



CENTRE NATIONAL  
DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE



# THÈSE

Présentée pour obtenir le grade de

**DOCTEUR DE L'UNIVERSITE LOUIS PASTEUR - STRASBOURG 1**

**Discipline : CHIMIE-PHYSIQUE**

par

**Stéphane FRANÇOIS**

---

**METHODOLOGIE D'ETABLISSEMENT DE CADASTRES  
D'EMISSIONS A L'ECHELLE REGIONALE:  
APPLICATION AU CADASTRE ESCOMPTE ET A SON  
EXTENSION A LA REGION PACA**

---

Thèse soutenue publiquement le 30 juin 2004  
devant la Commission d'Examen composée de:

M. Gérard POILLERAT  
M. Bernard CROS  
M. Liberto TORRES  
Mme. Jane NOPPE  
M. Sylvain FAYET  
M. Philippe MIRABEL  
M. Jean Luc PONCHE

Rapporteur interne  
Rapporteur externe  
Rapporteur externe  
Membre invité  
Membre invité  
Directeur de thèse  
Directeur de thèse

## Table des matières

<u>TABLE DES MATIÈRES</u> .....	1
<u>LISTE DES ILLUSTRATIONS</u> .....	5
<u>LISTE DES TABLEAUX</u> .....	7
<u>LISTE DES TABLEAUX</u> .....	7
<u>GLOSSAIRE</u> .....	9
<b><u>I CHAPITRE 1: CHIMIE TROPOSPHÉRIQUE ET PROBLÉMATIQUE GÉNÉRALE DE QUALITÉ DE L’AIR</u></b> .....	<b>17</b>
<u>I.1 L’ATMOSPHÈRE : COMPOSITION ET CHIMIE</u> .....	19
<u>I.1.1 L’atmosphère</u> .....	19
<u>I.1.2 Physico chimie troposphérique</u> .....	21
<u>I.1.2.1 Composition chimique de l’atmosphère</u> .....	21
<u>I.1.2.2 Chimie troposphérique</u> .....	23
<u>I.1.2.3 Ozone troposphérique</u> .....	24
<u>I.1.3 Pollution atmosphérique</u> .....	29
<u>I.2 QUALITÉ DE L’AIR</u> .....	30
<u>I.2.1 Généralités sur les principaux polluants</u> .....	31
<u>I.2.1.1 Le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>)</u> .....	31
<u>I.2.1.2 Les oxydes d’azote</u> .....	33
<u>I.2.1.3 Le monoxyde de carbone</u> .....	35
<u>I.2.1.4 Les composés organiques volatils</u> .....	36
<u>I.2.1.5 Les métaux lourds</u> .....	37
<u>I.2.1.6 Les aérosols</u> .....	38
<u>I.2.1.7 L’ozone</u> .....	39
<u>I.2.2 Surveillance de la qualité de l’air en France</u> .....	40
<u>I.2.2.1 Les réseaux de mesure</u> .....	40
<u>I.2.2.2 Les normes de qualité de l’air</u> .....	41
<u>I.3 CONCLUSION</u> .....	43
<u>RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES</u> .....	45
<b><u>II CHAPITRE 2: INVENTAIRES ET CADASTRES D’ÉMISSIONS</u></b> .....	<b>47</b>
<u>II.1 DÉFINITIONS GÉNÉRALES</u> .....	49
<u>II.1.1 Inventaire d’émissions</u> .....	49
<u>II.1.2 Cadastre d’émissions</u> .....	50
<u>II.1.3 Sources d’émissions</u> .....	51
<u>II.1.4 Facteur d’émission</u> .....	52
<u>II.1.5 Nomenclatures</u> .....	52
<u>II.2 MÉTHODOLOGIE DE RÉALISATION D’UN INVENTAIRE</u> .....	55
<u>II.2.1 Méthodologies</u> .....	55
<u>II.2.1.1 Approche méthodologique top – down</u> .....	56

