ancienneté du SIG supérieure à 50 ans
Logiciels Géocity, Star, Apic, Arcview

Groupe 2 : **Services Déconcentrés de l'Etat, Conseils Régionaux et Généraux, Autres**
Ancienneté du SIG entre 1 et 5 ans
Logiciels Mapinfo

Groupe 3 : **Agences d'Urbanisme**
Ancienneté du SIG inférieure à 1an
Logiciels Géoconcept

Puissant, 2000

ANNEXE 3.7 - CLASSIFICATION HIÉRARCHIQUE ASCENDANTE SUR LES FACTEURS 1 ET 2 (VARIABLES RELATIVES À L'ORTHOPHOTO)



VARIABLES

Année de la 1ere acquisition

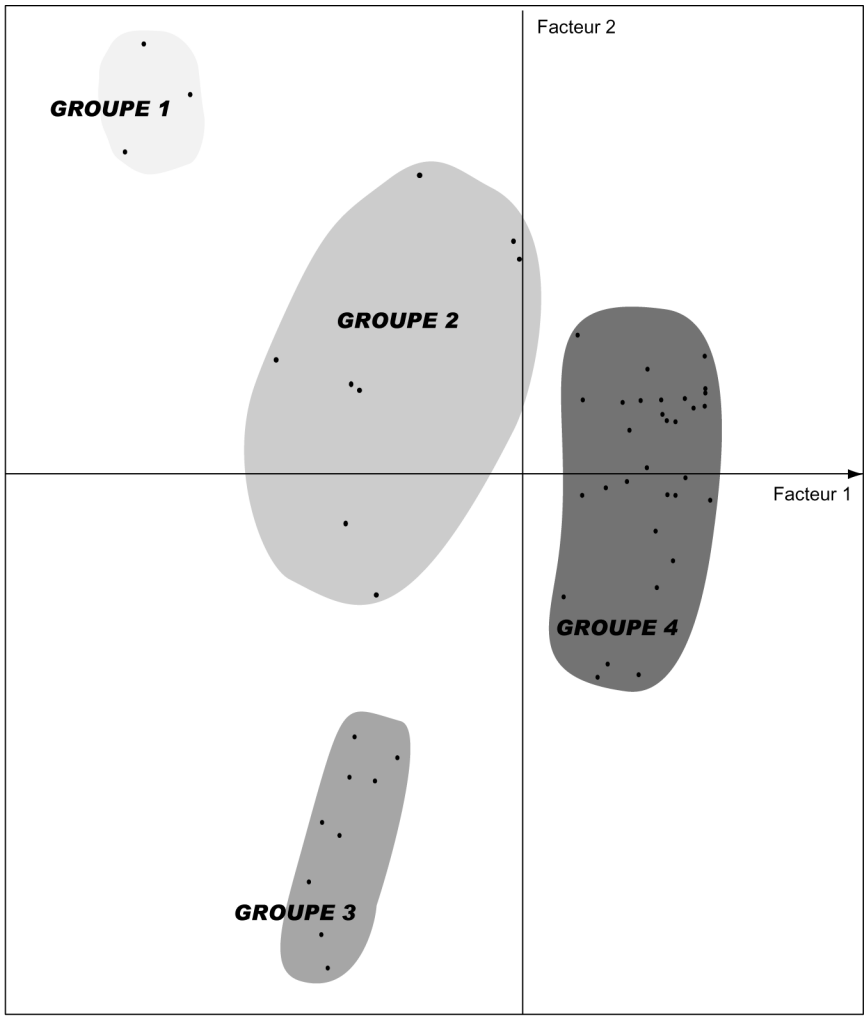
Taille du pixel

Besoin en mise à jour

- **Groupe 1** : **1999 - 2001**
  20 cm< Pixel > 40cm
  2 à 3 ans
- **Groupe 2** : **1995 - 1997**
  Pixel > 50 cm
- **Groupe 3** : **Début 1990**
  Pixel < 20 cm ou Pixel > 50 cm
  Supérieure à 3 ans
- **Groupe 4** : **pas d'orthophoto**

Puissant, 2000

ANNEXE 3.8 - CLASSIFICATION HIÉRARCHIQUE ASCENDANTE SUR LES FACTEURS 1 ET 2 (VARIABLES RELATIVES À L'IMAGE SATELLITE)



VARIABLES

Utilisation de l'image satellite

Problèmes rencontrés

Attentes

Groupe 1 : **Identification des changements, cartographie des espaces verts, des surfaces imperméables**
Taille du pixel (en urbain dense)
Nomenclature adaptée

Groupe 2 : **Pas d'images satellites**

Groupe 3 : **Cartographie de l'occupation du sol et vision complémentaire**
Problèmes d'interpétation et d'automatisation

Groupe 4 : **Pas d'images satellites**
B*esoins de résolutions métriques et de produits à valeurs ajoutées*

Puissant, 2000

ANNEXE 4.1a - NOMENCLATURE CORINE LAND COVER (3 NIVEAUX)

Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
1.Territoires artificialisés	1.1 Zones urbanisées	1.1.1 Tissu urbain continu 1.1.2 Tissu urbain discontinu
	1.2 Zones industrielles, commerciales et de transport	1.2.1 Zones industrielles et commerciales 1.2.2 Réseaux routier et ferroviaire et espaces associés 1.2.3 Zones portuaires 1.2.4 Aéroports
	1.3 Mines, décharges et chantiers	1.3.1 Extraction de matériaux 1.3.2 Décharges 1.3.3 Chantiers
	1.4 Espaces verts artificialisés, non agricoles	1.4.1 Espaces verts urbains 1.4.2 Equipements sportifs et de loisirs
2. Territoires agricoles	2.1 Terres arables	2.1.1 Terres arables hors périmètres d'irrigation 2.1.2 Périmètres irrigués en permanence 2.1.3 Rizières
	2.2 Cultures permanentes	2.2.1 Vignobles 2.2.2 Vergers et petits fruits 2.2.3 Oliveraies
	2.3 Prairies	2.3.1 Prairies
	2.4 Zones agricoles hétérogènes	2.4.1 Cultures annuelles associées aux cultures permanentes 2.4.2 Systèmes culturaux et parcellaires complexes 2.4.3 Territoires principalement occupés par l'agriculture, avec présence de végétation naturelle importante 2.4.4 Territoires agro-forestiers
3. Forêts et milieux semi-naturels	3.1 Forêts	3.1.1 Forêts de feuillus 3.1.2 Forêts de conifères 3.1.3 Forêt mélangées
	3.2 Milieux à végétation arbustive et/ou herbacée	3.2.1 Pelouses et pâturage naturels 3.2.2 Landes et broussailles 3.2.3 Végétation sclérophylle 3.2.4 Forêt et végétation arbustive en mutation
	3.3 Espaces ouverts, sans ou avec peu de végétation	3.3.1 Plage , dunes et sable 3.3.2 Roches nues 3.3.3 Végétation clairsemée 3.3.4 Zones incendiées 3.3.5 Glaciers et neiges éternelles
4. Zones humides	4.1 Zones humides intérieures	4.1.1 Marais intérieurs 4.1.2 Tourbières
	4.2 Zones humides maritimes	4.2.1 Marais maritimes 4.2.2 Marais salants 4.2.3 Zones intertidales
5. Surfaces en eau	5.1 Eaux continentales	5.1.1 Cours et voies d'eau 5.1.2 Plans d'eau
	5.2 Eaux maritimes	5.2.1 Lagunes littorales 5.2.2 Estuaires 5.2.3 Mers et océans

Signification des classes « urbaines » de la nomenclature CORINE Land cover

1. LES TERRITOIRES ARTIFICIALISES

1.1. Zones urbanisées

1.1.1. Tissu urbain continu

Espaces structurés par des bâtiments. Les bâtiments, la voirie et les surfaces artificiellement recouvertes couvrent la quasi-totalité du sol. La végétation non linéaire et le sol nu sont exceptionnels.

1.1.2. Tissu urbain discontinu

Espaces structurés par des bâtiments. Les bâtiments, la voirie et les surfaces artificiellement recouvertes coexistent avec des surfaces végétalisées et de sol nu, qui occupent de manière continue des surfaces non négligeables.

1.2. Les zones industrielles ou commerciales et réseaux de communications

1.2.1. Zones industrielles ou commerciales

Zones recouverte artificiellement (zones cimentées, goudronnées, asphaltées ou stabilisées ; terre battue, par exemple), sans végétation occupant la majeure partie du sol. Ces zones comprennent aussi des bâtiments et/ou végétation

1.2.2. Réseau routier et ferroviaire et espaces associés

Autoroutes, voies ferrées, y compris les surfaces annexes (gare, quais, remblais). Largeur minimale à prendre ne compte 100 m.

1.2.3. Zones portuaires

Infrastructures des zones portuaires, y compris les quais, les chantiers navals et les ports de plaisance

1.2.4. Aéroports

Infrastructures des aéroports, y compris les pistes, bâtiments et surfaces associées

1.3. Mines, décharges et chantiers

1.3.1. Extraction des matériaux

Extraction de matériaux à ciel ouvert (sablières, carrières) ou d'autre matériaux (mines à ciel ouvert). Y compris gravières sous eau, à l'exception toutefois des extractions dans le lit des rivières.

1.3.2. Décharges

Décharges et dépôt de mines, des industries ou des collectivités publiques

1.3.3. Chantiers

Espaces en construction, excavation et sols remaniés.

1.4. Espaces verts artificialisés non agricoles

1.4.1. Espaces verts urbains

Espaces végétatilisés inclus dans le tissu urbain. Y compris les parcs urbains et cimetières avec végétation.

1.4.2. Equipements sportifs et de loisirs

Infrastructures de terrain de campings, des terrains de sport, des parcs de loisirs, des golfs, des hippodromes … y compris les parcs aménagés non inclus dans le tissu urbain.

1.4.3. Sites en construction

Terrains intégrés au milieu urbain en voie de construction

ANNEXE 4.1b - NOMENCLATURE CORINE LAND COVER DES AGGLOMÉRATIONS FRANÇAISES (5 NIVEAUX) (d'après Lenco, 1997)

1 Territoires artificialisés

11 - Zones urbanisées

111 Tissu urbain continu dense

1111 Type centre-ville

11111 Noyau (centre) dense (ancien, parcellaire étroit)

11112 Faubourgs et quartiers denses ou moyennement denses

1112 Type centre-bourg (noyaux denses des communes périphériques)

112 Tissu urbain discontinu

1121 Habitat individuel pavillonnaire bas

11211 Habitat d'extension linéaire des communes périphériques (villages rues)

11212 Forte densité de construit (peu de végétation et forte organisation linéaire) lotissements

11213 Moyenne densité de construit (présence de végétation et organisation parcellaire marquée)

11214 Assez faible densité de construit (végétation marquée et organisation perceptible autour du réseau viaire)

11215 Faible densité de construit avec forte présence de végétation

1122 Habitat (ou bâtiment) collectif

11221 Grands ensembles avec grande emprise des bâtiments au sol, grands collectifs hauts (grandes barres et tours)

11222 Grands ensembles avec une petite emprise des bâtiments au sol, petits collectifs bas, cités minières

1123 Habitat mixte collectif et pavillonnaire

1124 Habitat de type rural (bourg, hameau, mitage), bâtiments isolés

113 Espaces urbains spécialisés

1131 Cimetières

1132 Emprises militaires

11321 Installations (casernes, camps)

11322 Autres (terrains de manoeuvre, champs de tirs, pistes d'essai)

1133 Emprises scolaires et universitaires

11331 Installations, bâtiments

11332 Autres (cours, campus, parkings)

1134 Emprises hospitalières

11341 Installations, bâtiments

11342 Autres (cours, jardins, parkings)

1135 Sites historiques, lieux culturels, emprises religieuses

1136 Autres services publics (parcs des expositions, centres postaux,...) et privés (grands hôtels....)

11361 Bâtiments, installations

11362 Parkings

12 Zones industrielles et commerciales, activités de services

121 Emprises industrielles commerciales et de services

1211 Emprises industrielles (y.c. entrepôts, stockage, accès, stationnement)

12111 Type industries lourdes (grandes unités) et production d'énergie

12112 Autres activités industrielles (légères)

12113 Pistes et terrains d'essai

1212 Zones commerciales (au sens large)

12121 Bâtiments, installations

12122 Parkings

1213 Parcs technologiques, aires d'activité de service

1214 Emprise du retraitement de l'eau

12141 Station d'épuration

12142 Décanteurs, lagunage

1215 Stations d'élevage

1216 Friches industrielles

122 Réseaux de communication et espaces associés

- 1221 Réseau routier principal et espaces associés (routes, autoroutes, échangeurs, aires de repos)
  - 12211 Tronçons, voiries (y.c. remblais)
  - 12212 Espaces interconnexions, péages, aires de repos, gares routières
- 1222 Réseau ferré et espaces associés
  - 12221 Tronçons ferrés (y.c. remblais)
  - 12222 Gares, triages, ateliers de réparation, entrepôts, quais
- 1223 Espaces - parkings hors des zones industrielles commerciales et de services

123 Zones portuaires (y.c. ports de plaisance)
- 1231 - Bassin de marée (avant port et rade)
- 1232 Bassin de radoub, chantiers navals
- 1233 Installations et entrepôts (y.c. quais)

124 Aéroports, aérodromes
- 1241 Aéroports
  - 12411 Installations
  - 12412 Pelouses
- 1242 Aérodromes
  - 12421 Installations
  - 12422 Pelouses

13 Mines, décharges et chantiers

131 Extraction de matériaux (sablières, carrières, mines à ciel ouvert, gravières sous eau)
- 1311 Extractions actives et espaces associés
  - 13111 Gravières et sablières actives
  - 13112 Carrières actives
  - 13113 Mines à ciel ouvert actives
- 1312 Zones d'extraction en mutation (à l'abandon, en friche, en réhabilitation)

132 Décharges et dépôts de remblais - déblais
- 1321 Décharges et dépôts de remblais - déblais
- 1322 Dépôts de mines et industries lourdes (terrils,...) hydrocarbures

133 Chantiers (espaces en construction, excavations et sol remaniés à l'exclusion des travaux d'aménagement foncier agricole)

14 Espaces verts artificialisés non agricoles

141 Espaces urbains aménagés (pelouses et zones arborées)
- 1411 Parcs et jardins publics ou privés
- 1412 Châteaux et parcs associés

142 Equipements sportifs et de loisirs
- 1421 Golfs
- 1422 Hippodromes, centres équestres
- 1423 Equipements sportifs et de loisirs (stades, tennis, etc...)
- 1424 Campings
- 1425 Autres - (vélodromes, motocross, karting,...)

143 Jardins familiaux ou ouvriers (en concentration)

15 Espaces non affectés en milieu bâti résidentiel, commercial ou de service (espaces vacants et friches urbaines)

2 Territoires agricoles

21 Terres arables (y.c. jachères)

211 Terres arables hors périmètre d'irrigation
- 2111 Maraîchage, cultures florales
  - 21111 Maillage bocager important
  - 21112 Maillage bocager lâche ou absent
- 2112 Autres
  - 21121 Maillage bocager important
  - 21122 Maillage bocager lâche ou absent

212 Périmètre irrigué en permanence
- 2121 Maraîchage, cultures florales
  - 21211 Maillage bocager important
  - 21212 Maillage bocager lâche ou absent

22 Cultures permanentes

221 Vignobles

- 222 Vergers et petits fruits
- 23 Prairies
  - 231 Prairies
    - 2311 Prairies humides
      - 23111 Maillage bocager important
      - 23112 Maillage bocager lâche ou absent
    - 2312 Autres prairies
      - 23121 Maillage bocager important
      - 23122 Maillage bocager lâche ou absent

3 Forêt et milieux semi-naturels

- 31 Forêt (y.c. coupes)
  - 311 Forêts de feuillus
    - 3111 En zone humide (forêt hydrophile)
      - 31111 Plantations (peupleraies, etc...)
      - 31112 Boisements naturels (Saulaie, hêtraie, aulnaie etc...)
    - 3112 En zone non humide
  - 312 Forêts de conifères
  - 313 Forêts mélangées
- 32 Milieux à végétation arbustive et/ou herbacée
  - 321 Pelouses et pâturages naturels
  - 322 Landes et broussailles (y.c. friches)
  - 323 Végétation sclérophylle
  - 324 Forêts et végétation arbustive en mutation (dégradation ou recolonisation)
- 33 Espaces ouverts sans ou avec peu de végétation
  - 331 Plages, dunes, sable
    - 3311 Sable, plage de sable ou de galets
    - 3312 Dunes
      - 33121 Dunes vives
      - 33122 Dunes grises (Oyat, carex, chiendent, mousse et lichens, etc...)
  - 332 Roches nues
  - 333 Végétation clairsemée
  - 334 Zones incendiées

4 Zones humides

- 41 Zones humides intérieures
  - 411 Marais intérieurs
    - 4111 Marais à roseaux
    - 4112 Marais à joncs
    - 4113 Marais à molinies
    - 4114 Autres marais (caricaies, baccharis,...)
  - 412 Tourbières
- 42 Zones humides maritimes
  - 421 Marais maritimes
    - 4211 Vasières
    - 4212 Autres marais maritimes
  - 422 Marais salants
  - 423 Zones intertidales (slikke, schorre, bancs de sable)

5 Surface en eau

- 51 Eaux continentales
  - 511 Cours et voies d'eau
    - 5111 Cours d'eau
    - 5112 Voies d'eau, canaux
  - 512 Plans d'eau (y.c. espaces associés immergés)
    - 5121 Naturels (lacs, étangs)
    - 5122 Artificiels
- 52 Eaux maritimes

ANNEXE 4.2 - CLASSES D'OCCUPATION DU SOL DU THÈME HABILLAGE DE LA BDCARTO®.

Postes d'occupation du sol	Détail du contenu de chaque poste de légende
1. Bâti	Surface à prédominance d'habitat: Tissu urbain dense, noyaux urbains et faubourgs anciens, bâtiments formant un tissu homogène et continu, y compris les équipements divers inférieurs à 25 ha Tissu urbain continu mixte, habitat pavillonnaire ou continu bas avec jardins; . Type faubourg, associant quelques petits secteurs d'activités Grands ensembles, lotissements, cités jardins Villages et hameaux importants en milieu agricole y compris les aménagements associés Cimetières voisins de bâti ou de plus de 8 hectares.
2. Zone industrielle, commerciale, de communication ou de loisirs	Surface à prédominance d'activités: Ensembles industriels et commerciaux, y compris leurs emprises, parkings, accès, entreposages... Constructions et surfaces liées à la fabrication et au transport de l'énergie (centrales ou postes électriques) Constructions et surfaces liées à l'industrie agro-alimentaire (élevage, silos) Aménagements et équipements sportifs et de loisirs (parties construites), parcs d'attractions, parcs de loisirs, campings aménagés Équipements liés aux transports routiers: grands péages, grands échangeurs, centres routiers, gares routières, aires de service et de repos Équipements liés aux transports ferrés: gares ferroviaires, zones de triage Équipements liés aux transports maritimes et fluviaux: quais, gares maritimes, zones portuaires Équipements liés aux transports aériens: aérodromes, aéroports civils ou militaires y compris les entrepôts et installations de fret.
3. Carrière, décharge	Surface exploitée pour ses ressources minérales; Surface servant aux dépôts minéraux et industriels; Surface en excavation et non couverte par la végétation.
4. Prairie, pelouse, toute culture hormis vigne et verger	Prairies permanentes, surfaces engazonnées de durée en principe illimitée Pâturages des zones d'élevage, pâturages de fond de vallée, pâturages naturels Alpages, pelouses d'altitude Pelouses calcaires type Causses Prés salés, y compris ceux situés dans l'estran Pelouses, y compris celles des parcs non boisés, golfs, hippodromes ou terrains de sport Cultures annuelles, terres cultivées, labourées, cultures fourragères; Cultures florales et légumières de plein champ ou sous serres; Cultures permanentes, cultures spécialisées Cultures intensives Rizières et toute culture irriguée; Jardins familiaux Abandons agricoles.
5. Vigne, verger	Vignobles des grands territoires viticoles répertoriés Vergers organisés, vergers abandonnés Oliveraies Plantations de noyers Pépinières.
6. Forêt	Grande étendue plantée d'arbres : Bois et forêts, y compris les zones incendiées Coupes rases en milieu forestier Reboisements et zones replantées Zones d'arbres bordant un axe d'hydrographie ou de communication, de largeur supérieure ou égale à 100 mètres Parcs boisés Peupleraies et coupes de peupleraies.

Postes d'occupation du sol	Détail du contenu de chaque poste de légende
7. Végétation naturelle basse ligneuse, maquis, garrigue, lande, broussailles	Surface couverte de formations végétales buissonnantes, arbustives et épineuses, appelées d'une façon générale "broussailles" : Maquis: végétation arbustive dense qui couvre les terrains siliceux acides en milieu méditerranéen Garrigue: formation végétale basse couvrant les plateaux calcaires méditerranéens Landes: formation végétale buissonnante ligneuse basse, souvent épineuse, le couvert des arbres ne dépassant pas 25% de la surface au sol Fougeraies Espaces forestiers dégradés, où ni la forêt, ni les zones arbustives ne sont dominantes Zones incendiées dans les surfaces précitées.
8. Plage, dune, sable, gravier, galet ou terrain nu sans couvert végétal	Sables et graviers dans le lit d'un cours d'eau Sables secs et galets au dessus de la laisse des plus hautes eaux Dunes Sables humides de l'estran Zones de vase de l'estran Graviers et galets de l'estran.
9. Rocher, éboulis	Rochers, pierriers et éboulis en général dans les zones montagneuses Falaises Rochers côtiers y compris ceux de la zone d'estran Zone mixte rocher et sable de la zone d'estran.
10. Marais, tourbière	Marais intérieur: étendue de terrain inculte recouverte d'une couche d'eau stagnante plus ou moins épaisse du fait de la topographie ou de la nature imperméable du sol; cette zone se caractérise par une végétation particulière de plantes aquatiques Marais maritime: étendue de terrain imbibée d'eau salée Tourbières: terrains spongieux humides recouverts de mousses et formés de matières végétales décomposées, recouverts d'eau peu profonde Espaces plans ou peu inclinés gorgés d'eau.
11. Marais salant, y compris les anciens marais salants	Terrain où l'on fait venir de l'eau de mer pour recueillir par évaporation le sel marin qu'elle contient : Marais salants en activité Anciens marais salants, avec présence d'eau
12. Eau libre	Eau permanente dans les cours d'eau, fleuves, rivières, bras de fleuve ou de rivière, canaux... Embouchure: écoulement des cours d'eau traversant l'estran Zone de pleine mer, jusqu'à la limite du territoire Plan d'eau ou bassin, lac, étang, retenue de barrage, réservoir à ciel ouvert Ensemble de petits plans d'eau (plans d'eau inférieurs à 4 hectares), la zone fermée comporte les 3/4 de surface en eau, la superficie de l'ensemble est supérieure à 4 hectares Traitement des eaux, uniquement les éléments découverts Bassin portuaire fluvial et maritime; Zone temporairement recouverte d'eau (avec peu ou sans végétation), dénivelée des lacs ou barrages, étang périodique, eau douce non permanente bordant un plan d'eau (sans sable ni gravier).
13. Glacier, névé	Zones couvertes par des masses de neige durcie et de grands amas de glace.

ANNEXE 4.3 : NOMENCLATURE SPOT Thema

Niveau I (synthétique)	Niveau II (détaillé)
1. Espaces urbanisés	1.1. Zones bâties à prédominance d'habitat
	1.2. Grands équipements urbains
2. Surfaces industrielles et commerciales et infrastructures de communication	2.1. Zones industrielles ou commerciales
	2.2. Infrastructures routières et ferroviaires
	2.3. Infrastructures des zones portuaires
	2.4. Infrastructures des zones aéroportuaires et aérodromes
3. Extraction de matériaux, décharges, chantiers	3.1. Extraction de matériaux, décharges, chantiers
4. Espaces récréatifs	4.1. Espaces verts (parcs et jardins)
	4.2. Equipements sportifs et de loisirs
5. Espaces agricoles	5.1. Terres arables non inondées et espaces prairiaux
	5.2. Cultures permanentes
	5.3. Rizières
	5.4. Marais salants
6. Espaces boisés	6.1. Feuillus dominants
	6.2. Conifères dominants
	6.3. Peuplements indéterminés
	6.4. Espaces boisés en mutation
	6.5. Boisements linéaires
7. Autres espaces naturels et semi-naturels	7.1. Landes et fourrés
	7.2. Végétations sclérophylles (maquis et garrigues)
	7.3. Pelouses d'altitude et steppes
	7.4. Plages, dunes, sables
	7.5. Roches nues
	7.6. Zones incendiées
	7.7. Glaciers et neiges
	7.8. Marais et tourbières
8. Surfaces en eau	8.1. Cours et voies d'eau
	8.2. Etendues d'eau continentales ou littorales
	8.3. Mer, océan et estuaires

Signification des classes « urbaines » de la nomenclature SPOT Thema

1. Espaces urbanisés

1.1. Zones bâties à prédominance d'habitat

Cette classe correspond à l'enveloppe générale des espaces bâtis à prédominance d'habitat. Elle regroupe l'habitat individuel ou collectif ; l'habitat « autre » (hôtels, prisons, couvents, foyers, maisons de retraite…), habitat continu et discontinu, accompagnée des jardins de l'habitat, des portions de voies de communications dont la largeur est inférieure à 40 m, et situées à l'intérieur de l'enveloppe habitat (routes, canaux, voies de chemin de fer), des terrains vacants en milieu urbain (c'est-à-dire entourés d'espaces urbanisés) d'une surface inférieure à 5000m².

Cette classe contient aussi les objets artificialisés non Intégrés dans les autres classes d'espaces urbanisés. Elle contient donc des objets de " petite taille " des autres classes de l'urbain (à l'exception de la classe "3..1 - Extraction de matériaux, décharges, chantiers ») tels que les espaces attenants aux emprises industrielles et commerciales, les emprises industrielles et commerciales, et équipements dont la surface est inférieure à l'UMET des classes 1.2 et 2.1, les emprises des infrastructures de transports dont la surface est inférieure à l'UMET des classes 2.2, 2.3, 2.4, les pelouses, espaces verts, parcs, squares, de taille inférieure à l'UMET de la classe 4.1, les équipements sportifs et de loisirs dont la surface est inférieure à l'UMET de la classe 4.2.

1.2. Grands équipements urbains

Il s'agit d'objets isolés ou de regroupements pouvant comprendre : des établissements d'enseignement (crèches, maternelle, primaire, secondaire, supérieur), des établissements de santé (cliniques, hôpitaux, dispensaires, instituts, établissements, thermaux, ...), des cimetières, des équipements administratifs (mairies, préfectures, gendarmeries, casernes de pompiers, services techniques, lieux de culte, bibliothèques, musées...), des équipements d'eau et d'énergie (stations de production d'eau, de gaz ou de pétrole, stations d'assainissement, usines de production électrique,..), des chenils, des haras.

L'objet isolé ou le regroupement d'objets est cerné en y incluant les espaces attenants ou compris dans l'emprise de l'équipement : parkings, pelouses, espaces vacants, terrains de sport.

Les polygones ainsi délimités peuvent contenir de l'habitat dispersé en leur sein, mais sans dépasser 20 % de leur surface. Sinon l'habitat dispersé devient des polygones de classe 1.1 al sein du polygone 1.2.

2. Surfaces industrielles et commerciales et infrastructures de communication

2.1. Zones industrielles ou commerciales
Il s'agit d'objets isolés ou de regroupements pouvant comprendre : des activités industrielles, (usines, …), des grands établissements agricoles (serres, …), des entrepôts, des laboratoires, des bureaux, des centres commerciaux. Ces objets ou regroupements peuvent constituer des îlots à l'intérieur des zones d'habitat ou des lotissement propres (zones d'activités). L'objet ou le regroupement est cerné en y incluant les parkings, pelouses, et zones d'entreposage à l'air libre attenants, les espaces vacants cernés de bâtiments industriels ou commerciaux. Les polygones ainsi délimités peuvent contenir de l'habitat dispersé en leur sein, mais sans dépasser 20 % de leur surface. Sinon l'habitat dispersé devient des polygones de clase 1.1 au sein du polygone 2.1.

2.2. Infrastructures routières et ferroviaires
Il s'agit des emprises d'infrastructures de transport d'une largeur supérieure ou égale à 40 mètres pouvant contenir des gares ferroviaires, des gares routières (comprenant les faisceaux de triage, et les installations d'entretien des voies ferrées, hangars, entrepôts, corps de gares...), des autoroutes (y compris les échangeurs avec leurs espaces verts, les aires de repos, le! péages), des routes à grande circulation (4 voies ou plus).

2.3 Infrastructures des zones portuaires
Il s'agit des emprises d'infrastructures de transport d'une largeur supérieure ou égale à 40 mètres contenant des installations portuaires. L'emprise entière est cernée (quais, capitaineries, parkings, hangars et entrepôts).

2.3 Infrastructures des aéroportuaires et aérodromes
Il s'agit des emprises d'infrastructures de transport d'une largeur supérieure ou égale à 40 m, pouvant contenir des aérodromes, des aéroports. L'emprise entière est cernée (aérogares, pistes, parkings, surfaces en herbes, hangars et entrepôts).

3. Extraction de matériaux, décharges, chantiers

3.1. Extraction de matériaux, décharges, chantiers
Il s'agit d'espaces en transition entre les espaces urbanisés construits (bâtiments, routes) d'une part, et les autres catégories de "espace (espaces agricoles, espaces boisés, espaces naturels autres, espaces en eau) d'autre part. A la date de la prise de vue, on ne peut dire avec certitude vers quel sens vont évoluer ces espaces. Les objets que l'on trouvera dans cette classe sont les suivants : les zones d'extraction de matériaux naturels (carrières, sablières, gravières, mines à ciel ouvert), les grandes décharges, les chantiers (de construction, de démolition).

Remarque : Les espaces boisés et plans d'eau inclus dans ces « Extractions de matériaux, décharges, chantiers » sont classés dans leurs classes respectives si leur surface est supérieure à l'UMET de leur classe. En dessous de cette surface, ils sont intégrés dans l'enveloppe de l'objet « Extraction de matériaux, décharges, chantiers » concerné.

4. Espaces récréatifs

4.1. Espaces verts (parcs et jardins)
Les objets de cette classe sont : des parcs animaliers ou zoos, des parcs ou jardins, publics ou non.

Remarque : Les espaces boisés et *plans d'eau inclus dans ces Espaces verts (parcs* et *Jardins) sont classés dans leurs classes respectives si leur surface est supérieure* à *l'UMET de leur classe. En dessous de cette surface, ils sont intégrés dans l'enveloppe de l'objet Espaces verts (parcs* et *Jardins) concerné.*

4.2 Equipements sportifs et de loisirs
Il s'agit d'objets isolés ou de regroupements pouvant comprendre des parcs d'attraction ou de loisirs, des Installations sportives de plein air (terrains de football/rugby, tennis, piscines) ou couvertes (tennis, piscines, gymnases, ...) non intégrées dans un établissement d'enseignement), des complexes sportifs regroupant les objets précédents, des centres équestres, des autodromes, des campings, caravanings, des bases de plein air et de loisirs, des golfs, des hippodromes.

L'objet ou le regroupement est cerné en y incluant les bâtis affectés à l'usage concerné, les parkings, pelouses attenantes, les espaces vacants compris dans l'emprise de l'équipement.

Les polygones ainsi délimités peuvent contenir de l'habitat dispersé en leur sein, mais sans dépasser 20 % de leur surface.

Remarque : Les espaces boisés et plans d'eau inclus dans ces Equipements sportifs et de loisirs sont classés dans leurs classes respectives si leur surface est supérieure à l'UMET de leur classe. En dessous de cette surface, ils sont intégrés dans l'enveloppe de l'objet Equipements sportifs et de loisirs concerné.

ANNEXE 4.4 : NOMENCLATURE Clusters

Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4
1. Surfaces artificialisées	1.1 Zones résidentielles, services publics	1.1.1 Zones résidentielles	1.1.1.1 Espaces résidentiels continus et denses 1.1.1.2 Espaces résidentiels continus moyennement denses 1.1.1.3 Espaces résidentiels discontinus moyennement denses 1.1.1.4 Espaces résidentiels isolés 1.1.1.5 Espaces résidentiels collectifs
		1.1.2 Services publics, collectivités	1.1.2.1 Services publics et collectivités
	1.2 Activités industrielles, commerciales	1.2.1 Activités industrielles, commerciales	1.2.1.1 Activités industrielles de type industrie lourde 1.2.1.2 Activités industrielles manufacturières 1.2.1.3 Activités et services commerciaux et financiers 1.2.1.4 Exploitations agricoles
	1.3 Infrastructure technique, infrastructure de transport	1.3.1 Infrastructures techniques	1.3.1.1 Installations réseaux techniques, structure de protection 1.3.1.2 Installations de traitement des eaux et des déchets
		1.3.2 Infrastructures de transport	1.3.2.1 Infrastructures de transport routier 1.3.2.2 Réseau ferré 1.3.2.3 Aéroports et aérodromes 1.3.2.4 Installations de transport fluvial et maritime
	1.4 Industries extractives, chantiers, décharges, friches artificialisées	1.4.1 Industries extractives	1.4.1.1 Industries extractives
		1.4.2 Chantiers, décharges, friches	1.4.2.1 Chantiers 1.4.2.2 Décharges 1.4.2.3 Friches artificialisées
	1.5 Terrains aménagés à usages de loisirs	1.5.1 Terrains aménagés à usages de loisirs	1.5.1.1 Sites à vocation culturelle 1.5.1.2 Equipements sportifs 1.5.1.3 Espaces verts ou récréatifs aménagés
2. Surfaces agricoles utilisées	2.1 Terres labourées	2.1.1 Céréales pour grains	2.1.1.1 Céréales pour grains
		2.1.2 Plantes sarclées, plantes industrielles	2.1.2.1 Plantes sarclées 2.1.2.2 Plantes industrielles non permanentes
		2.1.3 Cultures légumières et floriculture	2.1.3.1 Légumes secs à grains 2.1.3.2 Légume frais 2.1.3.3 Floriculture
		2.1.4 Jachère et engrais verts	2.1.4.1 Jachère et engrais verts
	2.2 Superficie en herbes utilisée à des fins agricoles	2.2.1 Prairies temporaires, artificielles	2.2.1.1 Prairies temporaires, artificielles
		2.2.2 Prairies et pâturages permanents	2.2.2.1 Prairies et pâturages permanents
		2.2.3 Pâturages pauvres	2.2.3.1 Pâturages pauvres
	2.3 Cultures permanentes	2.3.1 Vergers et baies	2.3.1.1 Vergers et baies
		2.3.2 Agrumeraies	2.3.2.1 Agrumeraies
		2.3.3 Oliveraies	2.3.3.1 Oliveraies
		2.3.4 Vignes	2.3.4.1 Vignes
		2.3.5 Pépinières	2.3.5.1 Pépinières
		2.3.6 Cultures industrielles permanentes	2.3.6.1 Cultures industrielles permanentes
3. Surfaces forestières	3.1 Superficie forestière boisée	3.1.1 Feuillus caducifoliés	3.1.1.1 Feuillus caducifoliés
		3.1.2 Feuillus sclérophylles	3.1.2.1 Feuillus sclérophylles
		3.1.3 Résineux	3.1.3.1 Résineux
		3.1.4 Lignicultures	3.1.4.1 Lignicultures

	3.2 Superficie forestière non-boisée	3.2.1 Coupes rases	3.2.1.1 Coupes rases
		3.2.2 Autres superficies improductives	3.2.2.1 Autres superficies improductives
4. Végétation arbustive et herbacée	4.1 Végétation arbustive	4.1.1 Végétation arbustive	4.1.1.1 Formations arbustives des domaines tempérés 4.1.1.2 Formations arbustives xérophytes
	4.2 Végétation herbacée	4.2.1 Végétation herbacée	4.2.1.1 Prairies et pelouses des domaines tempérés 4.2.1.2 Steppes et pelouses xérophytiques
5. Surface avec peu ou pas de végétation	5.1 Surfaces avec peu ou pas de végétation	5.1.1 Sols nus	5.1.1.1 Rochers et éboulis 5.1.1.2 Dunes et plages
		5.1.2 Glaciers et neiges perpétuelles	5.1.2.1 Glaciers et neiges perpétuelles
		5.1.3 Superficies incendiées	5.1.3.1 Superficies incendiées
6. Surfaces humides ou en eau	6.2 Surfaces humides	6.2.1 Surfaces humides	6.2.1.1 Marais, marécages 6.2.1.2 Tourbières 6.2.1.3 Autres surfaces humides
	6.3 Eaux intérieures	6.3.1 Eaux intérieures	6.3.1.1 Cours d'eau et plans d'eau intérieurs 6.3.1.2 Plans d'eau intérieurs utilisés pour la pisciculture
	6.4 Eaux côtières	6.4.1 Eaux côtières	6.4.1.1 Estuaires, lagunes 6.4.1.2 Plans d'eau côtiers pour les cultures marines

Signification des classes « urbaines » de la nomenclature CLUSTERS

1. SURFACES ARTIFICIALISÉES

Surfaces rendues artificialisées par l'action de l'homme ou aménagées à des fins récréatives, y compris leurs espaces connexes.

1.1 Zones résidentielles et services publics

Surfaces essentiellement occupées par des habitations et des bâtiments utilisés par les services publics/administratifs ou des collectivités, y compris leurs espaces connexes (voies d'accès, pelouses, jardins, parcs de stationnement, aires de jeux).

1.1.1 Zones résidentielles

Surfaces essentiellement occupées par des habitations, y compris leurs espaces connexes (voies d'accès, pelouses, jardins, aires de jeux)

1.1.1.1 Espaces résidentiels continus et denses

Surfaces densément occupées par des espaces résidentiels continus, fortement minéralisés, de type centre-ville (noyau urbain dense à très dense où une grande proportion du bâti est constituée d'immeubles de plus de trois étages)

1.1.1.2 Espaces résidentiels continus moyennement denses

Surfaces assez densément occupées par des espaces résidentiels de type faubourg, fréquemment caractéristiques des anciens villages rattachés à la ville et les espaces denses des centres des bourgs ruraux. L'urbanisme peut y être volontaire ou non avec alignement des façades ou pas, de nombreux espaces interstitiels non minéralisés peuvent y être distingués: jardins privés, pelouses...

1.1.1.3 Espaces résidentiels discontinus moyennement denses

Surfaces assez densément occupées par des espaces résidentiels morphologiquement bien structurés de type "lotissement" (résidences, cités ouvrières) formés de maisons individuelles et où le couvert végétal peut occuper une surface importante: jardins privés, petits squares

1.1.1.4 Espaces résidentiels isolés

Surfaces occupées par des bâtiments résidentiels isolés ou formant un tissu résidentiel assez lâche: hameaux, groupements de quelques maisons, petits villages, bâtiments isolés.

1.1.1.5 Espaces résidentiels collectifs

Surfaces occupées par des logements collectifs, généralement constitués de bâtiments de plus de trois étages, et où les espaces verts, aires de stationnement, et aires de jeux couvrent des surfaces importantes.

1.1.2 Services publics et collectivités

Surfaces occupées par des administrations publiques, semi-publiques ou privées fournissant des services marchands ou non-marchands; y compris leurs espaces connexes: voies d'accès, pelouses, parcs de stationnement.

Cette catégorie comprend :

- les surfaces occupées par des services administratifs publics: sièges d'organisations internationales, parlements, ministères; administrations centrales, régionales ou locales;
- les surfaces occupées par des services de justice (tribunaux);
- les surfaces occupées par des services de sécurité et d'ordre public: casernes de pompier et de gendarmerie, hôtels de police, établissements pénitentiaires;
- les installations de la défense nationale: ouvrages militaires, forts, casernes, champs de tir, casemates, bases d'expérimentation militaire;
- les surfaces occupées par des services administratifs publics ou privés de sécurité sociale, d'hygiène publique, de santé (hôpitaux, cliniques, maternités, dispensaires, sanatoriums, établissements de thermalisme, thalassothérapie, centres de rééducation), des services vétérinaires (cliniques vétérinaires),
- les surfaces occupées par des oeuvres sociales: maisons de retraite, orphelinats, crèches, jardins d'enfants . les surfaces occupées par des associations professionnelles et syndicats (sièges d'associations);
- les surfaces occupées par des administrations publiques ou privées dans le domaine de l'enseignement et de la recherche et du développement (écoles, lycées, universités, laboratoires de recherche, campus universitaires, centres de congrès);
- les surfaces occupées par des lieux de culte (églises, chapelles, temples, mosquées, synagogues, monastères, couvents, abbayes)

1.2 Activités industrielles et commerciales

Surfaces occupées par des activités dominantes dans les domaines de l'industrie et du commerce y compris leurs espaces connexes (immeubles de bureaux, parcs de stationnement, voies d'accès, pelouses, zones de stockage, décharges industrielles). Cette catégorie inclut les bâtiments des exploitations agricoles et sylvicoles.

Cette catégorie ne comprend pas : *les industries extractives 1.4.1 et les décharges 1.4.2*

1.2.1.1 Activités industrielles de type industrie lourde

Surfaces occupées par des activités industrielles de première transformation, y compris leurs espaces connexes.

Cette catégorie comprend:

- les cokeries
- les installations de craquage et de raffinage du pétrole
- les installations de production et de première transformation des métaux: hauts-fourneaux, trains de laminoir, fonderies.
- les installations produisant des produits minéraux non-métalliques: verreries, fabriques de céramique, cimenteries, briqueteries,
- fours à chaux, plâtreries, tuileries.
- les installations industrielles dans le domaine de la chimie de base, de l'agro-chimie, de la production de fibres synthétiques et artificielles ou d'autres produits: peintures, vernis, pharmacie, détergents, explosifs, colles.

1.2.1.2 Activités industrielles manufacturières

Surfaces occupées par des activités industrielles principalement manufacturières, y compris leurs terrains connexes.

Cette catégorie comprend:

- les activités de transformation des métaux: fabrication d'ouvrages en métaux, construction de machines et matériel mécanique, construction de matériel de transport y compris les chantiers navals, construction de machines de bureau, construction électrique et électronique, fabrication d'instruments de précision, d'optique et similaires)
- l'industrie agro-alimentaire, des boissons et du tabac
- l'industrie textile
- l'industrie du cuir, de la chaussure et de l'habillement
- l'industrie du bois, du papier et fabrication d'articles en papier
- l'industrie du caoutchouc et la transformation des matières plastiques
- les entreprises de bâtiment et travaux publics

1.2.1.3 Activités et services commerciaux - financiers

Surfaces essentiellement occupées par des activités commerciales, y compris leurs terrains connexes.

Cette catégorie comprend:

- les services de commerce de gros ou de détail: centres commerciaux, galeries marchandes, grands magasins, halls de foire et d'exposition, entrepôts commerciaux, entrepôts frigorifiques, marchés couverts, stations-service
- les services de restauration et hébergement (hôtels, motels, restaurants) . les services de réparation (Garages)
- les banques, institutions de crédit, assurances, auxiliaires financiers et d'assurances . les services aux entreprises, services de location et services personnels.

1.2.1.3 Exploitations agricoles

Surfaces occupées par les bâtiments d'habitation des fermes et leurs dépendances: Bâtiments d'habitation, bâtiments d'exploitation (hangars, remises, granges, celliers, serres, silos), bâtiments destinés à la production animale (étables, écuries, porcheries, bergeries, poulaillers industriels), jardins familiaux, cours de ferme

1.3 Infrastructure technique, infrastructure de transport

Surfaces essentiellement occupées par des infrastructures spécialisées et des infrastructures de transport, y compris leurs espaces connexes.

1.3.1 Infrastructure techniques

Surfaces occupées par des infrastructures techniques spécialisées, y compris leurs terrains connexes

1.3.1.1 Installations et réseaux techniques; structures de protection

Surfaces occupées par des infrastructures techniques spécialisées dans la production, la distribution et la transmission d'énergie électrique et la distribution d'hydrocarbures et d'eau; ou par des installations de télécommunication, des structures de protection; y compris leurs espaces connexes.

Cette catégorie comprend:

- des installations techniques servant à produire, distribuer et transmettre de l'énergie électrique: centrales hydrauliques ou thermiques, usines de traitement du combustible nucléaire, éoliennes, transformateurs, lignes haute-tension, barrages hydroélectriques et pylônes, usines à gaz
- des installations de distribution des hydrocarbures, y compris les installations de liquéfaction ou regazification pour transport: oléoducs, gazoducs, pipelines, stockage
- des installations de distribution de l'eau y compris l'eau chaude et la vapeur: châteaux d'eau
- des surfaces occupées par des infrastructures de télécommunication: relais, antennes TV, radiotélescopes, radars . des ouvrages de protection: barrages de retenue, digues de protection

1.3.1.2 Installations de traitement des eaux et des déchets

Surfaces occupées par des installations de captage et épuration des eaux (Stations de pompage, filtrage et captage des eaux, stations d'épuration des eaux usées, décanteurs, champs d'épandage) et d'élimination des déchets (Incinérateurs).

1.3.2 Infrastructures d transport

Surfaces occupées par des infrastructures de transport et des entreprises de service dans le domaine des transports, y compris leurs terrains connexes

1.3.2.1 Infrastructures de transport routier

Surfaces occupées par des infrastructures de transport routières ainsi que leurs espaces connexes, (remblais et bordures).

Cette catégorie comprend : les autoroutes, voies rapides, routes, embranchements, carrefours, échangeurs . les ouvrages de franchissement (ponts), les aires de repos autoroutières . les gares routières, parcs de stationnement, lignes de tramways . les bureaux commerciaux liés à l'activité

1.3.2.2 Réseaux ferrés

Surfaces occupées par les réseaux ferrés ainsi que leurs espaces connexes, (remblais et bordures).

Cette catégorie comprend : les périmètres de gares, les voies ferrées hors gare, voies de manoeuvre et de triage, les ouvrages de franchissement, les installations de réparation, maintenance, les bureaux commerciaux liés à l'activité et immeubles administratifs, les téléfériques.

Cette catégorie ne comprend pas: *les lignes de tramways (A32I)*

1.3.2.3 Aéroports et aérodromes

Surfaces occupées par des installations aéroportuaires et leurs espaces connexes.

Cette catégorie comprend : les aérogares, les pistes, les entrepôts, les bureaux et les hangars ; les pelouses et sols nus du périmètre aéroportuaire ; les aérodromes à usage de loisirs et les héliports.

Cette catégorie ne comprend pas: *les aérodromes militaires (AI2)*

1.3.2.4 Installations de transport fluvial et maritime

Surfaces occupées par des installations liées aux activités de transport fluvial et maritime

Cette catégorie comprend :

- les ouvrages portuaires: quais, docks, bassins, jetées, môles, chêneaux

- les ouvrages spécifiques du réseau fluvial: écluses, ponts-canaux, ascenseurs
- les quais, les zones de chargement et de déchargement, les installations de manutention ou de levage, les équipements de transbordement fluviaux ou maritimes,
- les zones d'entreposage,
- les terminaux d'hydrocarbures
- les bureaux dont l'activité est liée à l'activité portuaire

Cette catégorie ne comprend pas : *les chantiers navals.*

1.4 Industrie extractive, chantiers, décharges, friches

Surfaces principalement occupées par des mines, des carrières, des chantiers, des décharges et des friches artificialisées, y compris leurs espaces connexes.

Cette catégorie ne comprend pas: *les carrières, gravières et sablières abandonnées*

1.4.1 Industrie extractive

Surfaces occupées par des installations d'extraction de combustibles solides, de pétrole et gaz naturel et de divers matériaux solides, y compris leurs espaces connexes (terrils, décharges et sites de stockage, stations de chargement ou déchargement, puits, chevalements, parcs de stationnement, voies d'accès, bureaux).

Cette catégorie comprend:

- les périmètres d'extraction et d'agglomération de combustibles solides (charbon, lignite): puits, carreaux, excavations, terrils, dépôts
- les périmètres d'extraction de pétrole et de gaz naturel, y compris les minéraux et schistes bitumineux
- les périmètres d'extraction de minerais métalliques: fer et métaux non-ferreux: or, bauxite, cuivre, nickel, plomb, zinc, étain...;
- les périmètres d'extraction d'autres minéraux: uranium et thorium, tourbe, minéraux chimiques et fertilisants: calcium, phosphates, pyrites, sulfures
- les périmètres d'extraction de sel: mines, marais salants,
- les périmètres d'extraction de pierres de construction: marbre, granite, grès, craie, gypse, chaux, dolomite, ardoises . les périmètres d'extraction de sables et argiles: graviers, sables, argiles, kaolin.