II.2.1.2	<u>Approche méthodologique bottom - up</u> .....	57
II.2.2	<u>Démarche générique de construction d'un inventaire d'émissions</u> .....	59
II.2.3	<u>Problématique des données d'entrée</u> .....	62
II.2.4	<u>Problématique des procédures de traitement</u> .....	66
II.2.5	<u>Problématique des procédures de la spatialisation des émissions</u> .....	67
II.3	<u>CAS DES CADASTRES DU PROGRAMME ESCOMPTE</u> .....	68
II.3.1	<u>Le programme ESCOMPTE</u> .....	68
II.3.2	<u>Les cadastres d'émissions du programme ESCOMPTE</u> .....	69
II.4	<u>CONCLUSION</u> .....	71
	<u>RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES</u> .....	73
<b>III</b>	<b><u>CHAPITRE 3: TRAVAUX ET RÉSULTATS OBTENUS DANS LE CADRE DU PROGRAMME ESCOMPTE</u></b> .....	<b>75</b>
<b>IV</b>	<b><u>CHAPITRE 4: RECOMMANDATIONS POUR L'ÉTABLISSEMENT ET LA MISE À JOUR RATIONNELS DE CADASTRES D'ÉMISSIONS</u></b> .....	<b>117</b>
IV.1	<u>PRÉLIMINAIRE : CONTEXTE TECHNIQUE ET RAPPEL DES NOTIONS DE BASE DE PROGRAMMATION</u> .....	119
IV.1.1	<u>Remarque sur la notion de logiciel libre</u> .....	119
IV.1.2	<u>Réutilisation du code : programmation orientée composants</u> .....	120
IV.1.2.1	<u>Notion d'objet</u> .....	121
IV.1.2.2	<u>Notion de classe</u> .....	121
IV.1.2.3	<u>Notion d'héritage et de hiérarchie des classes</u> .....	122
IV.1.2.4	<u>Méthodes "objet"</u> .....	123
IV.1.2.5	<u>Concept d'encapsulation</u> .....	124
IV.1.2.6	<u>Masquage des informations</u> .....	124
IV.2	<u>MISE EN PLACE D'UN MODÈLE DE DONNÉES</u> .....	124
IV.2.1	<u>Sources d'émissions</u> .....	126
IV.2.1.1	<u>Sources stationnaires</u> .....	126
IV.2.1.2	<u>Sources mobiles</u> .....	133
IV.2.2	<u>Sources de données</u> .....	136
IV.2.2.1	<u>Données météorologiques</u> .....	137
IV.2.2.2	<u>Les données cartographiques et la problématique du format de stockage dans l'applicatif</u> .....	142
IV.2.2.3	<u>Données tabulaires</u> .....	147
IV.3	<u>ORGANISATION GÉNÉRIQUE DU PROGICIEL</u> .....	150
IV.3.1	<u>Structure générale</u> .....	150
IV.3.2	<u>Calcul d'émission (générique)</u> .....	155
IV.3.3	<u>Traitement d'attribution spatiale</u> .....	155
IV.3.4	<u>Traitement de modulation temporelle</u> .....	156
IV.4	<u>CONCLUSION</u> .....	157
	<u>RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES</u> .....	159