1.4.2 Chantiers, décharges, friches

Surfaces occupées par des chantiers, décharges et friches artificialisées

1.4.2.1 Chantiers

Surfaces occupées par des chantiers de bâtiments et travaux publics en cours (quel que soit le degré d'achèvement)

1.4.2.2 Décharges

Surfaces occupées par des décharges publiques ou privées à l'exception des décharges sur sites industriels.

1.4.2.3 Friches artificialisées

Surfaces occupées par des espaces artificialisés abandonnés: résidentiels, industriels, commerciaux, infrastructures, y compris les surfaces artificialisées incendiées.

1.5 Terrains aménagés à usages de loisirs

Surfaces aménagées de manière volontariste à usage principal de loisirs.

Cette catégorie ne comprend pas : les espaces pouvant être utilisés à des fins de loisirs mais dont ce n'est pas l'utilisation principale: forêts, espaces naturels ou semi-naturels non spécifiquement aménagés, espaces agricoles, les plages; les résidences secondaires, les pistes de ski.

1.5.1.1 Sites à vocation culturelle

Surfaces occupées par des sites historiques remarquables ou des bâtiments à vocation culturelle, y compris leurs espaces connexes (plans d'eau, surfaces boisées, pelouses, vergers, parcs de stationnement, voies d'accès, dépendances).

Cette catégorie comprend:

- les sites archéologiques,
- les monuments et châteaux classés
- les musées, bibliothèques et médiathèques
- les salles de cinéma, de concert, de théâtre ou d'opéra, les conservatoires de musique

1.5.1.2 Equipements sportifs

Surfaces occupées par des installations sportives couvertes ou de plein-air, y compris leurs espaces connexes (gradins tribunes, parcs de stationnement).

Cette catégorie comprend : les stades, terrains de sport et terrains de jeux de grande dimension, les courts de tennis . les installations de plein air spécifiques aux sports d'hiver . les piscines, gymnases, salles de sport, patinoires.

Cette catégorie ne comprend pas : *les golfs, hippodromes et circuits automobiles (A503)*

1.5.1.3 Espaces verts ou récréatifs aménagés.

Surfaces spécialement aménagées à usage de loisirs ou de récréation, avec généralement un couvert végétal important.

Cette catégorie comprend:

- les parcs et jardins: parcs urbains, jardins publics, jardins zoologiques, jardins botaniques
- les grands cimetières utilisés comme lieux de promenade avec couvert végétal important . les campings et caravanings . les golfs
- les hippodromes
- les circuits automobiles
- les parcs d'attractions, parcs de loisirs, cirques, casinos, salles des fêtes, dancings . les auberges de jeunesse et centres aérés . les ports de plaisance . les jardins ouvriers

Cette catégorie ne comprend pas : *les plages, les résidences secondaires*

ANNEXE 4.5 : CLASSES AJOUTÉES À LA NOMENCLATURE CORINE LAND COVER DANS LE CADRE DE MURBANDY

Niveau 3	Niveau 4
1.1.1 Tissu urbain continu à dominante résidentielle	1.1.1.1 Tissu urbain résidentiel continu dense 1.1.1.2 Tissu urbain résidentiel continu moyennement dense
1.1.2 Tissu urbain discontinu à dominante résidentielle	1.1.2.1 Tissu urbain discontinu 1.1.2.2 Tissu urbain lâche (végétation importante)
1.2.1 Zones industrielles et commerciales	1.2.1.1 Zones industrielles 1.2.1.2 Zones commerciales 1.2.1.3 Services publics et privés
1.2.2 Réseaux routier et ferroviaire et espaces associés	1.2.2.1 Zones de péage 1.2.2.2 Réseau routier autre 1.2.2.3 Réseau ferré
1.3.1 Extraction de matériaux 1.3.2 Décharges 1.3.3 Chantiers 1.3.4 Terrains abandonnées	
5.1.1 Cours et voies d'eau	5.1.1.1 Canal, voie d'eau 5.1.1.2 Cours d'eau

Signification des classes ajoutées de CORINE land cover pour Murbandy

1.1.1 Tissu urbain continu à dominante résidentielle

Plus de 80% de la surface est occupée par des bâtiments résidentiels. Les zones non-linéaires de végétation et de sol nu sont exceptionnelles. Les routes et les bâtiments disposés le long de celles-ci de largeur inférieure à 25 m sont classées dans la catégorie tissu urbain résidentiel continu à partir du moment où ils occupent une surface supérieure à 1 ha.

1.1.1.1 Tissu urbain résidentiel continu dense

Plus de 80% de la surface est occupée par des structures résidentielles. Plus de 50% des bâtiments ont trois étages et plus.

1.1.1.2 Tissu urbain résidentiel continu moyennement dense

Plus de 80% de la surface est occupée par des structures résidentielles. Moins de 50% des bâtiments ont trois étages et plus.

1.1.2 Tissu urbain discontinu à dominante résidentielle

1.1.2.1 Tissu urbain discontinu

10 à 80% de la surface est couverte par des bâtiments résidentiels. Bâtiments, routes et surfaces artificialisées sont associés à des zones de végétation et de sol nu.

1.1.2.2 Tissu urbain lâche (végétation importante)

Les bâtiments, les routes et les autres surfaces artificialisées occupent entre 10 et 50 % de la surface globale. Les zones couvertes de végétation prédominent mais le sol n'est pas voué à une utilisation forestière ou agricole.

1.2.1 Zones industrielles et commerciales

Bâtiments, parkings et routes d'accès couvrent moins de 50% de la surface totale.

1.2.1.1 Zones industrielles

Il s'agit de zones occupées par des activités industrielles, principalement liées à la fabrication, et incluant leurs espaces connexes.

1.2.1.2 Zones commerciales

Surfaces occupées par des activités commerciales, incluant leurs surfaces connexes.

1.2.1.3 Services publics et privés

Il s'agit de surfaces occupées par l'Etat, par les administrations semi-publiques ou privées, et par leurs espaces connexes (routes d'accès, gazons, parking).

ANNEXE 4.6 : LISTE DES OBJETS DE LA BD TOPO PAR THÈMES.

1. VOIES DE COMMUNICATIONS ROUTIERES
1.1.01 TRONCON_ROUTE
1.1.02 TRONCON_BORD_ROUTE
1.1.03 SEPARATEUR
1.1.05 CHEMIN
1.1.06 SENTIER
1.1.07 PISTE_CYCLABLE
1.1.08 ALLEE
1.1.09 ESCALIER
1.1.10 ESCALIER_SURF
1.1.11 PONT
1.1.12 PONT_SURF
1.1.13 PARAPET
1.1.14 TUNNEL
1.1.15 PASSERELLE
1.1.16 BAC
1.1.17 GUE
1.1.18 CARREFOUR_NA
1.1.19 CARREFOUR
1.1.20 PARC_STAT
1.1.21 PEAGE
1.1.22 AIRE
1.1.23 BARRIERE
1.2.1 C_ROUTE
1.2.2 C_GR

2. VOIES FERREES, TRANSPORT D'ENNERGIE
2.1.01 TRONCON_VOIE_FERREE
2.1.02 GARE
2.1.03 VOIE_FERREE_SPECIALE
2.1.04 TRANSPORT_URBAIN
2.1.05 TRANSPORT_CABLE
2.1.06 LIGNE_ELEC
2.1.07 PYLONE_ELEC
2.1.08 PORTIQUE
2.1.09 CENTRALE
2.1.10 POSTE_TRANSFO
2.1.11 CONDUITE_MAT_PREM
2.1.12 RESERVOIR_MAT_PREM

3. HYDROGRAPHIE
3.1.01 TRONCON_COURS_D'EAU
3.1.02 SURF_COURS_D_EAU
3.1.03 TRONCON_COURS_TEMP
3.1.04 SURF_COURS_TEMP
3.1.05 CANAL
3.1.06 CANAL_SURF
3.1.07 STATION_POMPAGE
3.1.08 PERTE
3.1.09 AQUEDUC
3.1.10 CONDUITE_FORCEE
3.1.11 CASCADE_N
3.1.12 CASCADE
3.1.13 BARRAGE_EN_DUR
3.1.14 LIMITE_AVAL_BARRAGE
3.1.15 BARRAGE_EN_TERRE
3.1.16 BASSIN
3.1.17 RESERVOIR_D_EAU
3.1.18 POINT_D_EAU
3.1.19 CHATEAU_D_EAU
3.1.20 ECLUSE
3.1.21 PHARE
3.1.22 FEU
3.1.23 BALISE_MARINE
3.1.24 PECHERIE
3.1.25 PECHERIE_SURF
3.1.26 QUAI
3.1.27 PONTON
3.1.28 TRONCON_LAISSE
3.1.29 SURFACE_HYDRO
3.1.30 ZONE_INONDABLE
3.1.31 SABLE_VASE
3.1.32 GRAVIERS_GALETS
3.1.33 ROCHERS_HYDRO
3.1.34 VEGETATION_AQUA
3.1.35 MARAIS_SALANT
3.1.36 EAU_MARINE
3.2.01 C_COURS_D_EAU

4. LIGNES ET LIMITES DIVERSES
4.1.01 MUR
4.1.02 MUR_SOUTENEMENT
4.1.03 RANGEE_ARBRES
4.1.04 RANGEE_ARBRES_OR
4.1.05 HAIE
4.1.06 LIMITE_PERMANENTE
4.1.07 CLOTURE
4.1.08 LEVEE
4.1.09 BAS_LEVEE
4.1.10 TALUS
4.1.11 BAS_TALUS

5. BATIMENTS, EQUIPEMENTS DIVERS
5.1.01 LIMITE_INT_TOIT
5.1.02 BATIMENT_QUELCONQUE
5.1.03 BATIMENT_INDUST_AGRI
5.1.04 SILO
5.1.05 SERRE
5.1.06 CONSTRUCTION_LEGERE
5.1.07 RUINE
5.1.08 BATIMENT_REMARQUABLE
5.1.09 BATIMENT_N_REMARQUABLE
5.1.10 CONSTRUCTION_SPECIALE
5.1.11 CONTRUCTION_N_SPECIALE
5.1.12 REFUGE
5.1.13 HABIT_TROGLO
5.1.14 GROTTE
5.1.15 BATIMENT_RELIGIEUX
5.1.17 CLOCHER
5.1.18 MONUMENT
5.1.19 MONUMENT_N
5.1.20 MONUMENT_RELIGIEUX
5.1.21 MONUMENT_MEGA
5.1.22 ARENE
5.1.23 SALLE_SPORTS
5.1.24 TRIBUNE
5.1.25 VESTIGE_MILITAIRE
5.1.26 VESTIGE_N_MILITAIRE
5.1.27 PISTE_AERODROME
5.1.28 RATELIER
5.1.29 DALLE_PROTECTION
5.1.30 TERRAIN_FOOTBALL
5.1.31 TERRAIN_TENNIS
5.1.32 PISTE_ATHLETISME
5.1.33 PISTE_SPORTS
5.1.34 EQUIPEMENT_JEUX_D_HIVER
5.1.35 POINT_DE_VUE
5.1.36 CIMETIERE
5.1.37 ENC_COMMERCIALE
5.1.38 ENC_INDUSTRIELLE
5.1.39 ENC_PUBLIQUE

6. VEGETATION
6.1.01 ARBRE_REMARQUABLE
6.1.02 BOIS
6.1.03 BROUSSAILLES
6.1.04 VERGER
6.1.05 VIGNE
6.1.06 MANGROVE
6.1.07 CANNE_A_SUCRE
6.1.08 BANANE

7. OROGRAPHIE
7.1.01 LIGNE_DESCRIPTIVE
7.1.02 COULEE_D_EBOULIS
7.1.03 BORD_CREVASSE
7.1.04 BLOC_ROCHEUX
7.1.05 GLACIER
7.1.06 MORAINE
7.1.07 ROCHERS_ORO
7.1.08 EBOULIS
7.1.09 SABLE_SEC
7.1.10 FOND_CUVETTE
7.1.11 RAVINES

8. ALTIMETRIE
8.1.01 POINT_COTE_SOMMET
8.1.02 POINT_COTE_CUVETTE
8.1.03 POINT_COTE_COL
8.1.04 POINT_COTE_NAT
8.1.05 POINT_COTE_RESEAU
8.1.06 TRONCON_COURBE
8.1.07 TRONCON_COURBE_CUVETTE
8.1.08 TRONCON_COURBE_BATHY

9. LIMITES ADMINISTRATIVES
9.1.02 LIMITE_AD
9.1.03 FORET
9.1.04 CHAMP_DE_TIR
9.1.05 PARC_NATUREL
9.2.1 C_REGION
9.2.2 C_DEPARTEMENT
9.2.3 C_ARRONDISSEMENT
9.2.5 C_COMMUNE

10. TOPONYMIE
10.1.01 TOPO_FLOU

11. DIVERS
11.1.02 LIGNE_INDEF

© IGN Paris 1999 **BD TOPO®** Spécifications détaillées / édition 6 de février 1999 page 26

ANNEXE 4.7 : CARACTÉRISTIQUES DES BASE DE DONNÉES D'OCCUPATION DU SOL PROPOSÉES PAR DS SOCIÉTÉS PRIVÉES

	GEOmetris 3D	GEOmetris 2D	GEOpolis Plus	GEOpolis Basic	GEOlandis Basic 1000	GEOlandis Basic 500	GEOlandis Basic 250	GEOlandis Plus 250	GEOlandis Plus 200
Résolution	2 à 5 m	5 m	10 m	20 à 40 m	200 à 400m	100 à 200m	50 à 100m	50 à 100m	50 à 100m
Echelle Carto	GPS différentiel	1/25 000e ou GPS	1/50 000e	1/100 000e	1/1 000 000e	1/500 000e	1/250 000e	1/250 000e	1/200 000e
Aire Couverte	>25 km²	>100 km²	10 à 45 km²	20 à 90 km²	250 000 km²	100 000km²	50 000km²	50 000km²	25 000km²
Image Satellite	IKONOS 1M STÉRÉO	IKONOS 4M, IRS	SPOT P ou IRS	LANDSAT	non	non	non	LANDSAT	LANDSAT
Précision XY	2 à 2.5 m	5 m	12,5 à 20 m	25 à 40 m	200 à 400m	100 à 200m	50 à 100m	50 à 100m	50 à 100m
Précision Z	1 à 2.5 m	5 m	7,5 à 15 m	20 à 25 m	100 à 200m	50 à 100m	37,5 à 75m	37,5 à 75m	25 à 75m
Clutter	16 classes	16 classes	16 classes	12 classes	6 classes	7 classes	7 classes	10 classes	10 classes
Typologie	Urbain collectif dense Urbain individuel dense Urbain collectif moyennement dense Urbain individuel Groupes d'immeubles hauts immeubles hauts isolés Urbain diffus Centres anciens Zones industrielles et commerciales Espaces ouverts intra-urbains Zones boisées intra-urbains Villages Espaces ouverts Zones boisées Eaux intérieures Mers et Océans	Urbain collectif dense Urbain individuel dense Urbain collectif moyennement dense Urbain individuel Groupes d'immeubles hauts immeubles hauts isolés Urbain diffus Centres anciens Zones industrielles et commerciales Espaces ouverts intra-urbains Zones boisées intra-urbains Villages Espaces ouverts Zones boisées Eaux intérieures Mers et Océans	Urbain collectif dense Urbain individuel dense Urbain collectif moyennement dense Urbain individuel Groupes d'immeubles hauts immeubles hauts isolés Urbain diffus Centres anciens Zones industrielles et commerciales Espaces ouverts intra-urbains Zones boisées intra-urbains Villages Espaces ouverts Zones boisées Eaux intérieures Mers et Océans	Urbain dense Urbain moyennement dense Urbain diffus Immeubles hauts Zones industrielles et commerciales Espaces ouverts intra-urbains Zones boisées intra-urbains Villages Espaces ouverts Zones boisées Eaux intérieures Mers et Océans	Grandes villes Petites villes Villages Espaces ouverts Zones boisées Eaux intérieures Mers et Océans <u>Réseau</u> Autoroutes routes principales routes secondaires voies ferrées hydrographie frontières	Grandes villes Petites villes Villages Espaces ouverts Zones boisées Eaux intérieures Mers et Océans <u>Réseau</u> Autoroutes routes principales routes secondaires voies ferrées hydrographie frontières aéroports	Grandes villes Petites villes Villages Espaces ouverts Zones boisées Eaux intérieures Mers et Océans <u>Réseau</u> Autoroutes routes principales routes secondaires voies ferrées hydrographie frontières aéroports	Urbain dense Urbain moyennement dense Zones industrielles et com. Espaces ouverts intra-urbains Zones boisées intra-urbains Villages Espaces ouverts Zones boisées Eaux intérieures Mers et Océans

ANNEXE 4.8 : NOMENCLATURE LUCAS

LUCAS nomenclature

Nomenclature of land cover

ARTIFICIAL LAND	BUILT-UP AREAS	Buildings with 1 to 3 floors
		Buildings with more than 3 floors
		Greenhouses
	ARTIFICIAL NON BUILT-UP AREAS	Non built-up area features
		Non built-up linear features
CROPLAND	CEREALS	Common wheat
		Durum Wheat
		Barley
		Rye
		Oats
		Maize
		Rice
		Other cereals
	ROOT CROPS	Potatoes
		Sugar beet
		Other root crops
	NON PERMANENT INDUSTRIAL CROPS	Sunflower
		Rape seeds
		Soya
		Cotton
		Other fibre and oleaginous crops
		Tobacco
		Other non permanent industrial crops
	DRY PULSES, VEGETABLES	Dry pulses
		Tomatoes
		Other fresh vegetables
		Floriculture and ornamental plants
	TEMPORARY, ARTIFICIAL PASTURES	Temporary, artificial pastures
	FALLOW LAND	Fallow land
	PERMANENT CROPS FRUIT TREES, BERRIES:	Apple fruit
		Pear fruit
		Cherry fruit
		Nuts trees
		Other fruit trees and berries
		Oranges
		Other citrus fruit
	OTHER PERMANENT CROPS	Olive groves
		Vineyards
		Nurseries
		Permanent industrial crops
WOODLAND	FOREST AREA	Broadleaved forest
		Coniferous forest
		Mixed forest
	OTHER WOODED AREA	Other broadleaved wooded area
		Other coniferous wooded area
		Other mixed wooded area
	POPLARS, EUCALYPTUS	Poplars, eucalyptus
SHRUBLAND		Shrubland with sparse tree cover
		Shrubland without tree cover
PERMANENT GRASSLAND		Permanent grassland with sparse tree/shrub cover
		Permanent grassland without tree/shrub cover
BARE LAND		Bare land
WATER AND WETLAND		Inland water bodies
		Inland running water
		Coastal water bodies
		Wetland
		Glaciers, permanent snow

Nomenclature of land use

U1	U11	AGRICULTURE
	U12	FORESTRY
	U13	FISHING
	U14	MINING, QUARRYING
U2	U21	ENERGY PRODUCTION
	U22	INDUSTRY, MANUFACTURING
U3	U31	TRANSPORT, COMMUNICATION, STORAGE,
	U32	WATER, WASTE TREATMENT
	U33	CONSTRUCTION
	U34	COMMERCE, FINANCE, BUSINESS
	U35	COMMUNITY SERVICES
	U36	RECREATION, LEISURE, SPORT
	U37	RESIDENTIAL
U4	U40	UNUSED

Noise nomenclature

ROAD TRAFFIC
AIR TRAFFIC
RAIL TRAFFIC
INDUSTRIAL ACTIVITY
FARMING, FORESTRY
NATURAL NOISE (WIND, LIVESTOCK, BIRDS, RUNNING WATER)
HUMAN VOICES
OTHER SOURCES

Nomenclature of Natural hazards

NO VISIBLE TRACE
BURNED AREA
FLOODED AREA
AREA AFFECTED BY LANDSLIDE
AREA AFFECTED AVALANCHES
AREA AFFECTED BY GALES (WIND FALL)

ANNEXE 5.1 : IDENTIFICATION DU SEUIL DE RESOLUTION SPATIAL MINIMAL POUR LES OBJETS ISSUS DU DICTIONNAIRE D'OBJETS URBAINS

LIBELLE	ECHELLE	PRECISISON	MISE A JOUR	RESOLUTION MINIMALE
Découpage administratif				
Sudivision fiscale	1/1000e	cm		impossible
Parcelle cadastrale	1/1000e	cm		impossible
Section cadastrale	1/1000e	cm		impossible
Feuille cadastrale	1/1000e	cm		impossible
Ilôt INSSEE	1/1000e	dm	10 ans	impossible
Quartier INSEE	1/1000e	dm	10 ans	impossible
Secteurs postaux	1/1000e	m	10 ans	impossible
Limites de quartiers et de sous-quartiers	1/500e et 1/1000e	m	10 ans	impossible
Limites de commune	1/500e et 1/10000e	m	10 ans	impossible
Limites de cantons	1/500e et 1/50000e	m	10 ans	impossible
Limites de département	1/500e et 1/50000e	m	10 ans	impossible
Limites de région	1/500e et 1/100000e	m	10 ans	impossible
Découpages électoraux	1/5000e et 1/10000e	m	10 ans	impossible
Urbanisme réglementaire				
Zones du POS (servitudes, règlementaires, zonages)	1/2000e	m	mensuel à annuel	impossible
Zones d'Aménagement Concerté	1/2000e	m	mensuel à annuel	zonage possible sur images satellites
Zones d'Aménagement Différé	1/2000e	m	mensuel à annuel	
Zones à Risque Archéologique	1/2000e	m	mensuel à annuel	
Zones de protection des monuments historiques	1/2000e	m	mensuel à annuel	
Plans d'alignement	1/2000e	m	mensuel à annuel	
Plan d'Exposition au Bruit	1/2000e	m	mensuel à annuel	
Plan d'Exposition aux Risques naturels	1/10 000e	m	5 ans	
Plan d'Aménagement d'Ensemble	1/10 000e	m	5 ans	
Périmètres de Protection des Risques	1/10 000e	m	5 ans	
Périmètres de Restauration Immobilière	1/10 000e	m	annuel	
Emplacements réservés	1/10 000e	m	annuel	
Terrains classés	1/10 000e	m	5 ans	
Sites et édifices classés	1/10 000e	m	5 ans	
Secteur Sauvegardé	1/10 000e	m	annuel	
Droit de préemption urbain	1/10 000e	m	annuel	impossible
Servitudes	1/10 000e	m	annuel	impossible
Monuments Historiques	1/10 000e	m	5 ans	impossible
Bâtiments/Construction				
Adresse postale	/	/	permanente	impossible
Bâtiment et annexe (public, privé)	1/200e ; 1/500e ; 1/2000e	quelques cm	5 ans	1 m
Bâtiments commerciaux, entreprises, industries…	1/200e ; 1/500e ; 1/2000e	quelques cm	permanente	1 m
Ensembles immobiliers	1/200e	quelques cm	permanente	1 m
Terrasse	1/200e	quelques cm	permanente	< 50 cm
Passage	1/200e	quelques cm	permanente	< 50 cm
Rampe d'accès au bâtiment	1/200e	quelques cm	permanente	impossible
Lieux de culte	1/500e	quelques cm	permanente	impossible
Hauteur des bâtiments (nb niveaux ou m)	1/500e et 1/2000e	quelques cm	permanente	oui/impossible
Calvaire	1/500e et 1/2000e	quelques cm	permanente	< 50 cm
Surface bâtie (tissus urbains)	1/5000e	1 m	permanente	< 5 m
Continuité bâtie	1/25 000e	10 m	annuelle	< 5 m

LIBELLE	ECHELLE	PRECISISON	MISE A JOUR	RESOLUTION MINIMALE
Equipement				
Divers				
Escalier dans la voirie	1/200e	cm	permanente	< 50 cm
Escalier lié au batiment privé	1/200e	cm	permanente	< 50 cm
Passage piéton/marquage au sol	1/200e	cm	permanente	50 cm
Digue	1/200e	cm	permanente	1 m
Rambarde	1/200e ; 1/2000e	cm	permanente	impossible
Rampe	1/200e ; 1/2000e	cm	permanente	impossible
Cloture légère (limite matérialisée)	1/200e ; 1/2000e	cm	permanente	impossible
Cimetières	1/500e ; 1/2000e	m	permanente	1 m
Sport et loisirs			permanente	
Piscines extérieure (publique ou privée)	1/200e	cm à m	permanente	1 m pour grande
Aires de jeux	1/200e ; 1/2000e	m	permanente	1 m
Terrains de sport	1/2000e	m	permanente	1 m
Zone sportive	1/10 000e	m	permanente	1 m
Zone de loisirs	1/10 000e	m	permanente	1 m
Environnement				
Récupérateur de déchets (déchetterie)	1/200e	m	permanente	< 50 cm
Conteneurs/Récupérateur (huile, papier, verres)	1/200e	m	permanente	impossible
Fosse ordures urbaines, décharge	1/200e	m	permanente	impossible
Station de mesure des polluants atmosphériques	1/200e	m	permanente	impossible
Capteurs de la qualite de l'eau	1/200e	m	permanente	impossible
Château d'eau, reservoir	1/200e	m	permanente	1 m
Assainissement				
Station de pompage	1/200e	qques cm	permanente	impossible
Station d'épuration	1/200e	qques cm	permanente	< 50 cm
Repère de triangulation	1/500e	cm	permanente	impossible
Station de polygonation	1/500e	cm	permanente	impossible
Detail topographique	1/500e	cm	permanente	impossible
Repere de nivellement	1/500e	cm	permanente	impossible
Point de canevas	1/500e	cm	permanente	impossible
Point d'assemblage	1/500e	cm	permanente	impossible
Courbes de niveau	1/500e	cm	permanente	impossible
Transport				
Voies et contenu				
Conduites (eau, assainissement, électricité, gaz)	1/200e ; 1/2000	cm	permanente	impossible
Sens d'ecoulement des collecteurs	1/500e	cm	permanente	impossible
Autoroutes	1/200e ; 1/500e au 1/25 000e	cm à m	permanente	1 m
Echangeurs	1/200e ; 1/500e au 1/25 000e	cm à m	permanente	1 m
Routes nationales	1/200e ; 1/500e au 1/25 000e	cm à m	permanente	1 m
Routes départementales	1/200e ; 1/500e au 1/25 000e	cm à m	permanente	1 m
Voies vicinales	1/200e ; 1/500e au 1/10 000e	cm à m	permanente	1 m
Chemin, piste carossable, sentier	1/200e	cm	permanente	1 m
Pistes cyclables	1/500e ; 1/2000e	m	permanente	50 cm
Emprise de la voie ferrée (trains, tram, métro)	1/2000e au 1/10 000e	/	permanente	< 50 cm
Filaire des vioies	1/2000e ou schéma	/	permanente	1 m
Eléments linéaires (routes, fer, …)	1/25 000e	m	annuelle	< 5 m
Type de recouvrement	1/200e	/	permanente	impossible
Sens de circulation	1/200e	cm	permanente	
Glissières de sécurité	1/200e	cm	permanente	< 50 cm
Feux de signalisation	1/200e	cm	permanente	< 50 cm
Trottoir et bordure	1/200e	cm	permanente	< 50 cm
Carrefour	1/200e	cm	permanente	50 cm
Ilot directionnel ou de séparation	1/200e	cm	permanente	50 cm
Aiguillage	1/200e ; 1/2000e	cm	permanente	< 50 cm
Berge aménagée (halage et marchepied)	1/200e ; 1/2000e	cm	permanente	< 50 cm

LIBELLE	ECHELLE	PRECISISON	MISE A JOUR	RESOLUTION MINIMALE
Ouvrages d'art				
Paserelle tobogan	1/200e	cm	permanente	< 50 cm
Support de tobogan	1/200e	cm	permanente	impossible
Passage bateau, écluse, ascenceur	1/200e	cm	permanente	1 m
Pont	1/500e	cm	permanente	1 m
Tunnel	1/200e	cm	permanente	1 m
Aéroport, Aérodrome	1/2000e (POS)	m	permanente	1 m
Stationnement et places				
Aire de stationnement, parking extérieur	1/200e ; 1/2000e	m	permanente	1 m
Parc à vélo	1/2000e	m	permanente	impossible
Places piétonnes	1/2000e	m	permanente	1 m si imposs. 50 cm
Espace dénommé sans voies (square)	schéma	m	permanente	schéma
Espaces végétalisés				
Arbre isolé < 0.20m	1/200e	cm	annuelle	< 50 cm
Arbre isolé de 0.20 à 0.60 m	1/200e	cm	annuelle	< 50 cm
Arbre isolé > 0.60m	1/200e	cm	annuelle	< 50 cm
Arbres ponctuels et bosquets	1/200e ; 1/2000e	cm à m	annuelle	1 m
Alignement d'arbres	1/200e ; 1/2000e	cm à m	ou ponctuel	1 m
Brousaille, petite végétation	1/200e	cm	annuelle	1 m
Gazon, pelouse (publique)	1/200e ; 1/2000e	cm à m	annuelle	50 cm
Jardin d'agrément - gazon	1/200e ; 1/2000e	cm à m	annuelle	50 cm
Massif floral	1/200e	cm	permanente	20 cm
Jardins familiaux	1/200e ; 1/2000e	cm à m	annuelle	1 m
Haies	1/200e ; 1/2000e	cm à m	annuelle	< 50 cm
Parcelles agricoles	1/200e au 1/2000e	cm à m	annuelle	1 m
Friche	1/2000e	m	annuelle	1 m
Parc	1/2000e	m	annuelle	1 m
Zones boisées	1/200e ; 1/2000e ; 1/25 000e	m	annuelle	1 m
Berge naturelle	1/200e ; 1/2000e	cm	permanente	< 50 cm
Schématiques des espaces verts publics	schéma	/	annuelle	schéma
Mobilier urbain				
Abri bus/tram	1/200e	quelques cm	annuel	< 50 cm
Avaloir	1/200e	quelques cm	annuel	< 20 cm
Bacs à fleurs	1/200e	quelques cm	annuel	< 20 cm
Bancs	1/200e	quelques cm	annuel	< 50 cm
Barrière	1/200e	quelques cm	annuel	< 50 cm
Bornes d'incendie	1/200e	quelques cm	annuel	< 50 cm
Borne lumineuse	1/200e	quelques cm	annuel	< 20 cm
Bouche à clef d'eau et gaz	1/200e	quelques cm	annuel	< 20 cm
Bouche d'arrosage	1/200e	quelques cm	annuel	< 20 cm
Cabine téléphoniques	1/200e	quelques cm	annuel	< 50 cm
Collecteur	1/200e	quelques cm	permanente	impossible
Deversoir	1/200e	quelques cm	permanente	impossible
Fontaine	1/200e	quelques cm	annuel	< 50 cm
Grille de ventilation	1/200e	quelques cm	annuel	< 20 cm
Horodateur	1/200e	quelques cm	annuel	< 20 cm
Hydrant	1/200e	quelques cm	annuel	< 20 cm
Kiosque	1/200e	quelques cm	annuel	< 50 cm
Lampadaires simples et doubles	1/200e	quelques cm	annuel	< 20 cm
Panneau d'affichage, d'information	1/200e	quelques cm	annuel	impossible
Poubelles publiques	1/200e	quelques cm	annuel	< 20 cm
Plot	1/200e	quelques cm	annuel	< 20 cm
Pylone, pilier	1/200e	quelques cm	annuel	< 20 cm
Plaque d'égout carrée et ronde	1/200e	quelques cm	annuel	< 20 cm
Poteau PTT / EDF	1/200e	quelques cm	annuel	< 20 cm
Puits	1/500e	quelques cm	permanente	impossible
Regard d'assainissement	1/200e	quelques cm	permanente	impossible
Contrôleur de débit	1/200e	quelques cm	permanente	impossible

LIBELLE	ECHELLE	PRECISISON	MISE A JOUR	RESOLUTION MINIMALE
Hydrographie				
Bassin ou plan d'eau (lacs, étangs…)	1/200e ; 1/1000e	m	annuelle	1 m
Canal navigable	1/200e ; 1/1000e ; 1/2000e	m	annuelle	1 m
Fleuve	1/200e ; 1/1000e ; 1/2000e	m	annuelle	1 m
Rivière	1/200e ; 1/1000e ; 1/2000e	m	annuelle	50 cm
Ruisseau	1/200e ; 1/1000e ; 1/2000e	m	annuelle	< 50 cm
Ligne hygrographique et sens d'écoulement	1/2000e	15 à 20 cm	annuelle	impossible
Surfaces d'eau et cours d'eau	1/5000e ; 1/25 000e	5 m	annuelle	5 m
Carrière	1/5000e ; 1/25 000e	6 m	annuelle	5 m
Bassin versant	1/5000e ; 1/25 000e	7 m	annuelle	5 m
Divers				
Repères de triangulation	/	/	/	impossible
Station de polygonation	/	/	/	impossible
Détail topographique	/	/	/	impossible
Repères de nivellement	/	/	/	impossible
Point de canevas	/	/	/	impossible
Point d'assemblage	/	/	/	impossible
Courbes de niveau	/	/	/	impossible

ANNEXE 5.2 : DÉFINITION DES CLASSES THÉMATIQUES DE LA NOMENCLATURE DÉFINIE AU 1/ 10 000E

Nomenclature élaborée à partir de l'enquête réalisée auprès des utilisateurs (CUS, IAURIF, Caen, Rennes…) et des différentes nomenclatures existantes réalisées notamment à partir d'images satellites (CORINE LAND COVER, SPOT THEMA, CLUSTERS, MURBANDY).

2. LES TERRITOIRES ARTIFICIALISES

Territoires construits et aménagés par l'homme

2.1. Les zones urbanisées à vocation résidentielle

Espaces structurés par des bâtiments à vocation principalement résidentielle, le plus souvent associées à des fonctions de commerce, de service.

2.1.1. Tissu urbain continu dense de type centre-ville et centre bourg

Plus de 80% de la surface est occupée par surfaces artificialisées. Des éléments de voirie (réseau de communications) et des surfaces à revêtement artificiel s'ajoutent à cette classe. La végétation interstitielle non linéaire et les sols nus de ces tissus sont quasi inexistante.

2.1.1.1. Tissu urbain continu dense

Cette classe intègre le centre historique, les quartiers pionniers à forte densité, situés à proximité du noyau très dense (quartiers haussmanniens et neo-haussmanniens), ainsi que les éléments de bâti continu des faubourgs.

2.1.1.2. Tissu urbain continu peu dense

Cette classe est constituée des éléments de bâti continu (villes de moins de 10 000 habitants)

2.1.2. Tissu urbain discontinu

L'occupation du sol est partagée entre des surfaces artificialisées à moins de 80 % (bâtiments, réseau viaire et les surfaces à revêtement artificiel), des surfaces végétales, et des sols nus.

2.1.2.1. Habitat discontinu de type pavillonnaire ou individuel :

Maisons ou pavillons individuels (organisés ou non en lotissement) et autres surfaces artificialisées associées à des surfaces végétales

1.1.2.1.1 Pavillonnaire dense

Surfaces majoritairement artificialisées (10 à 80%) associée à moins de 20 % de surfaces végétales (généralement le long du réseau viaire)

1.1.2.1.2 Pavillonnaire à densité moyenne

Surfaces occupées à part égales de surfaces artificialisées et de moins de surfaces végétales (le plus souvent à structure parcellaire apparente)

1.1.2.1.3 Pavillonnaire à faible densité

Surfaces occupées par moins de 30 % de surfaces artificialisées et plus de 70 % de surfaces végétales (généralement peu organisé géométriquement)

2.1.2.2. Habitat discontinu de type collectif :

Bâtiments individuels associés à des surfaces artificialisées (route, parking, espaces verts, aire de jeux) organisés en lotissements (généralement relativement récents, construits après-guerre) ou non

1.1.2.2.1 Petits collectifs :

Collectifs de petite taille (moins de 4 étages) caractérisé par une emprise au sol plus faible (plus de 50 % de surfaces artificialisées)

1.1.2.2.2 Grands ensembles :

Collectifs de grande taille (plus de 4 étages) caractérisés par une emprise au sol importante (60 à 80 % de surfaces artificialisées)

2.1.2.3. Habitat mixte :

Mélange d'habitats discontinus de type individuel et collectif

2.1.3. Espaces urbains spécialisés

Espaces intégrés au tissu urbain et affectés à des fonctions d'utilité publique.

1.1.3.1.1 Cimetière

Espace réservé à l'enterrement des morts et bâtiments annexes (crematorium, …)

1.1.3.1.2 Emprises militaires

Bâtiments (forts, casernes) et terrains associés, relevant du Ministère de la Défense

1.1.3.1.3 Emprises scolaires et universitaires

Bâtiments et espaces associés affectés aux activités scolaires et universitaires, hors équipement sportif

1.1.3.1.4 Emprises hospitalières

Bâtiments et espaces associés affectés aux activités médicales

1.1.3.1.5 Autres

Services d'utilité publique autres que ceux cités précédemment

2.2. Les zones urbanisées à vocation industrielles, commerciales et de transport

Surfaces artificialisées à plus de 80 %, affectées à des fonctions de production et de services, et constituées de bâtiments, d'espaces associés (parking), de réseau viaire et d'espaces vegétalisés.

2.2.1. Emprises industrielles, commerciales et tertiaires

Zones à revêtement artificiel, avec ou sans bâtiments, avec ou sans végétation, affectées à la production industrielle et aux activités commerciales et tertiaires

2.2.1.1. Zones industrielles

Bâtiments et espaces associés à la production industrielle

2.2.1.2. Zones commerciales

Bâtiments et espaces associés aux activités commerciales

2.2.1.3. Parcs technologiques et zones d'activités tertiaires

Bâtiments et espaces associés aux activités tertiaires et de haute technologie

2.2.1.4. Emprises liées à l'activité d'extraction

Bâtiments et emprises associées à l'activité industrielle d'extraction

- Activités minières (terrils, friches minières…) et infrastructures associées
- Gravières et sablières et infrastructures associées
- Carrières (exploitation de roches diverses) et infrastructures associées
- Chantiers, remblais, décharges et autres dépôts intégrés ou non au milieu urbain
- Stations de traitement de l'eau (stations d'épuration et décanteurs)

2.2.2. Réseaux de communication et emprises associées

Ensemble des voies de circulation routière, ferroviaire, aérienne et maritime/voies navigables

2.2.2.1. Réseau routier principal et espaces associés

1.2.2.1.1 Réseau routier

Autoroutes, routes nationales et départementales

1.2.2.1.2 Emprises des espaces routiers

Stations services, aire de repos, échangeurs, zone à payage

2.2.2.2. Réseau ferroviaire et espaces associés

1.2.2.2.1 Réseau ferroviaire
Voies ferrées
1.2.2.2.2 Emprises des espaces ferrés
Gares, gares de triage, plate-forme ferroviaire

2.2.2.3. Emprises aériennes
Ensemble des infrastructures relevant du transport aérien (pistes, ateliers, aérogare, fret aérien, parking)

2.2.2.4. Emprises portuaires
Ensembles des infrastructures associés aux activités portuaires, hors bassin artificiel et réseau ferroviaire de transit (quai, grue, hangars, entrepôt, zone de stockage, …)

2.3. Les espaces verts artificialisés

Surfaces végétales relevant d'un aménagement humain, en dehors de toutes activités agricoles

2.3.1. Espaces verts urbains

Surfaces aménagées incluses dans le tissu urbain, constituées en majorité de surfaces végétales et de surfaces artificielles

2.3.1.1. Surfaces arborées
Surfaces publiques ou privées constituées de plus de 80 % de végétation arborée
1.3.1.1.1 Parcs, jardins, squares
1.3.1.1.2 Jardins de l'habitat discontinu de type individuel (jardins) ou collectif
1.3.1.1.3 Jardins ouvriers ou familiaux

2.3.1.2. Surfaces en herbe non-agricole
Surfaces constituées de plus de 80 % de pelouses généralement associées aux infrastructures (délaissés d'autoroute entretenus), abords des pistes d'aéroport ou aérodrome, de terrains de sport, de terrains militaires, de canaux (berges naturelles), …

2.3.1.3. Surfaces mixtes ou spécialisées
Surfaces à dominante de végétation (arborée ou herbacée à plus de 70 %) publiques ou privées constituées d'espaces artificialisés à moins de 30 % (chemin, potagers, équipements divers …)
1.3.1.3.1 Parcs, jardins, squares
1.3.1.3.2 Jardins de l'habitat discontinu de type individuel (jardins) ou collectif
1.3.1.3.3 Jardins ouvriers ou familiaux

2.3.2. Equipements sportifs et de loisirs

Stades, terrains de sport, terrains de campings, parcs de jeux (loisirs ou attraction) golf, hippodrome, piscines en plein air…

2.3.3. Châteaux et espaces associés

Edifices d'intérêt monumental et historique, avec terrains et bâtiments annexes

2.4. Les espaces libres

Terrains intégrés au milieu urbain, sans affectation particulière (libre) et non-bâti

1.4.1.1.1 Sols nus
Terrains sans couverture artificielle et/ou sans affectation particulière
1.4.1.1.2 Friches industrielles
Anciens sites industriels dont l'activité a cessé
1.4.1.1.3 Sites en construction
Terrains intégrés au milieu urbain en voie de construction

ANNEXE 6.1 : EXTRAIT DE L'IMAGE QUICKBIRD PANCHROMATIQUE UTILISÉE POUR ÉVALUER LA QUALITÉ GÉOMÉTRIQUE



Strasbourg, Quickbird Pan (0.7 m) ©Digital Globe (2002)

ANNEXE 6.2 : LA FUSION PAR CORRELATION

Les images QUICKBIRD ont été fusionnées par la méthode de fusion par corrélation développée par Serradj *et al.* (1991). Cette méthode est basée sur le principe que les modifications au niveau des valeurs radiométriques des canaux multispectraux sont en fait dépendantes de la largeur de la bande de longueur d'onde du canal panchromatique et donc des coefficients de corrélation.
En effet, dans le cas des images Spot HRV (XS et Pan), qui ont des coefficients de corrélation très élevés entre les canaux du visible et du canal panchromatique, il suffit de fusionner le panchromatique très fortement aux canaux du visible et faiblement au canal du proche infrarouge. Le résultat de ce type de fusion modifie très peu les valeurs radiométriques et conserve quasiment les mêmes coefficients de corrélation entre les canaux entre les canaux. Cependant, dans le cas de QUICKBIRD comme celui de LANDSAT ETM+ d'ailleurs, le canal panchromatique a une bande spectrale très large et couvre l'ensemble du spectre des canaux multispectraux. Dans ce cadre, un algorithme qui utilise les coefficients de corrélation selon deux méthodes a été testé sur ces images : l'une qui utilise la notion de distance appelée « Correlation Distance » (équation 1) et la seconde dite « simple » (équation 2). Les méthodes inverse ont également été testée (équation 3 et 4).

(1) méthode CD : PIn (x,y) = [(QBn (x,y).(coefn))2 + (Pan (x,y).(1-coefn)2]1/2
(2) méthode dite « Simple » : PIn (x,y) = (QBn (x,y).(coefn)) + (Pan (x,y).(1-coefn))
(3) méthode CDI (Correlation Distance Inverse) : PIn (x,y) = [(QBn (x,y).(1-coefn))2 + (Pan (x,y).(coefn)2]1/2
(4) méthode dite Simple Inverse : PIn (x,y) = (QBn (x,y).(1-coefn)) + (Pan (x,y).(coefn))

où : PI_n = pixel résultant de l'intégration de QB_n et du Panchromatique
n = les canaux multispectraux de QB
$QB_n(x,y)$ = valeur numérique du pixel (x,y) du canal n
$Coef_n$ = coefficient de corrélation du canal panchromatique avec le canal QB_n

Les résultats de l'analyse des coefficients de corrélation et des moyennes de canaux avant et après fusion montrent que la **méthode Inv-simple** permet d'obtenir des valeurs proches des canaux originaux (moyenne et coefficient de corrélation).

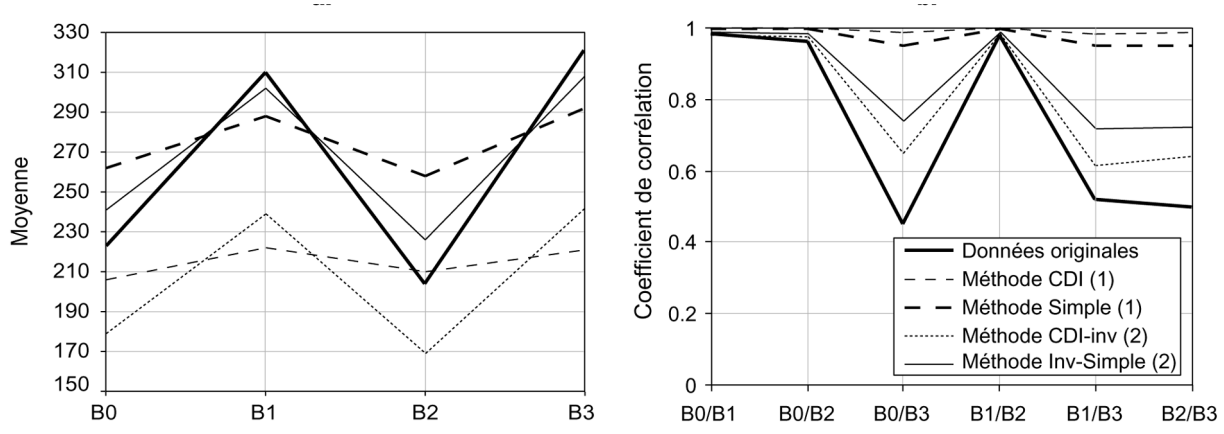


Figure 6.2.1 – Tests sur l'algorithme de fusion (*in* Puissant *et al.*, 2003)

ANNEXE 6.3 – LE CONCEPT ARSIS

La plupart des satellites optiques d'observation de la Terre actuellement en opération fournissent un ensemble d'images multispectrales à basse résolution spatiale et une image panchromatique à haute résolution spatiale. Les personnes exploitant ces données voudraient disposer de l'ensemble des données à la meilleure résolution spatiale disponible. La fusion d'images permet de répondre à ce besoin. De nombreux algorithmes existent. Pohl et Van Genderen (1998) ont proposé une revue des différentes familles d'algorithmes disponibles afin de produire des images multispectrales à la résolution spatiale de l'image de meilleure résolution. Wald *et al.* (1997) ont testé un certain nombre de ces algorithmes appartenant aux différentes familles et ont proposé un protocole d'évaluation de la qualité des produits fusionnés.

Le concept ARSIS (Amélioration de la Résolution Spatiale par Injection de Structures) a été défini pour produire des images synthétiques proches de la réalité quand on améliore la résolution spatiale des images. Il a pour objectif de proposer une transformation du contenu multispectral de grande qualité quand on améliore la résolution spatiale.
On définit A_h l'image à haute résolution spatiale, B_l l'image multispectrale, h la résolution spatiale originale de A et l la résolution spatiale originale de B ($l < h$). Dans le cas des données QUICKBIRD, B_{il} sont les bandes B0, B1, B2 et B3 à la résolution spatiale originale de 2,8 m et A_h est la bande Panchromatique à la résolution spatiale originale de 0,7 m.

Le concept ARSIS a pour objectif la construction d'images synthétiques B^*_h proches de la réalité. Wald *et al.* (1997) ont établi les propriétés que doivent avoir ces images synthétiques :

Chaque image synthétique B^*_h ramenée a sa résolution spatiale l originale doit être aussi identique que possible à l'image originale B_l. Chaque image synthétique B^*_h doit être aussi identique que possible à l'image B_h que le capteur correspondant observerait s'il avait la plus haute résolution spatiale disponible h. L'ensemble des images multispectrales synthétiques B^*_h doit être aussi identique que possible à l' ensemble des images multispectrales B_h que le capteur correspondant observerait s'il avait la plus haute résolution spatiale disponible h.

Le concept ARSIS a été défini de manière générique, afin de satisfaire ces propriétés quels que soient les outils mathématiques utilisés pour son implémentation. L'approche n'est certes pas nouvelle, mais n'a jamais été exprimée comme un concept avant le travail commun de l'Ecole des Mines de Paris et d'Aérospatiale (Mangolini *et al.* 1992; Ranchin 1993).

Le concept ARSIS utilise une méthode multi-échelle pour la description et la modélisation de l'information manquante entre les images A_h et B_l. La méthode multi-échelle la plus utilisée pour son implémentation est l'analyse multirésolution utilisée de manière conjointe avec la transformée en ondelettes. D'autres outils existent : Blanc *et al.* (1998a) ont utilisé des bancs de filtres itératifs à la place de la transformée en ondelettes, Tom (1987) a utilisé des filtres gaussiens, Chavez *et al.* (1991) ont défini des filtres dans leur méthode HPF, Aiazzi *et al.* (1999) ont utilisé des pyramides laplaciennes.