## **V CHAPITRE 5: OUTILS DE RÉALISATION D'INVENTAIRES D'ÉMISSIONS BIOTIQUES**

161

<b><u>V.1</u></b>	<b><u>MÉTHODOLOGIE DE CALCUL DES ÉMISSIONS BIOGÉNIQUES POUR LA VÉGÉTATION</u></b>	163
<b><u>V.2</u></b>	<b><u>RÉALISATION DE L'OUTIL</u></b>	168
<i><u>V.2.1</u></i>	<i><u>Structure globale</u></i>	168
<i><u>V.2.2</u></i>	<i><u>Choix du cadre de développement</u></i>	169
<i><u>V.2.3</u></i>	<i><u>Schéma de bloc global du traitement des données météorologiques</u></i>	170
<i><u>V.2.4</u></i>	<i><u>Schéma de bloc global du traitement de calcul des émissions</u></i>	172
<i><u>V.2.5</u></i>	<i><u>Détail d'un des modules de calcul des émissions</u></i>	176
<b><u>V.3</u></b>	<b><u>VALIDATION ET APPLICATIONS : PROGRAMMES ESCOMPTE ET BOND</u></b>	178
<i><u>V.3.1</u></i>	<i><u>Cadastres annuel et horaires durant les POI du programme ESCOMPTE</u></i>	178
<i><u>V.3.2</u></i>	<i><u>Cadastres biotiques BOND :</u></i>	181
<b><u>V.4</u></b>	<b><u>PROGRAMMES EN COURS ET PERSPECTIVES</u></b>	182
<i><u>V.4.1</u></i>	<i><u>Extension à la région PACA</u></i>	182
<i><u>V.4.2</u></i>	<i><u>Considérations de performance et adéquation de l'outil développé au LPCA</u></i>	183
<b><u>V.5</u></b>	<b><u>INTERFAÇAGE AVEC LE MODÈLE CHIMERE</u></b>	186
<i><u>V.5.1</u></i>	<i><u>Problématique de l'utilisation</u></i>	186
<i><u>V.5.2</u></i>	<i><u>Zone d'étude concernée et considérations de performance</u></i>	187
<b><u>V.6</u></b>	<b><u>CONCLUSION</u></b>	190
	<b><u>RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES</u></b>	191

## **VI CHAPITRE 6: OUTILS DE GESTIONS D'ÉMISSIONS : POSTICE**

<b><u>VI.1</u></b>	<b><u>CONTEXTE GÉNÉRAL DU DÉVELOPPEMENT</u></b>	195
<b><u>VI.2</u></b>	<b><u>RÉALISATION DE L'OUTIL</u></b>	196
<i><u>VI.2.1</u></i>	<i><u>Préliminaires: précision sur les termes utilisés</u></i>	196
<i><u>VI.2.2</u></i>	<i><u>Préliminaires: information sur quelques techniques utilisées</u></i>	197
<i><u>VI.2.3</u></i>	<i><u>Limitations connues à ce jour</u></i>	198
<i><u>VI.2.4</u></i>	<i><u>Conditions de licence du logiciel</u></i>	200
<b><u>VI.3</u></b>	<b><u>STRUCTURE GLOBALE DE L'OUTIL</u></b>	200
<i><u>VI.3.1</u></i>	<i><u>Organisation globale de l'outil</u></i>	200
<i><u>VI.3.2</u></i>	<i><u>Interface de l'outil: exemples de boîtes de dialogue</u></i>	203
<b><u>VI.4</u></b>	<b><u>FONCTIONS DE SOMMATION ET CONVOLUTION</u></b>	205
<i><u>VI.4.1</u></i>	<i><u>Fonction de sommation</u></i>	205
<i><u>VI.4.2</u></i>	<i><u>Fonction "Convolution":</u></i>	208
<b><u>VI.5</u></b>	<b><u>FONCTION D'ANALYSES SECTORIELLES ET SPATIALES</u></b>	208
<i><u>VI.5.1</u></i>	<i><u>Fonction "Analyse sectorielle"</u></i>	208
<i><u>VI.5.2</u></i>	<i><u>Fonction "Analyse spatiale"</u></i>	208
<i><u>VI.5.3</u></i>	<i><u>Fonction "Analyse combinée"</u></i>	210
<b><u>VI.6</u></b>	<b><u>FONCTIONS DE COMPARAISON ET VISUALISATION</u></b>	210
<i><u>VI.6.1</u></i>	<i><u>Fonctions de comparaison</u></i>	210