Une méthode multi-échelle est appliquée aux deux images A et B. Une description, à chaque échelle, de l'information contenue dans chacune des images est obtenue. L'information manquante (les hautes fréquences de l'image) entre A_h et B_l, représentée par les coefficients d'ondelettes, est extraite et utilisée pour la construction de l'image synthétique B^*_h. La figure 1 illustre cette approche dans le cas d'une description pyramidale de l'information. L'information manquante dans la

pyramide *B* et devant y être injectée se situe dans la partie basse manquante de la pyramide *B*. C'est seulement cette information qui est nécessaire pour synthétiser l'image B^*_h. Si l'on translate le bas de la pyramide *A* directement dans la pyramide *B* et que l'on reconstruit l'image synthétique B^*_h, elle ne sera pas équivalent à "ce que devrait voir le capteur *B* s'il avait la résolution spatiale du capteur *A*. Afin d'améliorer la qualité des images synthétiques, une transformation de l'information fournie par la représentation multi-échelle de l'image *A* en information nécessaire à la synthèse de l'image *B*, doit être effectuée.

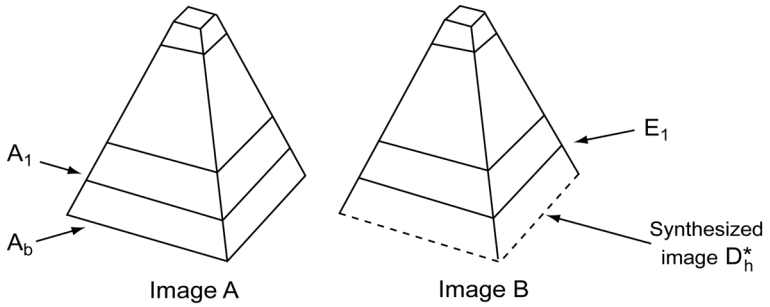


Figure 6.3.1 - Utilisation d'une approche pyramidale pour la fusion d'images à haute résolution, spatiale et spectrale dans le concept ARSIS (*in* Ranchin et Wald, 2000).

La figure 6.3.2 présente le schéma général d'application du concept ARSIS. La première étape consiste dans l'application d'une analyse multirésolution utilisant la transformée en ondelettes afin de calculer les coefficients d'ondelettes et les approximations de l'image *A* (étape 1 de la figure 2). L'analyse multirésolution utilisant la transformée en ondelettes peut être remplacée par n'importe quel algorithme multi-échelle fournissant une description hiérarchique des images. La même opération est appliquée à l'image *B* (étape 2). Les coefficients d'ondelettes fournis par chaque décomposition est utilisée pour ajuster les paramètres d'un modèle de transformation des coefficients connus de l'image *A* en coefficients connus de l'image *B* (étape 3). De ce modèle est dérivé un autre modèle permettant de convertir les coefficients connus de l'image *A* en coefficients recherchés de l'image *B* (étape 4). Finalement, l'inversion de l'analyse multirésolution (ou de l'algorithme multi-échelle) permet la synthèse de l'image B^*_h avec la résolution spatiale de l'image *A* (étape 5).

La figure 6.3.3 détaille l'application du concept ARSIS au cas du rapport de résolution spatiale égal à 4. De manière similaire, l'ensemble d'images est composé d'une image panchromatique *P* à la meilleure résolution spatiale 1 et d'un ensemble d'images multispectrales B_i à la résolution spatiale normalisée 4. La résolution spatiale est ramenée à une valeur sans unité pour une simplification de la présentation. Le processus est appliqué de manière séparée à chacune des images de l'ensemble multispectral. Dans ce cas l'algorithme multi-échelle utilisé est dérivé de Dutilleux (1987). Dans cet algorithme, une seule fonction d'échelle est utilisée. L'approximation de l'image originale est obtenue par filtrage de l'image originale et l'image de coefficients d'ondelettes par soustraction, pixel à pixel, de l'image originale et de l'approximation. Cet algorithme fournit donc à chaque itération une image d'approximation et une image de coefficients d'ondelettes non directionnelle. Le changement de résolution est réalisé par une dilatation de la fonction d'échelle obtenue en introduisant un zéro entre chacun des coefficients du filtre. L'image n'est donc jamais ré-échantillonnée et toutes les images ont la même taille en pixels. L'étape de reconstruction s'effectue par simple sommation de la dernière approximation calculée et des images de coefficients d'ondelettes.

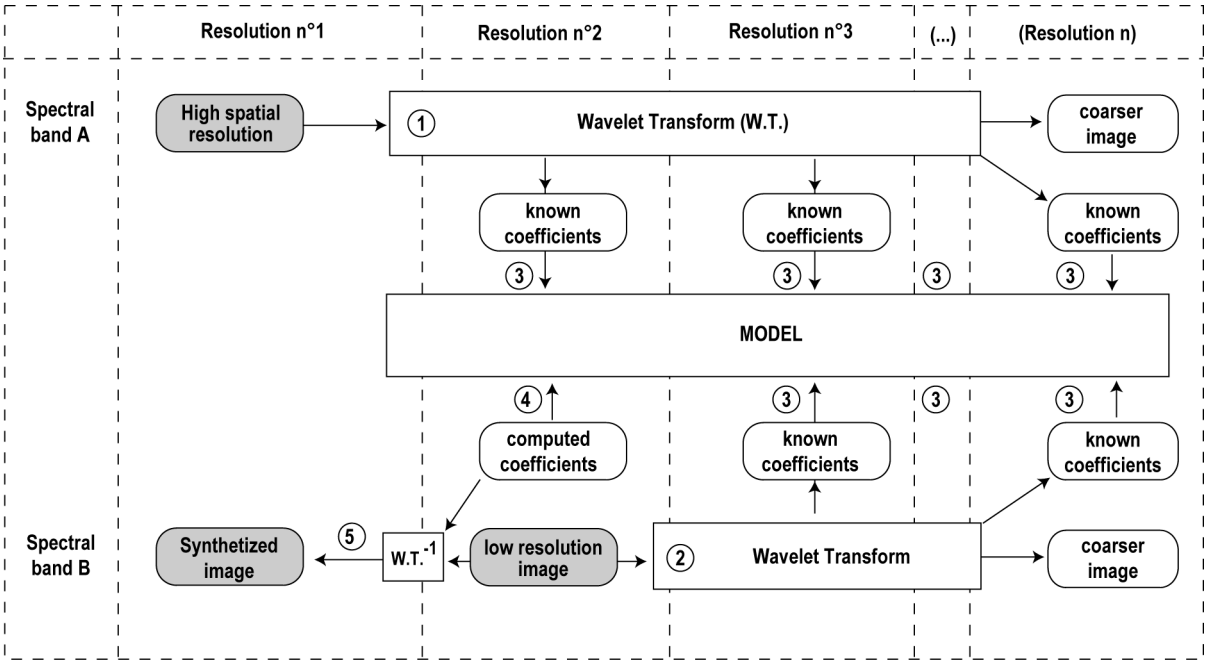


Figure 6.3.2- Schéma général d'application du concept ARSIS utilisant la transformée en ondelettes (WT) et la transformée en ondelettes inverse (WT^{-1}). Voir le texte pour plus de commentaires (*in* Ranchin et Wald, 2000).

L'algorithme multi-échelle utilisé pour l'application du concept ARSIS au cas du rapport de résolution spatiale 4 est adapté de cet algorithme.

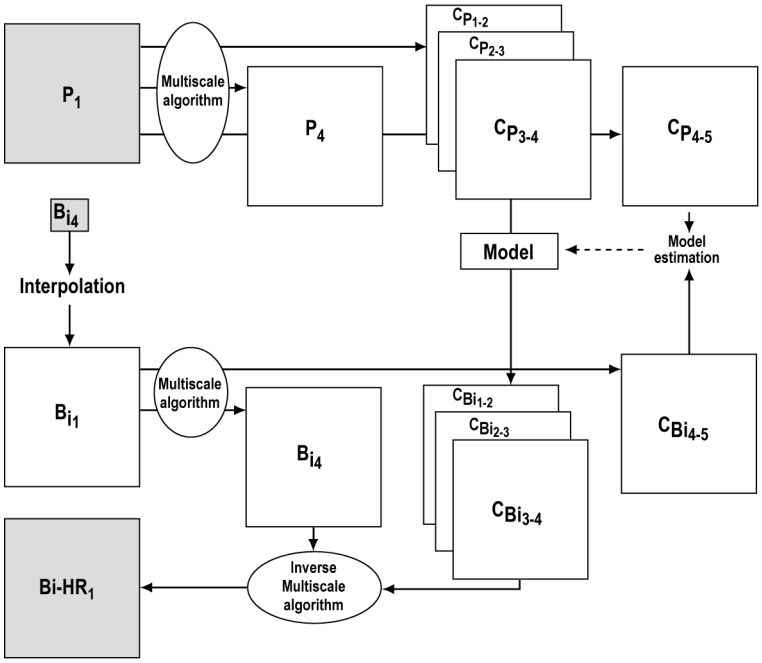
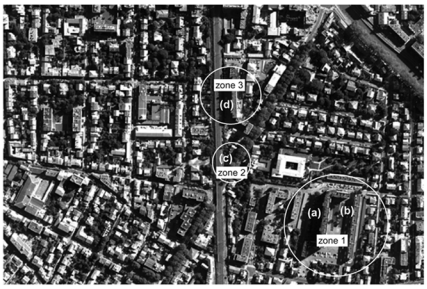


Figure 6.3.3 - Application du concept ARSIS au rapport de résolution spatiale 4 (*in* Ranchin et Wald, 2000).

ANNEXE 6.4 – EXEMPLE D'UNE FICHE DE TEST POUR EVALUER L'APPORT D'UN CANAL PANCHROMATIQUE ÉLARGI.

Fiche d'évaluation - Janvier 2003

Optimisation du canal Panchromatique - Evaluation qualitative
Ville de Toulouse - Quartier Le Busca
Partie 1



○ zones d'observation pour la photo-interprétation

QUESTION 1 : A partir des 7 images panchromatiques brutes (busca29 à 42), compléter les cases en indiquant si la photo-interprétation (identification et analyse) des différents objets est :

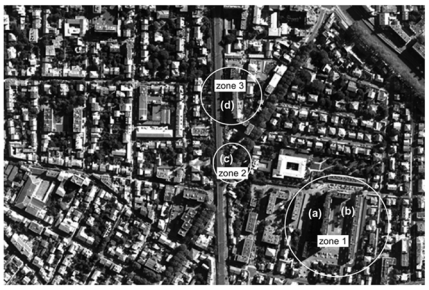
- Aisée ⟶ noter (***1***)
- Moyennement aisée ⟶ noter (***2***)
- Difficile ⟶ noter (***3***)

		Q1 : Images brutes ***(sans amélioration de contraste)***							***Q1 : Images filtrées*** ***(opérateur laplacien)***						
	Objets à observer	***busca29***	***busca32***	***busca34***	***busca36***	***busca38***	***busca40***	***busca42***	***busca29***	***busca32***	***busca34***	***busca36***	***busca38***	***busca40***	***busca42***
zone 1	Contour bâti														
	Arbres (couronne et feuillage)														
	Différence entre pelouse / route														
	Objets visibles dans l'ombre (bâtiment) : (a) (b) *(Lister les objets)*														
zone 2	Objets visibles dans l'ombre (végétation) : (c) *(Lister les objets)*														
zone 3	Objets visibles dans l'ombre (bâtiment) : (d) *(Lister les objets)*														

/

Fiche d'évaluation - Janvier 2003

Optimisation du canal Panchromatique - Evaluation qualitative
Ville de Toulouse - Quartier Le Busca
Partie 2

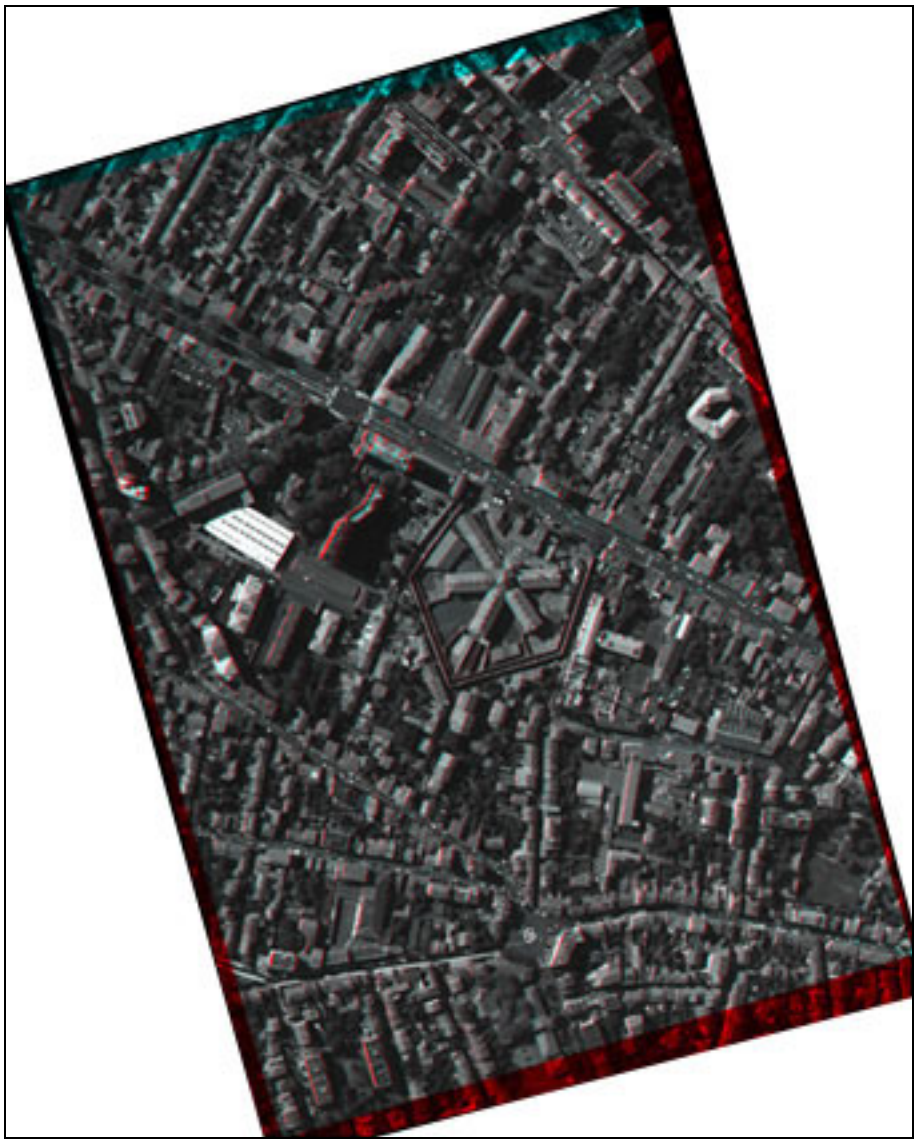


○ zones d'observation pour la photo-interprétation

QUESTION 2 : A partir des 7 images brutes, compléter les cases en indiquant les bornes inférieure et supérieure (0-255) utilisées pour réaliser une amélioration de contraste permettant la photo-interprétation optimale (aisée) des objets listés (si impossible alors noter (3)) :

		Q2 : Choix du contraste pour une photo-interprétation optimale						
	Objets à observer	***busca29***	***busca32***	***busca34***	***busca36***	***busca38***	***busca40***	***busca42***
zone 1	Contour bâti							
	Arbres (couronne et feuillage)							
	Différence entre pelouse / route							
	Objets visibles dans l'ombre (bâtiment) : (a) (b) *(Lister les objets)*							
zone 2	Objets visibles dans l'ombre (végétation) : (c) *(Lister les objets)*							
zone 3	Objets visibles dans l'ombre (bâtiment) : (d) *(Lister les objets)*							

ANNEXE 6.5 – EXEMPLE D'ANAGLYPHE SUR UN QUARTIER DE TOULOUSE



Toulouse, image stéréoscopique (ATS2A, 2000)
Pan 0.8 m et B/H = 0.1

ANNEXE 6.6 - EXEMPLE D'UNE FICHE DE TEST D'ÉVALUATION L'APPORT DE LA STÉRÉOSCOPIE

Fiche d'évaluation - Janvier 2003

Apport de l'imagerie stéréoscopique - Evaluation qualitative
Ville de Toulouse - Quartier Les Recollets

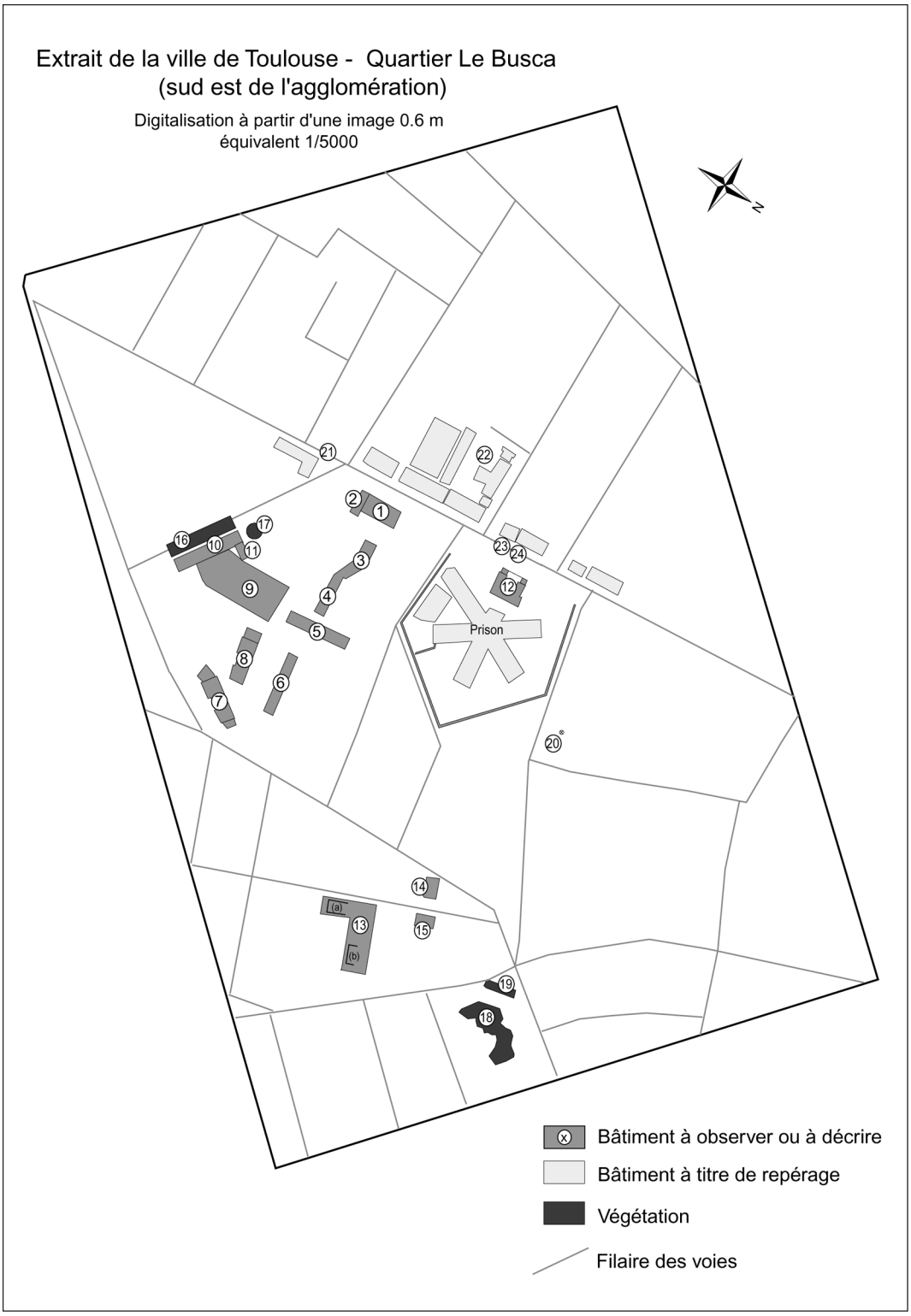
1. Dans les 12 images suivantes, complétez les cases en indiquant si la photo-interprétation des différents objets est :
(1) Aisée – (2) Moyennement aisée – (3) Difficile à impossible

		images en hyperstéréoscopie											
	Objets à observer (H = Hauteur)	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**
1	Immeuble de type tour environ 15 étages Toit plat avec cheminées + 2 cabines extérieures												
2	Bâtiment devant n°1 (entrée) 2 à 3 étages, H < n°1 Toit plat												
5	Bâtiment de type industriel (hangar) H équivalent à 1 étage Toit légèrement pentu (p ≈ 10°)												
7	Bâtiments carré reliés par un toit plat Carré de 2 à 3 étages, pente≈30° Toit plat central H < carré terrasses avec végétation aux 2 extrémités												
9	Bâtiment de type industriel (hangar) Toit à 2 niveaux - Pente faible Hauteur 2 étages maximum												
12	Bâtiment d'entrée de prison : 2 tours à l'entrée reliée par un mur + bâtiment en forme de U avec 2 hauteurs différentes (fond du U > branches U)												
13	Bâtiment de type habitat en forme de L Pente < 10° constitué de 2 rajoutes à toit plat H(a) > H(b)												
14	Pavillon individuel avec fenêtres creusées 2 étages maximum												
15	Pavillon individuel avec cheminées 2 étages maximum												
16	Double alignement d'arbres H < bâtiment n°10												
17	Arbre individuel H > arbres de n°16												
20	Lampadaire												
21	Lignes blanches individuelles du passage clouté												
22	Lignes blanches de parking												
23	Abri bus												
24	Trottoir												

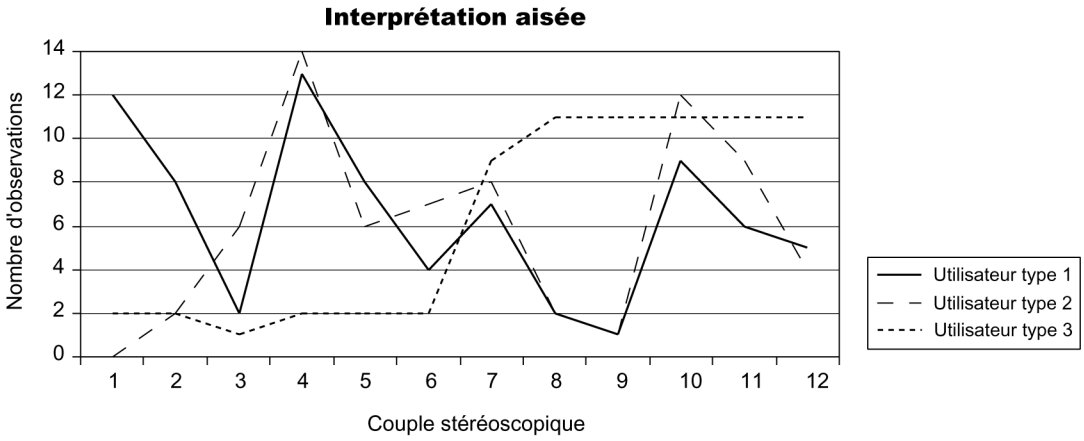
2. Décrivez les objets suivants selon les exemples ci dessus et indiquez le numéro de l'image «optimale» utilisée pour la description la plus complète :

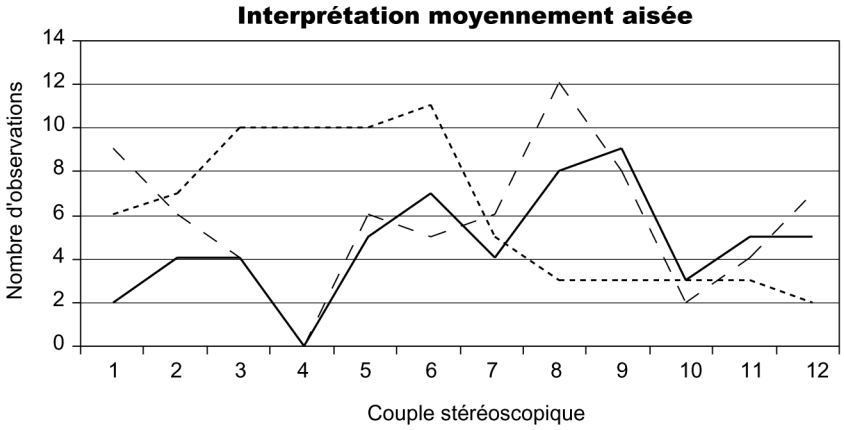
	Objets à décrire(H = Hauteur)	**N°**
3	Type d'objets : Estimation du nombre d'étages / relativement aux objets alentours : Description du toit (matériaux, éléments constitutifs, pente) :	
4		
6		
8		
10		
11		
18		
19		

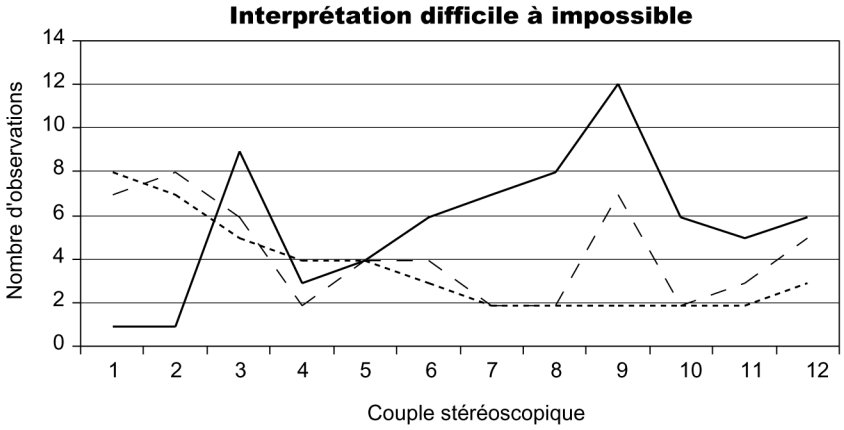
ANNEXE 6.7 – SCHÉMA DE LOCALISATION (TEST DE STÉRÉOSCOPIE)



ANNEXE 6.8 – APPORT DE LA STÉRÉOSCOPIE SELON LE DEGRÉ DE PERCEPTION (RÉALISÉ À PARTIR DE 10 URTILISATEURS)







Images n°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Rapport B/H	0.1	0.3	0.7	0.1	0.3	0.7	0.1	0.3	0.7	0.1	0.3	0.7
Bande spectrale	Pan	Pan	Pan	Pe	Pe	Pe	Pan	Pan	Pan	Pe	Pe	Pe
Résolution spatiale (m)	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8

ANNEXE 7.1 – ARTICLE PARU DANS GEOCARTO INTERNATIONAL (2002)

The Utility of Very High Spatial Resolution Images to Identify Urban Objects.

A. Puissant and C. Weber
Laboratoire Image et Ville, UMR 7011 CNRS - ULP, Strasbourg
3, rue de l'Argonne, F-67 000, Strasbourg
France
E-mail: anne@lorraine.u-strasbg.fr, chris@lorraine.u-strasbg.fr

Abstract

With the diversity of new digital geographic information products and in particular the near future Very High Spatial Resolution images (1 to 5 m), an evaluation of the capacity of these new data source is necessary in the framework of urban studies. This article aims at assessing the utility of VHSR sensors to provide reliable and useful information for the end-users (city councils, urban community, county) in urban planning, monitoring and management. The capacity of this new source of information to answer to the end-users needs have to be investigated. In fact, which type of end-users must these resolution satisfy, what are the potential applications of these images, what are the characteristics of the information required and finally what type of extraction methods are efficient ?

An analysis of the capacities of these new sensor to extract urban objects have been carried out for different resolutions and with several extraction methods. This analysis allows on the one hand to define a "Minimal" and a "Functional" spatial resolution able to satisfy the needs of the end-users, and on the other hand to determine if this future sensors would provide additional capabilities to study the urban environment.

Introduction

Urban analysis is a complex domain due to multiple interactions between the social, politic and environmental spheres. The field of urban development is thus composed of different types of applications : first daily management of the territory (network, facilities and green space), in second place, urban planning (operational planning, impact study, regulations documents) and finally urban prospective (distribution analysis of objects, phenomenon). As defined by Chevalier (1990), these categories of applications correspond to three levels of responsibilities (operational, tactical and strategic) and three specific end-users (technicians, planners, decision-makers). Represented in a pyramid (Figure 1), each level of responsibility corresponds to specific data requirements and output documents.

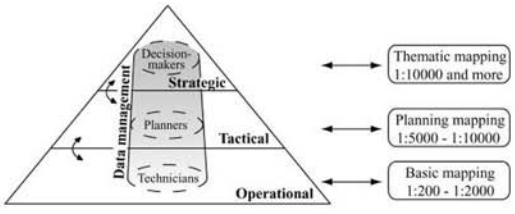


Figure 1 The decision pyramid of end-users and their requirements (Puissant and Weber, 2001 : inspired by Chevalier, 1990).

A vertical data management level (storage, updating, exchanging) can also be defined because data flow across these levels from raw data to integrated information. All these applications require the access to reliable update data and a good knowledge of the land cover evolution.

Nowadays it seems that a multi-scale reflexion is the most effective strategy for these applications. These requirements lead end-users to cross multisource information at various scales (French Equipment Ministry, 1999). In this framework earth observation data (aerial or satellite) are potential source of information.

Historically the first earth observation data used to analyse urban systems were carried out at 1:100,000 scale (80 to 30 m of spatial resolution) on some of the larger cities in North America (Forster, 1980 ; Jensen, 1983). Then the availability of higher spatial resolution images (10 to 20 m) have enabled more detailed studies on 1:100,000 to 1:25,000 scales, for instance to assess the older more compact urban areas characteristics of European cities (Welch, 1982 ; Forster, 1983), to give notable contributions on rural-to-urban land conversion (Jensen, 1983 ; Forster, 1985 ; Gomascara *et al.*, 1993), or to estimate housing and population density (Lo, 1993 ; Dureau and Weber, 1995 ; Baudot, 1997 ; Weber, 2000).

Results of surveys on the potential end-users' requirements (SCOT, 1997 ; Puissant, 1998 ; Puissant and Weber, 2001) have shown that the main applications in urban areas concern the tactical and the technical levels for which 1:200 to 1:10,000 scales are needed. For these applications useful image data are aerial photography. Actually, less than one meter resolution orthophotos are the only image product used (Puissant and Weber, 2001). As satellite images products don't reach less than 5.8 m resolution with the IRS sensor (except Ikonos which price is expensive), these data are only used for the strategic level at scales from 1:25,000 to 1:1,000,000 (Table 1).

Geocarto International, Vol. 17, N°1, March 2002, pp. 31-41
Published by Geocarto International Centre, G.P.O. Box 4122, Hong Kong

Over the next few years future optical satellite sensors (Ikonos launched in 1999, Orbview, SPOT 5) will produce digital image data with a Very High Spatial Resolution of 1 to 5 m in panchromatic and multispectral mode (Mc Donald, 1995 ; Fritz, 1996). These 1 to 5 m images will correspond to between 1:10,000 and 1:25,000 scales of analysis that are typical scales of projects dealing with urban planning (tactical level) though not necessarily technical management and basic mapping (Donnay *et al.*, 2000 ; Puissant and Weber, 2001). These new sensors are thus confronted to technical, applicable and economic stakes as regards to aerial photographs or other products provided by the sensors in development (radar and optic).

These data will give particular benefit in the context of complex urban areas where the relatively small size and complex spatial pattern of the component scene elements (e.g. buildings, roads and intra-urban open space) have restricted the use of the current space borne sensors (Barnsley and Barr, 1996). These new VHSR image will thus increase the amount of information attainable on land cover at local to national scales (Aplin and Atkinson, 1997). In particular the minimum parcel size at which mapping takes place will be considerably smaller than that of contemporary surveys, resulting in an increase in geometric details and accuracy (Ridley, 1997). Moreover, compared to natural landscapes, urban areas are composed of diverse materials (concrete, asphalt, metal, glass, water, grass) organised spatially into regularly-shaped land parcels (Welch, 82 ; Jensen *et al.*, 1999) and characterised by urban objects (buildings, houses, transportation networks, utilities, parks). For instance residential districts in many western European cities are often characterised by a complex spatial mixture of tile-roof and slate-roof buildings and of tarmac and concrete roads interspersed with gardens comprising grass lawns, bare soil and trees. The layout of these elements in different patterns constitutes specific urban structures. As a matter of fact, the urban environment heterogeneity requires an adapted fine spatial and spectral resolution. This means that the observation of urban structure on an image is only possible for a particular interval of resolution.

The multiplication of details will lead to develop new processing method combining geometric and radiometric characteristics. Indeed, these latter influence the ability to analyse different types of urban structure. The geometric criteria include surfaces, shapes and organisation of the objects and the radiometric criteria include specific reflectance of the constitutive elements of the objects). On one hand, taking into account radiometric criteria only causes problems because identical spectral reflectance values can correspond to very different objects (for instance a tiled roof does not reflect as a terrace or a concrete low-roof). On the other hand, taking into account geometric criteria only also causes problems because a similar geometric shape can refer to different objects. Combinations of criteria are thus necessary. It determines the degree to which urban structure can be identified and influences the spatial resolution that can be achieved.

Therefore an objective assessment of the current and future status of urban remote sensing seems necessary. This should include an evaluation of how the methods and results of scientific analyses, based essentially on indirect identification of the shape, structure and composition of urban areas, can be made more directly useful for end-users. Indeed, the operational potential of urban remote sensing will depend on its capacity to respond to the practical requirements of urban professionals and how rapidly the latter group can integrate remotely sensed data into their applications.

As one of the main applications of the end-users is the study of urban structure morphology (Puissant 1998), the main objective of this paper is to assess the utility of VHSR images to provide end-users key data sets relevant to identify different types of urban structure. More precisely the objective is to propose a reference grid where a minimal and "functional" spatial resolution will be specified as regards to end-users' needs in terms of objects accuracy and extraction procedures. This approach is based on the assumption that there are different types of urban structure, composed of several objects (housing, vegetation and roadway network) identifiable at different spatial resolutions.

In this context, three main questions can be addressed :

- Q1 : Which type of urban objects are correctly identified (in term of surfaces compared to reference surfaces) for each resolution whatever the urban structure ?
- Q2 : Which are the best resolutions, in term of percentage of identified surfaces, to identify globally each urban structure ?
- Q3 : Which procedure extracts the best the urban objects whatever the urban structure ?

Methodology

To evaluate the correct identification of the urban objects on each resolution, for each type of urban structure, four types of urban structures were defined (Figure 2). These were determined as the most representative built surfaces in European cities (SERTIT and URA 902, 1994 ; MURBANDY, 1998) and according to our knowledge on the study site of the agglomeration of Strasbourg (France) :

- Type 1 (T1) is defined as " Residential continuous urban structure ". In this type more than 80 % of the land is covered with residential houses and discontinuous areas of vegetation ; bare soils are exceptional in the structure. An example of this structure is the "Cathédrale - Broglie" district.
- Type 2 (T2) is defined as " Residential discontinuous sparse urban structure ". In this type buildings, roads and other artificial objects cover between 10 and 50 % of the land. Houses are often characterised by a square of 5 to 10 m side Vegetation areas are predominant but are not dedicated to forestry or agriculture. An example of this structure is the "Quartier des Quinzes" district.
- Type 3 (T3) is defined as " Residential discontinuous urban structure where buildings have less than 4 floors ". This type is composed of more than 50 % of buildings, roads and other artificial objects. Buildings have most of time a rectangular shape with a 5 to 20 m length. An example of this structure is the western part of the "Esplanade - Citadelle" district.

Geocarto International, Vol. 17, N°1, March 2002, pp. 31-41
Published by Geocarto International Centre, G.P.O. Box 4122, Hong Kong

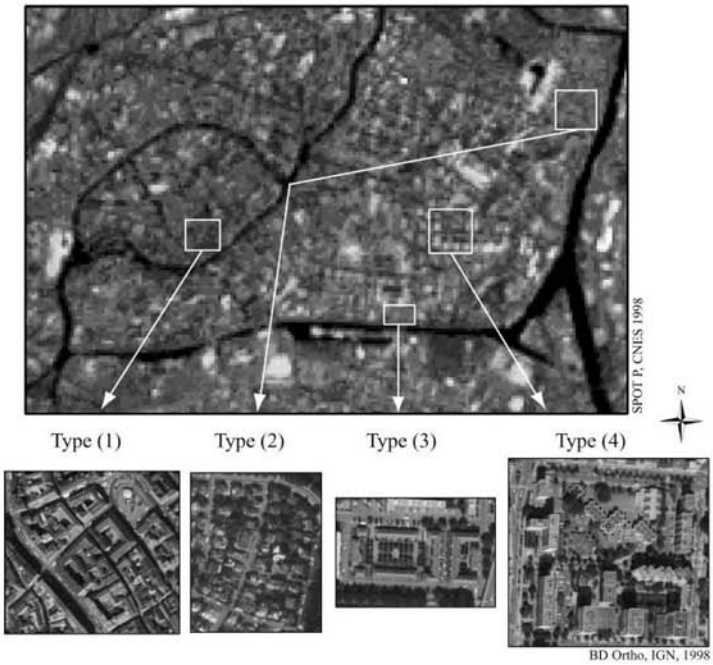


Figure 2 Examples and localisation of the 4 type of urban structure.

Table 1 : Applications and used images

Scales of applications in urban areas			Currently images used to answer to these applications	
Applications	Scales		Images	Resolution
Technical management	1:200 to 1:500	⇒	Orthophoto	20 cm
Basic mapping	1:1000 to 1:2000	⇒	Orthophoto	20 to 50 cm
Urban planning	1:5000 to 1:10000	⇒	Orthophoto	50 cm to 1 m
Prospective	1:25000 to 1:1000000	⇒	Satellite image	10 to 100 m
	1:25000 to 1:50000		SPOT P and XS	10 to 20 m
	1:100000		Landsat TM	30 m
	> 1:100000		Landsat MSS	80 m

- Type 4 (T4) is defined as " Residential discontinuous urban structure where buildings have more than 4 floors ". In this type buildings, roads and other artificial objects cover between 60 and 80 % of the total district. An example of this structure is the eastern part of "Esplanade - Citadelle" district.

Each structure has been selected using visible reference points which location is easy on each resolution (crossroads, specific building) and then delimited by the roadway network. Thus each urban structure is represented by a study parcel. The three main objects making up the urban structure are "*housing*" including houses and buildings, "*roadway network*" including roads, pavement and car parks and "*vegetation*" including trees and grass.

In order to evaluate the capacity of classical extraction and segmentation methods to distinguish urban objects on these future images, the three types of objects have been extracted on panchromatic and multispectral images, at different resolutions from 10 to 0.83 m. This evaluation is based on the comparison of the identified objects surfaces in each type of urban structure. A photo-interpretation of the 1:4000 cadastral plan has been used as reference for the spatial quantification and the analysis of the outlines of the objects.

Geocarto International, Vol. 17, N°1, March 2002, pp. 31-41
Published by Geocarto International Centre, G.P.O. Box 4122, Hong Kong

Images Available

Several images at different resolutions provided by the CNES (Centre National des Etudes Spatiales) on the agglomeration of Strasbourg, dated from November 1997, were used. At this date the vegetation cover was at its minimum and the artificialized areas were easily visible. We used :

- raw panchromatic images (resolution of 0.83 m), acquired during a specific campaign carried out with a matrix camera ;
- pushbrooms images (resolution of 1.36 m) of an ARAT flight (specific CNES airplane) ;
- SPOT 5 simulation images with a resolution of 10 m in XS mode, 5 m in P and SUPERMODE 2.5 m in P ;
- cadastral plan of the Urban Community of Strasbourg (scale of 1:4000) used as reference.

Extraction Methods Used

A computer-assisted photo-interpretation was first applied. This method is usually employed by end-users of aerial photograph or satellite images because it allows structuring the land cover typologies adapted to their needs (Puissant and Weber, 2001). Then, two methods of automatic extraction were used : a classification (Classification by Maximum of Likelihood) and a segmentation procedure (Mathematical Morphology). Traditionally image classification procedures used in remote sensing commonly work in the spectral domain and therefore require the use of multispectral data, while segmentation procedures involve spatial descriptors and typically make use of monospectral data (Pesari *et al.*, 2000).

Table 2 summarises the treatments by resolution, Figure 3 represents the applied methodology and Figure 4 details the treatments realised at different resolutions.

Computer-Assisted Photo-Interpretation (CAPI)

This method is based on the principle of photo-interpretation used initially on aerial photography. It is used to identify the morphology of the urban structures because it enables to obtain the best taxonomic information and the best geometrical accuracy (Reginster, 1997). The various criteria and elements of identification applied are tone, colour, size, orientation, pattern, texture, structure, environment and ground extension of each objects. The combination of these criteria allows to assign an element of one of the three urban objects defined above.

At first urban objects have been detected. This operation consists in "making out the presence of an object" in accordance with their tone and colour. Then the spatial organisation of these close numerical values underlines specific forms, which allows to characterise the texture of the area. Secondly the structure of the area was studied by the analysis of the spatial organisation of the identified textural elements. Thirdly the urban objects were identified (action of "recognising, finding the identity of an object"), assigned to an urban structure type, digitized and described by quantitative criteria (calculation of the surface of the objects compared to the surface of the study parcel).

In parallel, ground control surveys were carried out to check the affectation of the urban objects.

We should point out that the qualitative (texture and structure analysis) and quantitative (surfaces digitalizing) results of this visual interpretation are both time-consuming and are particularly subjective because it depends strictly on the experiment and the *a priori* knowledge of the interpreter.

Table 2 : Treatments by resolutions

	Image Interpretation	Classification by maximum of likelihood	Mathematical morphology
Cadastral plans	✓		
Images at 0.83 m	✓		✓
Images at 1.36 m	✓	✓	✓
Images at 2.5 m	✓	✓	✓
Images at 5 m	✓	✓	✓
Images at 10 m	✓	✓	✓

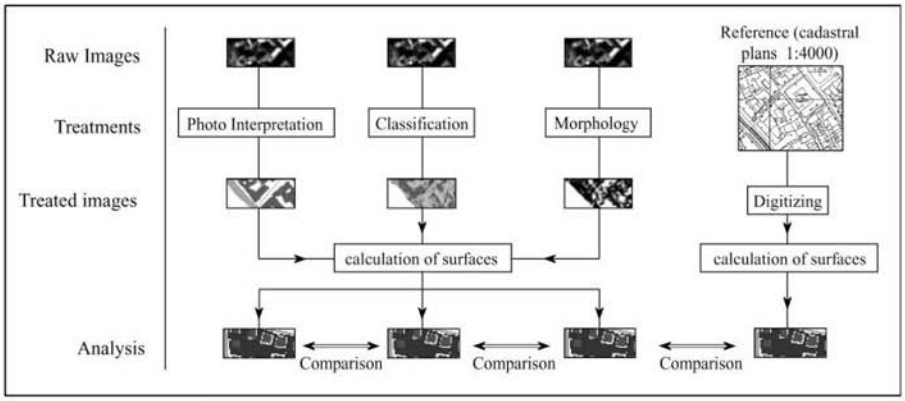


Figure 3 Methodology

Geocarto International, Vol. 17, N°1, March 2002, pp. 31-41
Published by Geocarto International Centre, G.P.O. Box 4122, Hong Kong

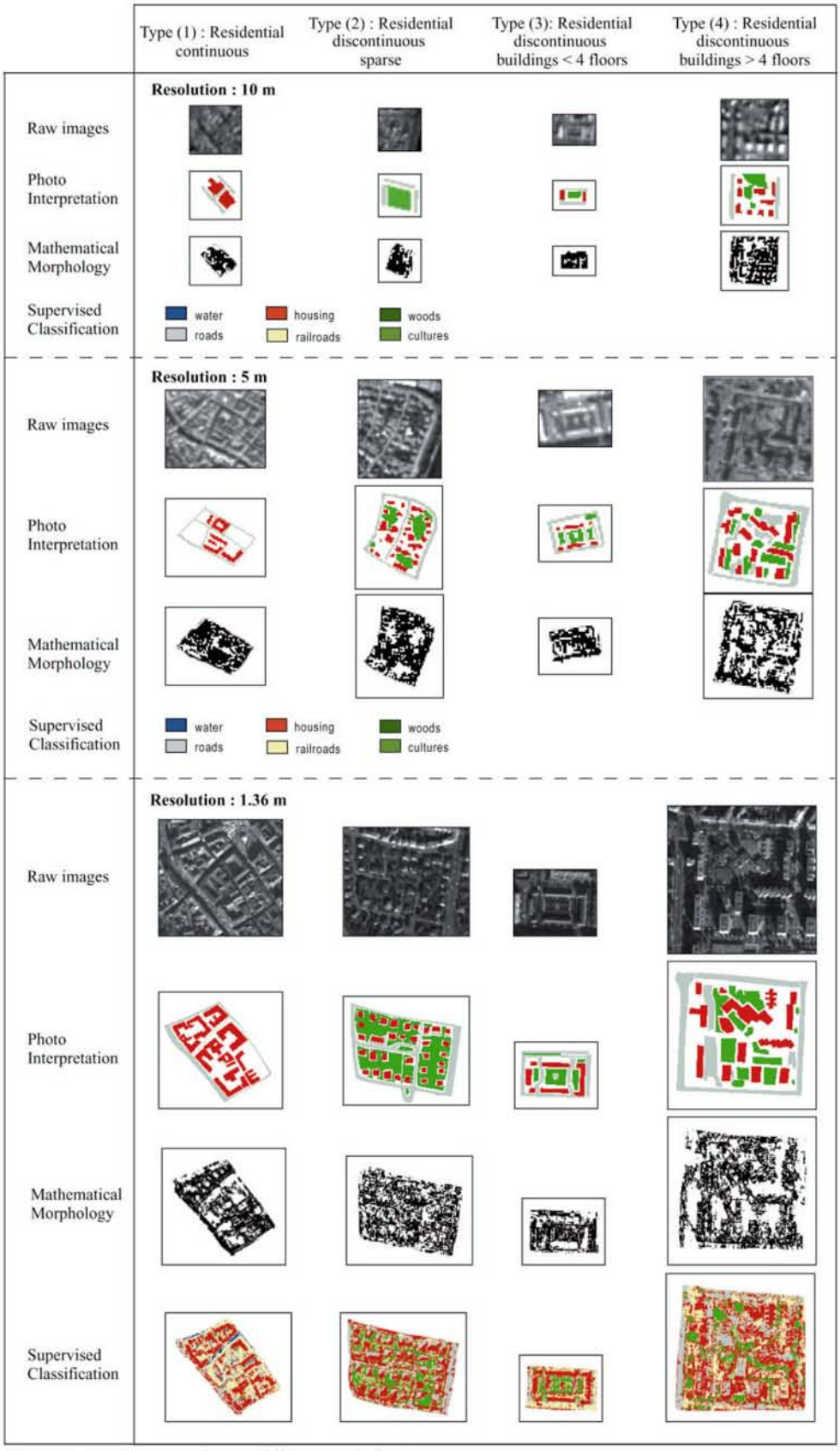


Figure 4 Treatments realises at different resolutions

Geocarto International, Vol. 17, N°1, March 2002, pp. 31-41
Published by Geocarto International Centre, G.P.O. Box 4122, Hong Kong

Supervised Classification

For automatic recognition of urban areas on satellite images, the used standard procedure is still multispectral classification even though it is widely criticised when it is applied to high resolution sensor data (Pesari et al, 2000). Indeed, an increase in spatial resolution is commonly associated with an increase in the internal variability of the urban structure, which can lead to a decrease in classification accuracy (Cushnie, 1987 ; Aplin *et al.*, 1999).

A maximum of likelihood classification algorithm was tested on multispectral images from the 1.36 m to 10 m. The 2.5 m multispectral image has been obtained by a fusion operated by the CNES between the 10 m XS mode image and the SUPERMODE 2.5 m image and the 5 m fusion multispectral image has been obtained by the correlation procedure described by Weber *et al.* (1993). These images have been classified using the same classes of the CAPI method.

We can note that a finer resolution enables to clearly identify individual houses, buildings or grass in a discontinuous environment or trees along the roads (T2). Nevertheless, in a continuous environment (T1) much confusion between road and houses still exist. They are due to the shadows that reduce the interpretation of the urban structure and produce many mistakes in the classification processing, especially in continuous environment where buildings are higher.

Mathematical Morphology

Image segmentation techniques are less frequently used to process satellite data of urban areas. Nevertheless several authors have demonstrated that structural and radiometric data can lead to some information (Marceau *et al.*, 1990 ; Pesari *et al*, 2000). The method used extracts structural information by analysing the links between an urban object and its environment. A structuring element (a simple geometrical form) is launched through the image to check how this element coincides with it. It thus enables to characterise the urban objects by their size, their orientation or their outline (Voiron, 1995). The identification of the urban objects is carried out through a set of morphological transformations based on the concept of "opening" (erosion followed by a dilation) and of "closing" (dilatation followed by an erosion).