3

<u>VI.6.2</u> <i>Fonction de visualisation</i> .....	211
<u>VI.7</u> OUTIL D'ATTRIBUTION SPATIALE DES ÉMISSIONS .....	211
<u>VI.7.1</u> <i>Approche choisie pour la spatialisation</i> .....	211
<u>VI.7.2</u> <i>Mise en œuvre du calcul</i> .....	213
<u>VI.8</u> OUTIL DE MODULATIONS TEMPORELLES DES ÉMISSIONS .....	215
<u>VI.8.1</u> <i>Contexte</i> .....	215
<u>VI.8.2</u> <i>Mise en oeuvre</i> .....	216
<u>VI.9</u> CONCLUSION.....	218
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	220
<b><u>VII</u>    CONCLUSION ET PERSPECTIVES .....</b>	<b>222</b>
<b><u>VIII</u>    ANNEXES .....</b>	<b>224</b>
<u>ANNEXE 1 : EXEMPLE DE RÉSULTATS DE L'INVENTAIRE DE CORALIE (VERSION 2002 ) EN FORMAT</u> <u>"SECTEN" AVEC SÉRIE TEMPORELLE DE 1988 À 2002 OU DE 1960 À 2002 POUR LES PRINCIPAUX POLLUANTS</u> <u>(SOURCE CITEPA)</u> .....	224
<u>ANNEXE 2 : NOMENCLATURES</u> .....	232
<u>ANNEXE 2.1 : NOMENCLATURE SNAP97 AU NIVEAU 3:</u> .....	232
<u>ANNEXE 2.2 : NAPFUE 94</u> .....	242
<u>ANNEXE 2.3 : CORRESPONDANCE ENTRE NAF 700 (RÉVISION DU 01/01/2003) ET SNAP97 NIVEAU 3:</u> ...	244
<u>ANNEXE 3: IDSURF ESCOMPTE (DOCUMENT DE RÉFÉRENCE: ORIGINE CEPE - ESCOMPTE)</u> .....	260
<u>ANNEXE 4: NOTE DE TRAVAIL DU 19 DÉCEMBRE 2001 CONCERNANT LES INCERTITUDES DANS LA</u> <u>RÉALISATION DES CADASTRES POUR LE PROGRAMME ESCOMPTE (DOCUMENT DE RÉFÉRENCE: ORIGINE CEPE</u> <u>- ESCOMPTE)</u> .....	264