The chosen processing consists in applying an operator "top hat" (structuring element of size 3). The "top hat" is used to extract contrasted components with respect to the background. The "basis" and "dual top hat" have been tested. The former extracts positive components (peaks, *i.e.* the objects with high reflectance) and the latter extracts the negative ones (valleys, *i.e.* objects with low reflectance and effects of shade). The "basis top hat" transformation is the residue between the original image and an opening and the "dual top hat" transformation is the residue between a closing and the original image (Destival, 1987 ; Serra, 1994).

On each resulting images ("valley" and "peak"), a threshold is selected (by several tests) when the structure of the objects of low and high reflectance is the best possible one. The choice of a threshold is very difficult because its optimal character can be defined only locally and not on the entire image. Moreover this choice depends on the objectives of the researcher.

In a second time the combination of the images "valley" and "peak" provides a contrasted binary image classified in housing and non-housing areas. This percentage of surfaces is then analysed. As we will discuss hereafter, this type of operators tends to overestimate the percentage of housing areas.

Results and discussion

Firstly the extracted surfaces have been compared by resolution with CAPI to demonstrate the utility of a finer resolution to distinguish with a good accuracy different residential urban structure. Then the surfaces extracted by each method have been compared to quantify the accuracy of automatic extraction algorithms (classification and segmentation) compared to the manual extraction. The resolution adapted to identify an object or an urban structure appears significant if the identified surfaces are extracted with an error of more or less 5 %. This threshold has been defined by the end-users which consider an error of 5 % as acceptable (Puissant, PhD thesis in course).

Choice of a "minimal" and "functional" resolution to identify each type of objects (Q1)

The results of the CAPI process at different resolutions are illustrated in Figure 5 for the residential continuous urban structure (T1) and the evolution of the percentage of identified surfaces for the four types of urban structure are detailed in Figure 6.

Figure 6 shows that globally at 10 m housing surfaces are respectively overestimated in T1 and underestimated in T2 due to much confusion with the road and the vegetation, while discontinuous urban structure T3 and T4 are good identified with an error of less than 5 %. Then the identified housing surfaces decrease with a finer resolution (from 5 m to 1.36 m). This decreasing is due to a better identification of the outlines of the buildings, however they remain underestimated. A threshold is noticed below one-meter because the identified surfaces increase again. This corresponds to a closer identification of the reference surface.

Thus a 0.80 m image seems adapted to identify with an accuracy of less than 5 % the housing whatever the urban structure.

For the roadway network theme, the identified surfaces decrease from 10 to 1.36 m and are underestimated for each type of urban structure. From one-meter the surfaces increase for all structure except in T1 where surfaces are going to decrease. This trend is the same that for housing. This can be explained because if at 10 m the outlines are badly defined, a finer resolution allows to identify more precisely the outlines.

Nevertheless with a finer resolution the surfaces remain underestimated. A 5 m resolution appears adapted to

Geocarto International, Vol. 17, N°1, March 2002, pp. 31-41
Published by Geocarto International Centre, G.P.O. Box 4122, Hong Kong

identify a wide road (≈ 15 m), while resolutions a 2.5 m resolution allow to identify the secondary roadway network.

On the contrary a different trend is identified for the vegetation surfaces. If it appears that when the urban structure is narrow (T2) a resolution below one-meter is adapted, in larger urban structure (T3 and T4), the profits of a finer resolution is not very significant and a resolution of 2.5 m is adapted to extract these surfaces with an error of 5 %. Nevertheless their identification remains underestimated for each resolution whatever the urban structure.

Identification of the best resolution to identify globally each type of urban structure (Q2)

According to the results of surface calculation and outline analysis :

- in a " Residential continuous urban structure " (T1), a resolution of 0.80 m is necessary to identify all the objects ;
- in a " Residential discontinuous sparse urban structure " (T2), if the housing and the roadway network are identified with an accuracy of 5 % at 1 m, the identification of the vegetation which remains always underestimated, requires a finer resolution (below 0.80 m) ;
- in a " Residential discontinuous urban structure where buildings have less than 4 floors " (T3), if the housing and the vegetation are correctly identified from 2.5 m, the roadway network remains underestimated for each resolution and thus its identification requires a below 0.80 m resolution ;
- in a " Residential discontinuous urban structure where buildings have more than 4 floors " (T4), if the housing and the vegetation are well identified from 5 m, the roadway network is also underestimated for each resolution and requires a finer resolution (below 0.80 m).

For each type of urban objects and for each urban structure, a "reference grid" for the end-users has been built. It specifies the "minimal" and the "functional" resolution necessary to identify the urban objects (Figure 7). The "minimal" resolution is the threshold of resolution allowing to identify globally the shape and the outlines of the object. The "functional" resolution defines the resolution at which the object can be analysed (identification of the constitutive elements of the object).

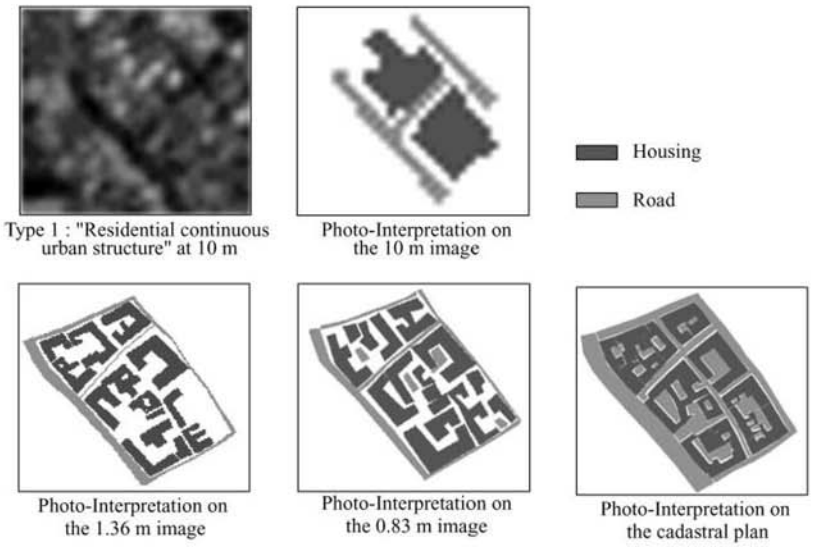


Figure 5 Illustration of the result of the CAPI methodology in a residential continuous urban structure.

Geocarto International, Vol. 17, N°1, March 2002, pp. 31-41
Published by Geocarto International Centre, G.P.O. Box 4122, Hong Kong

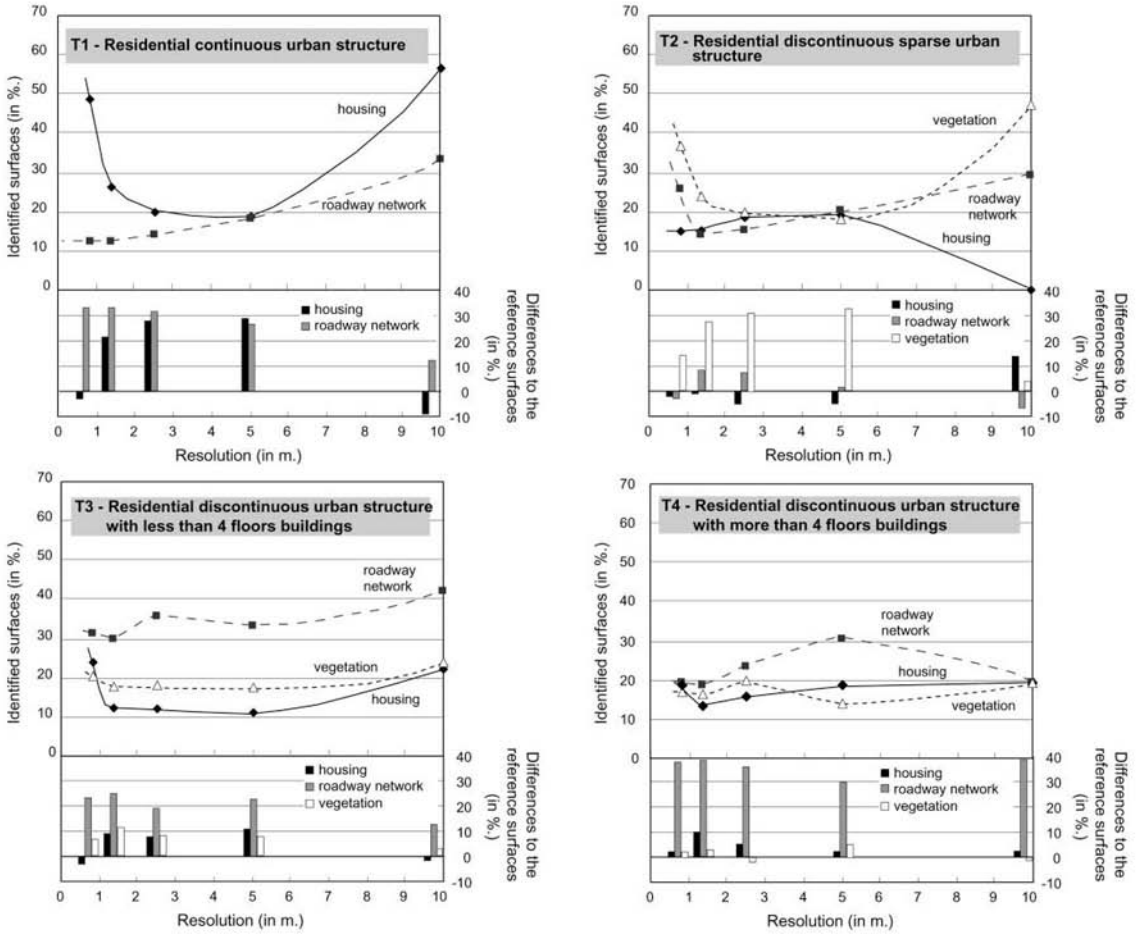


Figure 6 : Evolution of the percentage of identified surfaces at different resolutions by CAPI.

Appropriate method to extract urban objects, whatever the type of urban structures (Q3)

As housing is globally the best identified object whatever the type of urban structure, it has been chosen to assess the performance of several automatic extraction processing. Results of CAPI method have been compared, for each urban structure, to two automatic extraction methods. Figure 8 details the results.

Results show that Mathematical Morphology method tends to overestimate the housing surfaces, in each structure and at all resolution, except in a continuous urban structure (T1) where the identified surfaces are comparable to reference surfaces with an accuracy of 5 %. Globally, a finer resolution shows a decreasing percentage of identified housing surfaces. To understand this phenomenon it must be pointed out that the interpretation of a binary image is very difficult ; without any context, it is very difficult to recognize a type of urban structure and it is necessary to display the full processed image.

At 10 m, this method outlines zones of continuous urban structure. But the pattern of the identified zones does not enable the identification of the type of urban structure. At 5 m, the housing still appear in homogeneous zones.

These zones are more detailed in "Residential discontinuous sparse urban structure" and the identified surfaces increase. At 2.5 m, the outlines of the buildings become delimited and below 2 m the roadway and railway networks are also detected. Then the surfaces decrease because there are less homogeneous zones. Problems appear because of the shadow of the buildings or of the presence of weakly reflective zones along highly reflective zones. Nevertheless, in the full processed image, the structure can be identified.

The housing surfaces extracted by Classification method are overestimated at all resolutions except in T1 urban structure. The overestimation is due to much confusion between roadway network and other artificial surfaces. In T1, the underestimation is due to the complexity of the structure (a complex arrangement of buildings and shadows produce much confusion with networks). In T3 and T4, the overestimation at 1.36 m is due to the identification of details of the roofs of the buildings : flat roofs covered with gravel or concrete become visible and are thus classified in networks objects.

In short, whatever the type of urban structure for a near one-meter resolution, CAPI method is the best method to

Geocarto International, Vol. 17, N°1, March 2002, pp. 31-41
Published by Geocarto International Centre, G.P.O. Box 4122, Hong Kong

identify the housing surfaces. Nevertheless when the size of the buildings becomes higher (T3 and T4), automatic classification on 2.5 m images give good results with an accuracy of 5 %. Below 2 m, the increase of the resolution can thus be considered as a constraint because these images have too many details and multiply the isolated pixels. As CAPI appears as the only method to identify such complex spatial structure, developing adapted automatic extraction methods is necessary. At the present time, classification and segmentation methods, if they overestimate housing surfaces, can nevertheless be used as a complementary information to describe the spectral and structural pattern of the urban structure.

Type of urban structure	Housing	Roadway network	Vegetation
T1 - Residential continuous urban structure	< 1 m / < 0.80 m	< 1 m / < 0.80 m	/ /
T2 - Residential discontinuous sparse urban structure	1 m / < 0.80 m	1 m / < 0.80 m	1 m / < 0.80 m
T3 - Residential discontinuous urban structure with less than 4 floors buildings	2.5 m / < 0.80 m	1 m / < 0.80 m	2.5 m / < 0.80 m
T4 - Residential discontinuous urban structure with more than 4 floors buildings	5 m / < 0.80 m	1 m / < 0.80 m	5 m / < 0.80 m

"Minimal" resolution (in m.) "Functional" resolution (in m.)

Figure 7 : "Minimal "and "Functional" spatial resolution to identify urban structure and theirs constitutive objects.

Conclusions and perspectives

This article has focused on the utility of VHSR images (1-5 m) to help end-users to choose an adapted spatial resolution to extract useful information to plan their tasks. In particular, it highlights the potential of the new sensors to distinguish the objects of any residential urban morphology.

Analysis have highlighted that at a finer resolution, an urban object detected at 10 m, becomes identified at 5 m, and can only be analysed at one or less meter resolution. For each type of urban structure, the different treatments carried out make it possible to define a "Minimal" and a "Functional" resolution to help end-users to choose the resolution adapted to their needs. Globally a resolution of less than 0.80 m is necessary to study the urban morphology and to distinguish the three main constitutive objects of the urban structure (housing, vegetation, roadway network). In a discontinuous urban environment, where the urban structure is composed of homogeneous and large objects (high buildings of more than 10 m), a "Functional" resolution of near 2 m is adapted. If the urban objects are smaller (houses of less than 5 m side), a "Functional" of 0.80 m resolution is necessary. Thus the size of the main textural element of the image defines the degree of precision of the others elements.

Currently simple visual interpretation (CAPI) remains the only used and accurate method because human operator can extract information from VHSR images relatively easily in taking into account radiometric and geometric criteria (Bähr, 2000). Classical extraction methods used in urban areas have been tested to check if they are adapted to identify several residential urban structures. Results have shown that improvements of the automatic extraction methods are necessary to be adapted to below one-meter resolution images. Indeed, a finer resolution can be both an advantage to identify and analyse the characteristics of urban objects with visual interpretation, but also a constraint because an increasing resolution reinforces the spectral heterogeneity of the objects and causes problems in automated methods (overestimation of extracted surfaces).

Moreover according to the new finer resolution images, if an object can be defined through more details, it becomes necessary to change the formalizing criteria (qualitative and quantitative variables) of each urban objects in order to adapt them to the new objects identified on VHSR images and to build a nomenclature used by urban professionals.

With below one-meter images, the shadow effects also become a feature to take into account in the visual or automated extraction methods. Shadows are both sources of information because they inform about the height of the objects and sources of errors because they mask many zones of the urban structure and disturb the algorithms of automatic extraction causing confusions (between housing and water in a continuous urban structure, for instance). Interpretation of these data will not be optimal as long as this problem is not solved. Nevertheless, results have shown that a finer resolution allows a better identification of the interstitial areas and of individual houses and

Geocarto International, Vol. 17, N°1, March 2002, pp. 31-41
Published by Geocarto International Centre, G.P.O. Box 4122, Hong Kong

enables a better distinction between roadway and railway networks.

To improve automatic extraction methods to one-meter resolutions in an urban environment, contribution of fuzzy logic algorithms (approach of Dempter-Shafer, for instance) or of artificial intelligence (neuronal networks algorithm or COBWEB application) should be tested. For mathematical morphology, as the method used tends to overestimate the housing surfaces, operators of contours extraction (Laplacian filter) could be useful.

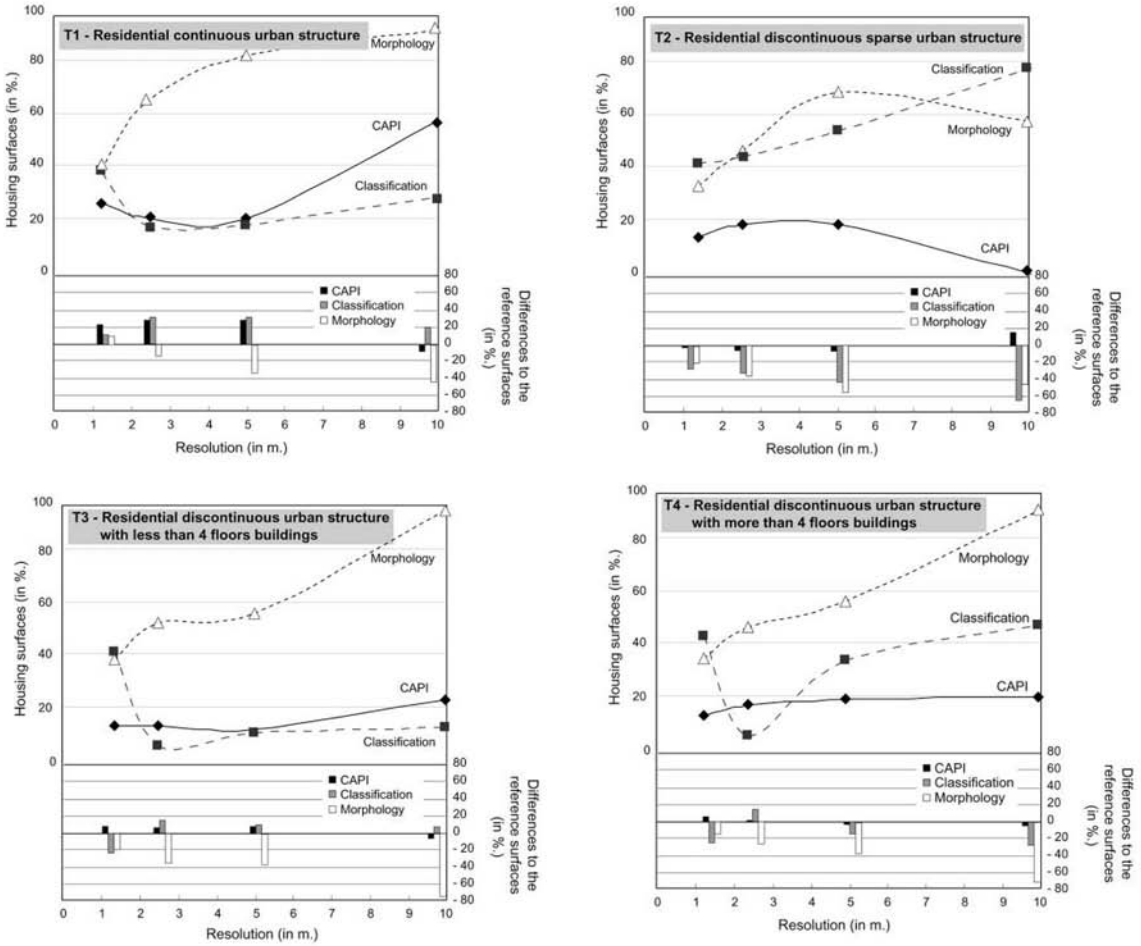


Figure 8 : Evolution of the percentage of housing surfaces at different resolutions for each method.

Geocarto International, Vol. 17, N°1, March 2002, pp. 31-41
Published by Geocarto International Centre, G.P.O. Box 4122, Hong Kong

References

Aplin, P., Atkinson, P.M. and Curran, P.J. (1997) Fine spatial resolution satellite sensors for the next decade, *International Journal of Remote Sensing*, 18: 3873-3882.

Aplin, P., Atkinson, P.M. and Curran, P.J. (1999) Fine spatial resolution simulated satellite sensor imagery for land cover mapping in the United Kingdom, *Remote Sensing of Environment*, 68: 206-216.

Baudot, Y. (1994) *Télédétection aérospatiale en analyse géographique de la population des villes dans les pays en développement*, Ph.D Catholic University of Louvain, Belgium, 350 p.

Barnsley, M.J. and Barr, S.L. (1997), Distinguishing urban land-use categories in fine spatial resolution land-cover data using a graph-based, structural pattern recognition system, *Computer, environment and urban Systems*, 21: 209-225.

Barnsley, M.J., Lasse, M.J. and Barr, S.L. (2000) *Inferring urban land use by spatial and structural pattern recognition*, GISDATA 9, Taylor & Francis, Great Britain, 7: 114-144.

Bähr, H.P. (2000) *Image segmentation for change detection in urban environments*, GISDATA 9, Taylor & Francis, Great Britain, 6: 95-113.

Bonn, F. et Rochon, G. (1992) *Précis de Télédétection : principes et méthodes*, AUPELF, 479 p.

Cushnie, J.L. (1987) The interactive effect of spatial resolution and degree of internal variability within land cover type classification accuracies, *International Journal of Remote Sensing*, 8: 15-29.

Destival, I. (1987) Recherche automatique des réseaux linéaires sur les images SPOT, *Société Française de Photogrammétrie et Télédétection*, 105: 5-16.

Donnay J.P., Barnsley M.J. and Longley P.A. (2000) Remote sensing and urban analysis, in Remote Sensing and Urban Analysis, GISDATA 9, Taylor & Francis, Great Britain, 1: 3-18.

Dureau, F. and Weber, C. (1995) *Télédétection et système d'informations urbains*, Anthropos, Paris, 357 p.

Eurostat (1997) *Télédétection, aménagement, environnement et statistiques urbaines* , in Proceedings of the workshop Lille, 24-25 juin 1996, Office des publications officielles des Communautés Européennes, Luxembourg, 93 p.

Fellous, J.L. (2000) *Le programme Pléiades*, in Proceedings of the workshop "Atelier Besoins Pléiades", CNES, Toulouse, 126 p.

French Equipment Ministry (1999) *Système d'Information Géographique*, Dossier documentaire, Paris, 235 p.

Forster, B.C. (1980) Urban residential ground cover using Landsat digital data, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 46: 547-558.

Forster, B.C. (1985) An examination of some problems and solutions in monitoring urban areas from satellite platforms, *Remote Sensing of Environment*, 6: 139-151.

Gomascara, M.A., Brivio, P.A, Pagnogni, F. and Galli, A. (1993) One century of land use changes in the metropolitan Milan (Italy), *International Journal of Remote Sensing*, 14: 211-223.

Jensen, J.R. (1983) *Urban / suburban land use analysis*, in R.N. Colwell (Ed.) Manual of remote sensing, Second Edition, pp. 1571-1666.

Jensen, J.R. and Cowen, D.C. (1999) Remote sensing of urban / suburban infrastructure and socio-economic attributes, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 65: 611-622.

Lo, C.P. (1993) A GIS approach to population estimation in a complex urban environment using SPOT multispectral images, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 29: 935-941.

McDonald, R.A. (1995) Opening the cold war sky to the public : declassifying satellite reconnaissance imagery, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 61: 385-390.

Marceau, D.J, Howarth, P.J., Dubois, J.M.M. and Gratton, D.J. (1990) Evaluation of the grey-level co-occurrence matrix-method for land cover classification using SPOT imagery, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 28: 513-519.

Murbandy. (1998) *Development of land use data bases for selected European cities/regions*, RGC 30-36, http://murbandy.sai.jrc.it.

Pesaresi, M. and Bianchin, A. (2000) Recognizing settlement structure using mathematical morphology and image texture, GISDATA 9, Taylor & Francis, Great Britain, 4: 55-68.

Puissant, A. (1998) *Les potentialités de la haute et la très haute résolution spatiale pour l'étude du milieu urbain*, Master Thesis, University Louis Pasteur, Strasbourg, 115 p.

Puissant, A. and Weber, C. (2001) *The use of image in Geographical Information Market : results of an inquiry on the needs of end-users in urban studies*, in Proceedings, the 7th EC GI&GIS WORKSHOP, EGII – Managing the Mosaic, 13-15 June 2001, Potsdam, Germany, 21 pp.