## **Liste des illustrations**

<a href="#"><u>FIGURE 1: STRUCTURE VERTICALE DE L'ATMOSPHÈRE (SEINFELD ,1997)</u></a> .....	20
<a href="#"><u>FIGURE 2: TEMPS MOYENS DE TRANSPORT POUR LES ÉCHANGES ENTRE LES COUCHES (RHODE ET AL., 1992)</u></a> .....	21
<a href="#"><u>FIGURE 3: CONCENTRATION EN OZONE TROPOSPHÉRIQUE EN HAUTE ALTITUDE EN EUROPE AU COURS DU SIÈCLE DERNIER (MARENCO ET AL (1994))</u></a> .....	25
<a href="#"><u>FIGURE 4: PARAMÈTRES QUI CONDITIONNENT LA QUALITÉ DE L'AIR D'UNE ZONE GÉOGRAPHIQUE (PONCHE, 2003)</u></a> .....	31
<a href="#"><u>FIGURE 5: LES RÉSEAUX DE SURVEILLANCE DE LA QUALITÉ DE L'AIR (SOURCE : ADEME, 2002)</u></a> .....	41
<a href="#"><u>FIGURE 6: DIAGRAMME DE FLUX DE LA MÉTHODOLOGIE TOP - DOWN :</u></a> .....	57
<a href="#"><u>FIGURE 7: DIAGRAMME DE FLUX DE LA MÉTHODOLOGIE BOTTOM – UP:</u></a> .....	58
<a href="#"><u>FIGURE 8: SCHÉMA GÉNÉRIQUE DE LA RÉALISATION D'UN INVENTAIRE D'ÉMISSIONS</u></a> .....	61
<a href="#"><u>FIGURE 9 : ZONE D'ÉTUDE DU CADASTRE ESCOMPTE</u></a> .....	69
<a href="#"><u>FIGURE 10 : STRUCTURE FINALE DE LA RÉALISATION DES CADASTRES POUR LE PROGRAMME ESCOMPTE</u></a> .....	71
<a href="#"><u>FIGURE 11: EXEMPLE DE HIÉRARCHISATION DE CLASSES</u></a> .....	123
<a href="#"><u>FIGURE 12 : SYMBOLIQUE UTILISÉE DANS LES DIAGRAMMES</u></a> .....	126
<a href="#"><u>FIGURE 13 : DIAGRAMME ER POUR UNE SOURCE PONCTUELLE STATIONNAIRE</u></a> .....	128
<a href="#"><u>FIGURE 14 : DIAGRAMME ER ÉLARGI POUR LES SOURCES PONCTUELLES STATIONNAIRES</u></a> .....	130
<a href="#"><u>FIGURE 15 : DIAGRAMME ER POUR UNE SOURCE SURFACIQUE STATIONNAIRE</u></a> .....	132
<a href="#"><u>FIGURE 16 : DIAGRAMME ER ÉLARGI POUR LES SOURCES SURFACIQUES STATIONNAIRES</u></a> .....	133
<a href="#"><u>FIGURE 17 : DIAGRAMME ER POUR LES SOURCES MOBILES</u></a> .....	135
<a href="#"><u>FIGURE 18 : DIAGRAMME ER ÉLARGI POUR LES SOURCES MOBILES</u></a> .....	136
<a href="#"><u>FIGURE 19 : DIFFÉRENTES RÉOLUTIONS DE DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES SUR LA ZONE ESCOMPTE</u></a> .....	139
<a href="#"><u>FIGURE 20 : COMPARAISON DE DONNÉES DE TEMPÉRATURE ALADIN ET STATIONS MÉTÉO-FRANCE</u></a> .....	139
<a href="#"><u>FIGURE 21 : ÉVOLUTION DE LA TEMPÉRATURE ET DES ÉMISSIONS DE COV BIOGÈNE</u></a> .....	140
<a href="#"><u>FIGURE 22 : ÉVOLUTION DU PAR ET DES ÉMISSIONS DE COV BIOGÈNE</u></a> .....	140
<a href="#"><u>FIGURE 23 : DONNÉES BRUTES TYPIQUE DU MODÈLE ARPÈGE-IFS POUR LE FLUX SOLAIRE</u></a> .....	141
<a href="#"><u>FIGURE 24 : EXEMPLE D'INTERSECTION GÉOMÉTRIQUE</u></a> .....	144
<a href="#"><u>FIGURE 25 : FONCTIONS PRINCIPALES CONSIDÉRÉES POUR UNE PLATEFORME DE MODÉLISATION DES ÉMISSIONS</u></a> .....	151
<a href="#"><u>FIGURE 26: DIAGRAMME DE FLUX : FLUX REPRÉSENTÉS EN FONCTION DES CLASSES DE FONCTIONNALITÉS GÉNÉRALES D'UN OUTIL DE CALCUL D'ÉMISSIONS</u></a> .....	152
<a href="#"><u>FIGURE 27 : DIAGRAMME DE FLUX: VUE SIMPLIFIÉE DE L'OUTIL</u></a> .....	154
<a href="#"><u>FIGURE 28: DIAGRAMME DE FLUX D'UN CALCUL D'ÉMISSIONS</u></a> .....	155
<a href="#"><u>FIGURE 29: DIAGRAMME DE FLUX D'UNE OPÉRATION DE SPATIALISATION D'UN DÉCOUPAGE A VERS UN DÉCOUPAGE B</u></a> .....	156
<a href="#"><u>FIGURE 30: DIAGRAMME DE FLUX D'UNE OPÉRATION D'ATTRIBUTION TEMPORELLE DES ÉMISSIONS</u></a> .....	156
<a href="#"><u>FIGURE 31: SCHÉMATISATION DU MODÈLE DE CANOPÉE À TROIS COUCHES</u></a> .....	166
<a href="#"><u>FIGURE 32: STRUCTURE GLOBALE DE L'OUTIL DE CALCUL</u></a> .....	168
<a href="#"><u>FIGURE 33: SCHÉMA DE BLOC DU TRAITEMENT DES DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES</u></a> .....	172
<a href="#"><u>FIGURE 34 : SCHÉMA DE BLOC GLOBAL DU CALCUL D'ÉMISSIONS</u></a> .....	174

<a href="#">FIGURE 35: EXEMPLE DE DIAGRAMME DE BLOC D'UN MODULE "CALCUL DES ÉMISSIONS"</a> .....	177
<a href="#">FIGURE 36: CARTOGRAPHIE IFU DES ÉMISSIONS TOTALES DE COVNM BIOTIQUES (EN KG.KM<sup>2</sup>)</a> .....	180
<a href="#">FIGURE 37: CARTOGRAPHIE ESCOMPTE DES ÉMISSIONS TOTALES DE COVNM BIOTIQUES (EN KG.KM<sup>2</sup>)</a> .....	180
<a href="#">FIGURE 38: ZONE D'ÉTUDE (184x184 KM<sup>2</sup>) CENTRÉE SUR ATHÈNES (POINT ROUGE)</a> .....	182
<a href="#">FIGURE 39: ZONE DE MODÉLISATION POUR LE CADASTRE RÉGION PACA (RÉSOLUTION 3x3 KM<sup>2</sup>)</a> .....	183
<a href="#">FIGURE 40: STRUCTURE DU MODÈLE CHIMÈRE</a> .....	186
<a href="#">FIGURE 41: BRANCHEMENT OPÉRÉ POUR L'INSERTION DU MODULE DE CALCUL BIOGENIX</a> .....	187
<a href="#">FIGURE 42: LES TROIS ZONES DE MODÉLISATION CONCERNÉES POUR L'APPLICATION:</a> .....	188
<a href="#">FIGURE 43: MAILLAGES EFFECTIFS SUR LESQUELS SONT CALCULÉES LES CONTRIBUTIONS DE COV BIOTIQUES</a> ..	189
<a href="#">FIGURE 44: STRUCTURE DE LISTE CHAÎNÉE</a> .....	197
<a href="#">FIGURE 45: STRUCTURE GLOBALE DE POSTICE</a> .....	202
<a href="#">FIGURE 46: MENU GÉNÉRAL DE POSTICE</a> .....	204
<a href="#">FIGURE 47: EXEMPLE DE MENU DE SAISIE DE PROFIL TEMPOREL JOURNALIER</a> .....	204
<a href="#">FIGURE 48: DÉTAIL DU TRAITEMENT D'AGRÉGATION</a> .....	207
<a href="#">FIGURE 49: ORGANIGRAMME DU TRAITEMENT D'ANALYSE SECTORIELLE ET SPATIALE</a> .....	209
<a href="#">FIGURE 50: CONSTRUCTION DE CLÉ DE RÉPARTITION SPATIALE POUR LE PASSAGE D'UN DÉCOUPAGE SPATIAL À UN AUTRE</a> .....	212
<a href="#">FIGURE 51: ORGANIGRAMME DE LA PARTIE ATTRIBUTION DES ÉMISSIONS</a> .....	215
<a href="#">FIGURE 52: ORGANIGRAMME SIMPLIFIÉ DU TRAITEMENT DE GÉNÉRATION DES CLÉS D'ATTRIBUTION TEMPORELLE DES ÉMISSIONS</a> .....	217