Reginster, I (1997) *Cartographie écologique par télédétection d'agglomérations urbaines : cas de Namur et de Charleroi (Belgique)*, in Télédétection des milieux urbains et périurbains, AUPELF-UREF, Montréal, 65-74.

Ridley, H.M., Atkinson, P.M., Aplin, P., Muller, J.-P., and Dowman, I (1999) Evaluating the potential of the forthcoming commercial U.S. high resolution satellite sensor imagery at the Ordnance Survey, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 63: 997-1005.

Serra, J. (1994) *Mathematical Morphology and its Applications to Signal Processing*, in Soille P. (Ed) : Computational Imaging and Vision, Kluwer, Dordrecht, 383 p.

Serra, J. (2000) *Mathematical Morphology*, http://cmm.ensmp.fr/~serra/cours.htm, Ecole des Mines de Paris.

SCOT (1997) *User workshops to define the requirements of town/city local governments departments*, Final Report, CEO programme, 130 pp.

SERTIT, and URA 902 (1994) Intégration de la cartographie des écosystèmes urbains dérivée de l'imagerie SPOT dans le SIG de la ville de Mulhouse, *Rapport d'étude Mairie de Mulhouse, Ministère de l'Environnement et de l'Equipement*, 90 p.

Voiron, C. (1995) *Morphologie mathématique*, Reclus, Montpellier, 1995, 192 pp.

Weber, C., Hirsch, J. and Serradj, A. (1993) *Cartographie d'une forêt spécifique à partir de données satellitraires TM de Landsat et HRV de SPOT : la forêt alluviale de la Robertsau*, in Télédétection et cartographie, AUPELF-UREF, Québec, 273-282.

Weber, C. (2000) *Urban agglomeration delimitation using remote sensing data*, GISDATA 9, Taylor & Francis, Great Britain, 8: 145-159.

Welch, R. (1982) Spatial resolution requirements for urban studies, *International Journal of Remote Sensing*, 3: 139-146.

Geocarto International, **Vol. 17, N°1, March 2002, pp. 31-41**
Published by Geocarto International Centre, G.P.O. Box 4122, Hong Kong

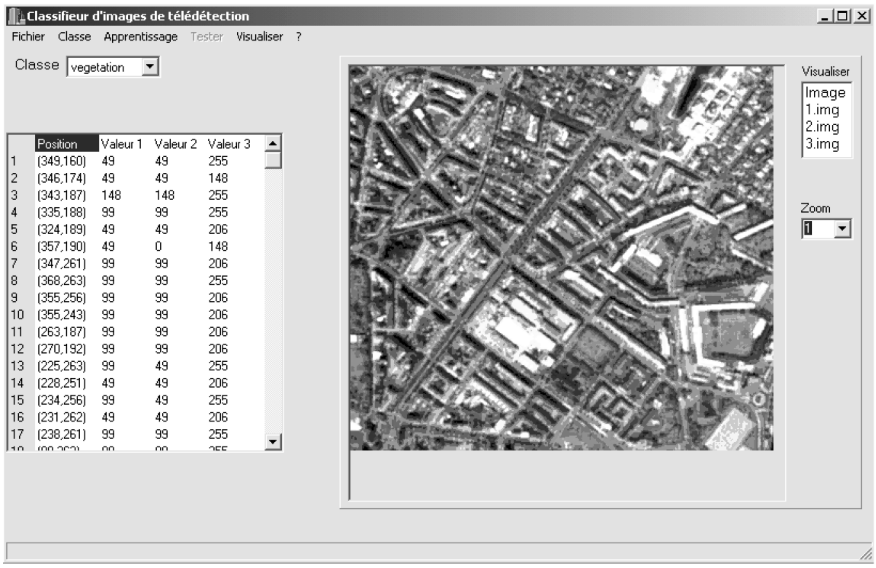
ANNEXE 7.2- MATRICE DE CORRÉLATION ENTRE LES INDICES DE TEXTURE

	H3	D3	E3	S3	H5	D5	E5	S5	H7	D7	E7	S7	H9	D9	E9	S9	H11	D11	E11	S11	H13	D13	E13	S13
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
H3 1	1																							
D3 2	-0.92	1.00																						
E3 3	-0.95	0.80	1.00																					
S3 4	0.91	-0.74	-0.97	1.00																				
H5 5	0.85	-0.78	-0.82	0.80	1.00																			
D5 6	-0.81	0.83	0.72	-0.68	-0.94	1.00																		
E5 7	-0.87	0.76	0.88	-0.86	-0.97	0.87	1.00																	
S5 8	0.81	-0.66	-0.85	0.89	0.90	-0.76	-0.95	1.00																
H7 9	0.79	-0.71	-0.76	0.75	0.94	-0.87	-0.92	0.88	1.00															
D7 10	-0.75	0.75	0.69	-0.67	-0.90	0.92	0.85	-0.77	-0.95	1.00														
E7 11	-0.79	0.70	0.79	-0.79	-0.94	0.85	0.96	-0.93	-0.97	0.90	1.00													
S7 12	0.71	-0.58	-0.74	0.79	0.85	-0.72	-0.90	0.96	0.90	-0.78	-0.94	1.00												
H9 13	0.73	-0.65	-0.71	0.71	0.89	-0.82	-0.88	0.86	0.97	-0.91	-0.95	0.89	1.00											
D9 14	-0.70	0.68	0.65	-0.64	-0.86	0.86	0.82	-0.76	-0.93	0.96	0.89	-0.78	-0.96	1.00										
E9 15	-0.73	0.64	0.73	-0.74	-0.89	0.81	0.91	-0.90	-0.96	0.89	0.98	-0.94	-0.98	0.91	1.00									
S9 16	0.66	-0.54	-0.69	0.73	0.80	-0.67	-0.85	0.92	0.87	-0.75	-0.92	0.98	0.89	-0.78	-0.94	1.00								
H11 17	0.69	-0.61	-0.68	0.69	0.85	-0.77	-0.85	0.84	0.94	-0.87	-0.92	0.89	0.98	-0.93	-0.96	0.90	1.00							
D11 18	-0.67	0.64	0.63	-0.63	-0.82	0.81	0.79	-0.75	-0.91	0.92	0.87	-0.79	-0.95	0.97	0.91	-0.80	-0.96	1.00						
E11 19	-0.69	0.60	0.69	-0.71	-0.85	0.76	0.86	-0.87	-0.93	0.86	0.95	-0.93	-0.96	0.90	0.99	-0.94	-0.98	0.92	1.00					
S11 20	0.62	-0.50	-0.65	0.70	0.76	-0.63	-0.81	0.88	0.83	-0.72	-0.88	0.96	0.87	-0.76	-0.92	0.99	0.89	-0.79	-0.94	1.00				
H13 21	0.66	-0.58	-0.66	0.67	0.82	-0.74	-0.82	0.82	0.91	-0.84	-0.90	0.87	0.96	-0.90	-0.94	0.89	0.99	-0.94	-0.97	0.89	1.00			
D13 22	-0.64	0.60	0.61	-0.61	-0.80	0.77	0.77	-0.74	-0.88	0.88	0.85	-0.78	-0.93	0.94	0.90	-0.79	-0.95	0.98	0.92	-0.79	-0.96	1.00		
E13 23	-0.66	0.57	0.66	-0.68	-0.82	0.73	0.83	-0.85	-0.90	0.82	0.92	-0.91	-0.95	0.88	0.97	-0.94	-0.97	0.91	0.99	-0.94	-0.97	0.93	1.00	
S13 24	0.59	-0.47	-0.62	0.67	0.73	-0.60	-0.77	0.86	0.81	-0.69	-0.85	0.94	0.85	-0.74	-0.90	0.98	0.88	-0.77	-0.93	1.00	0.89	-0.79	-0.94	1

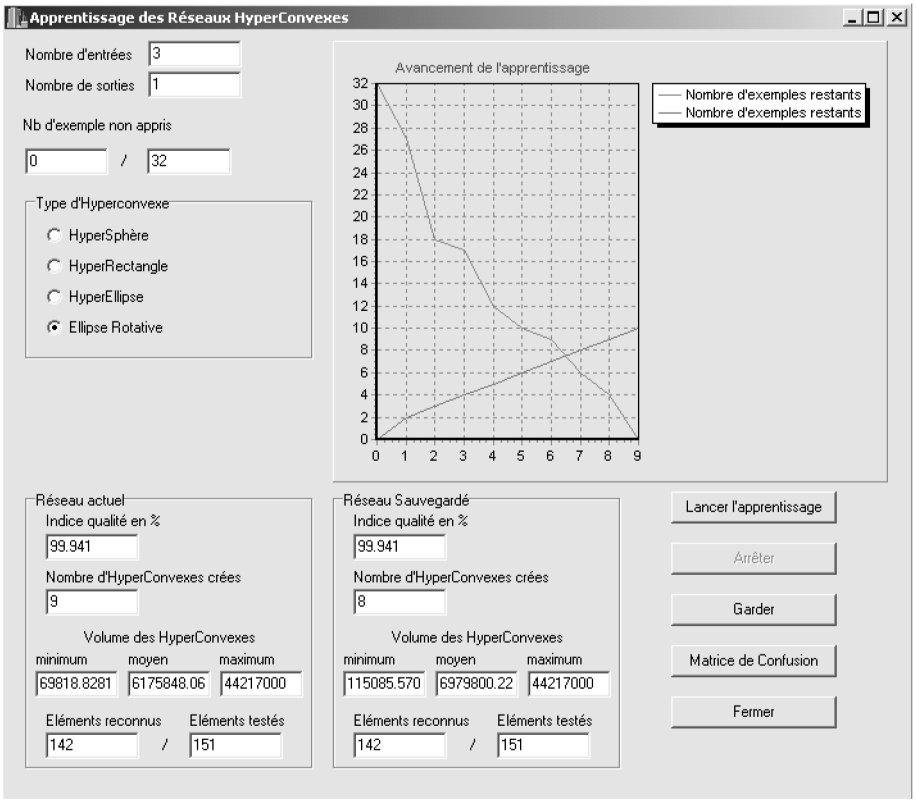
H Homogénéité
D Dissimilarité
E Entropie
S iecond Moment Ang

ANNEXE 7.3- INTERFACES DU PROTOTYPE « TÉLÉDÉTECTION » BASES SUR LES RÉSEAUX NEURONAUX HYPERCONVEXES

(a) Fenêtre principale du prototype

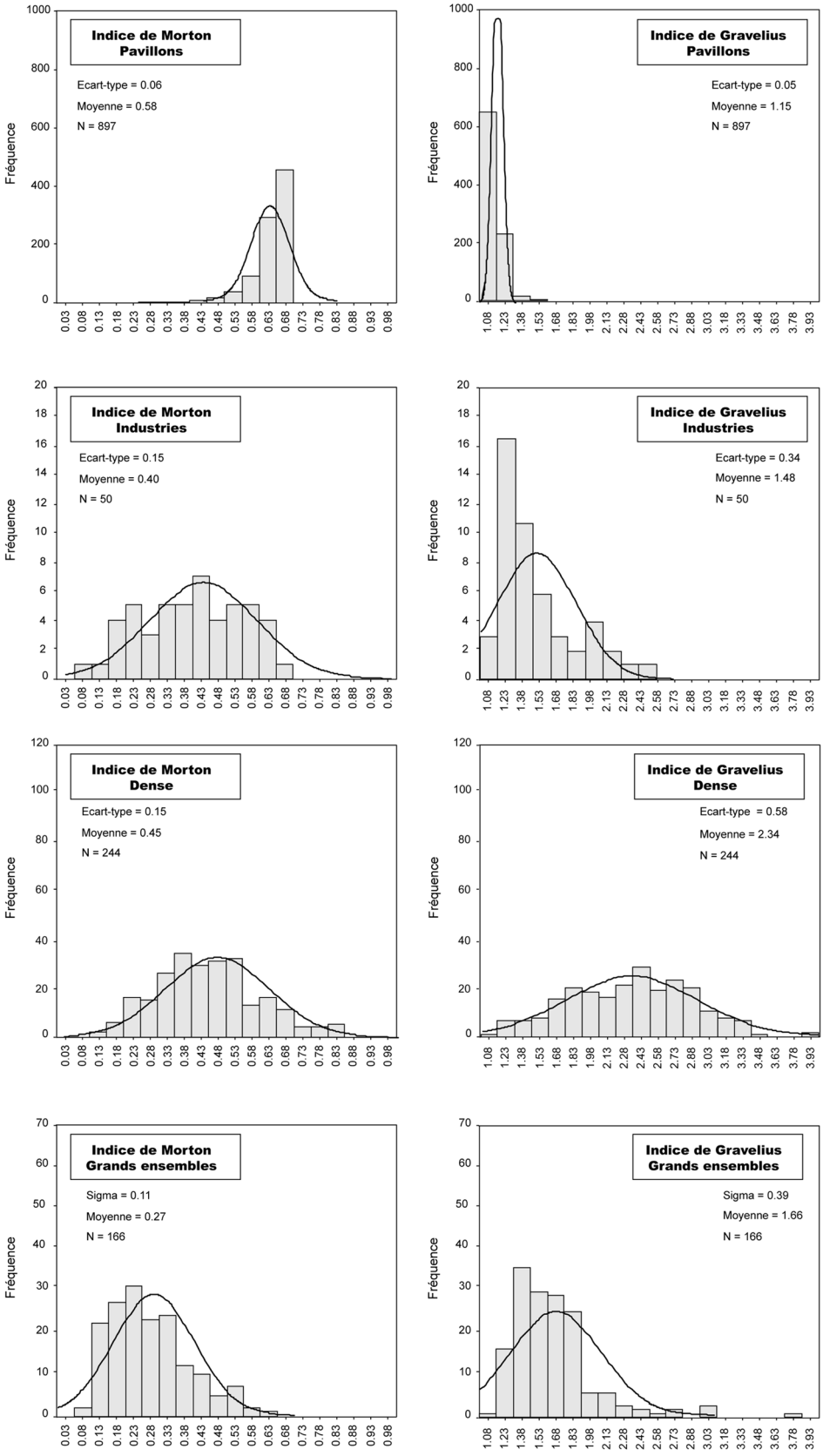


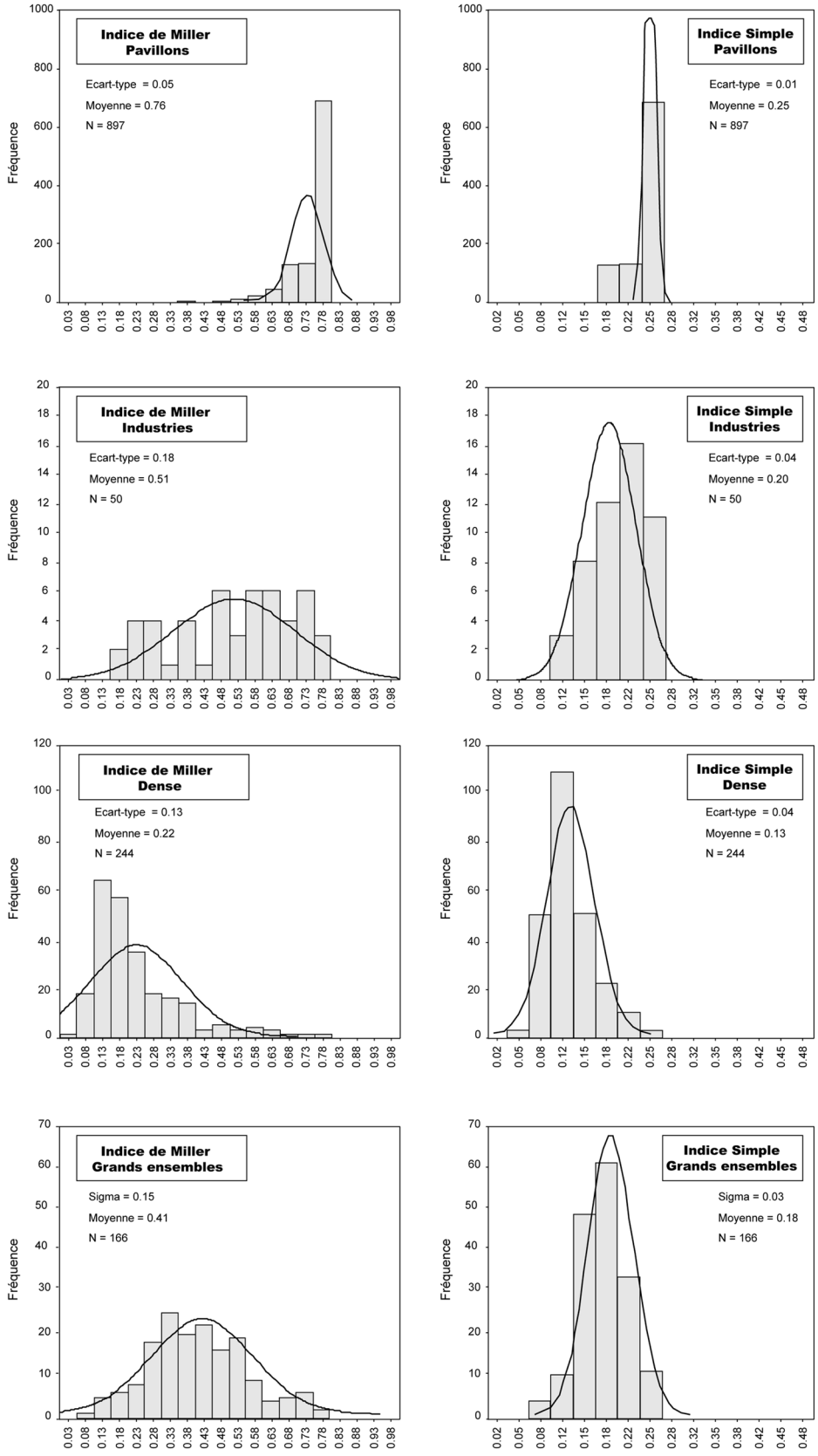
(b) Fenêtre d'apprentissage des réseaux HyperConvexes

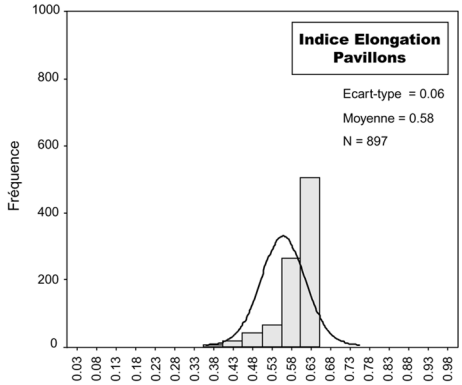


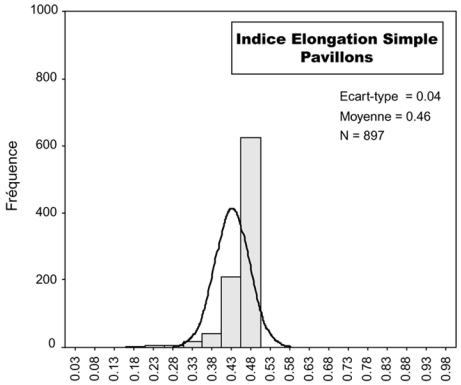
©LSIIT, 2001.

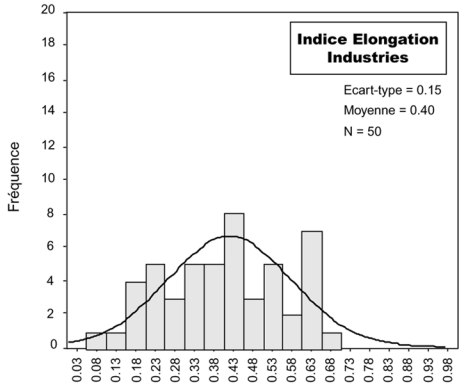
ANNEXE 8.1- DIAGRAMMES DE FRÉQUENCE DES INDICES DE FORME DES OBJETS DE TYPE « BÂTIMENTS »

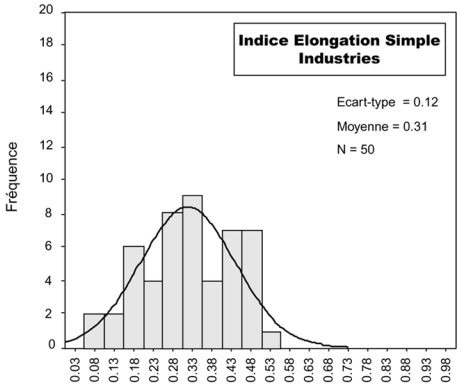


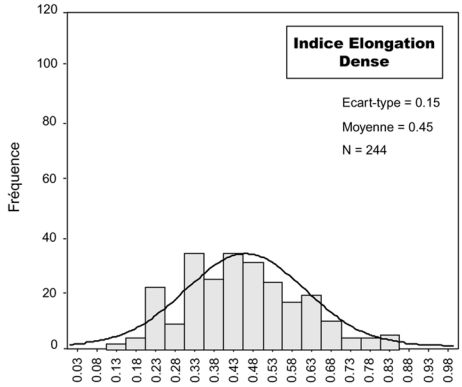

Indice de Miller
Pavillons
Ecart-type = 0.05
Moyenne = 0.76
N = 897
Indice Simple
Pavillons
Ecart-type = 0.01
Moyenne = 0.25
N = 897
Indice de Miller
Industries
Ecart-type = 0.18
Moyenne = 0.51
N = 50
Indice Simple
Industries
Ecart-type = 0.04
Moyenne = 0.20
N = 50
Indice de Miller
Dense
Ecart-type = 0.13
Moyenne = 0.22
N = 244
Indice Simple
Dense
Ecart-type = 0.04
Moyenne = 0.13
N = 244
Indice de Miller
Grands ensembles
Sigma = 0.15
Moyenne = 0.41
N = 166
Indice Simple
Grands ensembles
Sigma = 0.03
Moyenne = 0.18
N = 166
Fréquence

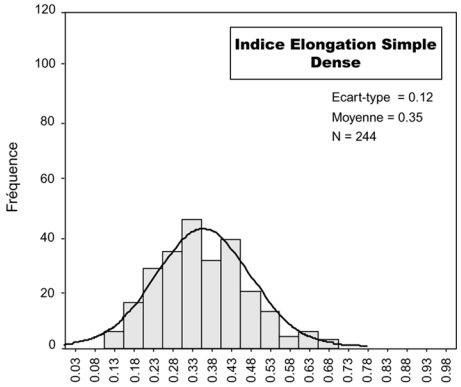

Indice Elongation Pavillons
Ecart-type = 0.06
Moyenne = 0.58
N = 897
Fréquence

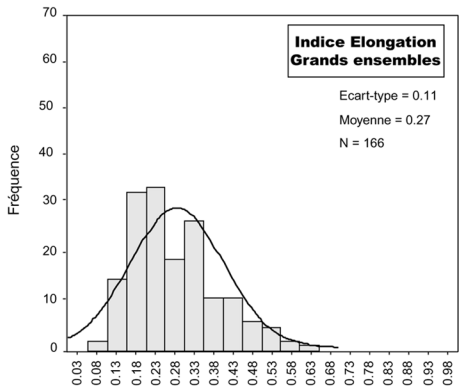

Indice Elongation Simple Pavillons
Ecart-type = 0.04
Moyenne = 0.46
N = 897
Fréquence

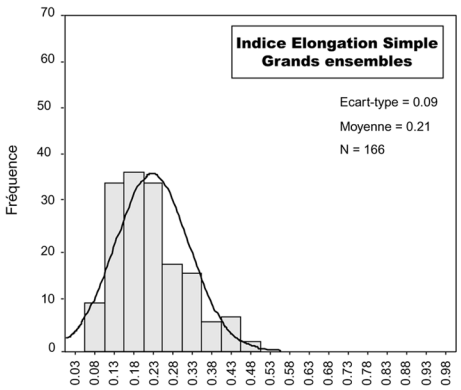

Indice Elongation Industries
Ecart-type = 0.15
Moyenne = 0.40
N = 50
Fréquence


Indice Elongation Simple Industries
Ecart-type = 0.12
Moyenne = 0.31
N = 50
Fréquence


Indice Elongation Dense
Ecart-type = 0.15
Moyenne = 0.45
N = 244
Fréquence


Indice Elongation Simple Dense
Ecart-type = 0.12
Moyenne = 0.35
N = 244
Fréquence


Indice Elongation Grands ensembles
Ecart-type = 0.11
Moyenne = 0.27
N = 166
Fréquence


Indice Elongation Simple Grands ensembles
Ecart-type = 0.09
Moyenne = 0.21
N = 166
Fréquence