## Liste des tableaux

<a href="#">TABLEAU 1: COMPOSITION PARTIELLE STANDARD DE L'ATMOSPHÈRE (MOLINA ET AL., 1996)</a> .....	22
<a href="#">TABLEAU 2: SOURCES MAJORITAIRES DE GAZ EN TRACES (D'APRÈS COX ET AL., 1981)</a> .....	23
<a href="#">TABLEAU 3: COMPARAISON DES COMPOSITIONS DE L'ATMOSPHÈRE NATURELLE ET POLLUÉE</a> .....	30
<a href="#">TABLEAU 4: EXEMPLES DE SEUILS D'INFORMATION ET D'ALERTE FIXÉS PAR LES TEXTES (DÉCRET DU 6/05/1998 ET ARRÊTÉ DU 17/08/1998)</a> .....	42
<a href="#">TABLEAU 5: EXEMPLES DE NIVEAUX D'OZONE OBSERVÉS PENDANT LA CAMPAGNE DE MESURE DU PROGRAMME ESCOMPTE</a> .....	42
<a href="#">TABLEAU 6: PRINCIPALES BASES DE DONNÉES UTILISÉES POUR LA CONSTRUCTION DES INVENTAIRES POUR LE PROGRAMME ESCOMPTE</a> .....	63
<a href="#">TABLEAU 7 : EXEMPLES DE CARACTÉRISTIQUES DE DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES MÉTÉO FRANCE</a> .....	138
<a href="#">TABLEAU 8 : EXEMPLE DE TABLE DE CORRESPONDANCE DE DÉCOUPAGE GÉOMÉTRIQUE : UNE OCCUPATION DU SOL SUR UN MAILLAGE</a> .....	145
<a href="#">TABLEAU 9: EXEMPLE DE TABLE DE CORRESPONDANCE DE DÉCOUPAGE GÉOMÉTRIQUE : UN ENSEMBLE DE SOURCES SURFACIQUES SUR UN MAILLAGE</a> .....	145
<a href="#">TABLEAU 10: PARAMÈTRES DU MODÈLE DE CANOPÉE (D'APRÈS ENSIACET, 2003)</a> .....	166
<a href="#">TABLEAU 11: COMPOSÉS PRIS EN COMPTE PAR GRANDES CATÉGORIES DE SOURCES</a> .....	167
<a href="#">TABLEAU 12: EXEMPLE DE DONNÉES ALADIN:</a> .....	170
<a href="#">TABLEAU 13: EXTRAIT DE LA TABLE "OCCUPATION DU SOL" ET PARAMÈTRES ASSOCIÉS</a> .....	176
<a href="#">TABLEAU 14: RÉSULTATS DE L'ESTIMATION DES ÉMISSIONS ANNUELLES (EN Gg) POUR LA ZONE ESCOMPTE</a> ..	179
<a href="#">TABLEAU 15: TAILLES DES DIVERS MAILLAGES</a> .....	189
<a href="#">TABLEAU 16: EXEMPLE DE CONSTRUCTION DES CLÉS DE RÉPARTITIONS SPATIALES (VALEURS ARBITRAIRES)</a> ...	212
<a href="#">TABLEAU 17: EXEMPLE DE TABLE DE CLÉS DE RÉPARTITIONS POUR {E, Z} ÉLÉMENTS DE A VERS {Ψ, Φ, Σ} ÉLÉMENTS DU MAILLAGE DE DESTINATION B</a> .....	214





## **Glossaire**

**AASQA:** Association Agréée de Surveillance de la Qualité de l'Air.

**ADEME:** Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie.

**ADO:** ActiveX Data Object.

**ALENA :** Accord de Libre Échange Nord-Américain (Mexique, USA, Canada).

**APPA:** Association pour la Prévention de la Pollution Atmosphérique.

**ATMO:** Fédération ATMO: Fédération des Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air.

**BOND:** Biogenic aerOsols and air quality iN the mEDiterranean area.

**CEREN:** Centre d'Étude et de Recherche sur l'Énergie.

**CETE:** Centre d'Études Techniques de l'Équipement.

**CFP:** Classification des Produits Français.

**CITEPA:** Centre Interprofessionnel Technique d'Études de la Pollution Atmosphérique.

**CNIS :** Conseil National de l'Information Statistique.

**CNR:** Compagnie Nationale du Rhône.

**CORINAIR:** Acronyme pour le programme de développement d'inventaires d'émissions au sein du programme CORINE.

**CORINE:** COoRdination d'INformation Environnementale.

**COV:** Composés Organiques Volatils.

**COVNM:** Composés Organiques Volatils Non Méthaniques.

**CRIGE:** Centre Régional de l'Information Géographique.

**CYPRES:** Centre d'information du public pour la prévention des risques industriels et la protection de l'environnement.

**DAO:** Data Access Object.

**DIREN:** Direction Régionale de l'Environnement.

**DRAF:** Direction Régionale de l'Agriculture et la Forêt.

**DRIRE:** Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement.

**EEA:** European Environment Agency.

**EPA:** Environmental Protection Agency.

**ERD:** Entity Relationship Diagram.

**ESCOMPTE:** Expérience sur Site pour COntreindre les Modèles de Pollution atmosphérique et de Transport d'Émissions.

**GENEMIS:** Generation and Evaluation of Emission Data.

**GNU:** Désigne couramment (par abus de langage) le projet de la "Free Software Foundation" créé suite au manifeste du Dr. Dobb dans son journal de mars 1985. L'objectif du projet GNU est de fournir un substitut libre de droits aux versions commerciales d'UNIX. Il ne faut pas confondre le projet GNU et les produits de type LINUX qui ne sont pas forcément libres de droits. Le projet GNU lui même a été démarré un an et demi plus tôt par Richard Stallman lors du développement de son éditeur gratuit Emacs.

**GPL:** General Public License : c'est la licence appliquée aux logiciels de la "Free Software Foundation", au projet GNU et à tout logiciel si ses auteurs choisissent ce mode de licence. A l'opposé des licences classiques, la licence GPL garantit la liberté de distribution, de modification et la gratuité pour tous les utilisateurs.

**GSP:** Grande Source Ponctuelle.

**ICPE:** Installations Classées pour la Protection de l'Environnement.

**IER:** Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung / Institute of Energy Economics and the Rational Use of Energy.

**IFN:** Inventaire Forestier National.

**IFU / IMK-IFU:** Institut für Meteorologie und Klimaforschung Atmosphärische Umweltforschung.

**IGN :** Institut Géographique National.

**IMPRESAREO:** Improving the spatial resolution of air emission inventories using earth observation data.

**INSEE :** Institut National de la Statistique et des Études Économiques.

**Îlots :** C'est la plus petite surface limitée par des voies (publiques ou privées), des obstacles naturels ou artificiels (rivière, chemin de fer, ...) ou des limites de communes. Il correspond le plus souvent au pâté de maisons.

**IRIS :** Îlots. Regroupés par Indices Socio-économiques: les "IRIS 2000" sont des regroupements homogènes de 2.000 habitants et couvrant toutes les communes d'au moins 5.000 habitants.

**MAIRAN:** Nom donné au système de collecte et de traitement des données d'auto-surveillance.

**NACE** : Nomenclature des Activités économiques dans la Communauté Européenne.

**NAICS** : North American Industrial Classification System.

**NAF**: Nomenclature d'Activité Française.

**NAPFUE**: Nomenclature for Air Pollution of FUEls.

**OBDC**: Open Data Base Connectivity.

**OMS**: Organisation Mondiale de la Santé.

**Open Source**: se dit d'un logiciel dont le code source est public mais cela n'implique pas qu'il soit libre de droits.

**PAR**: Photo-synthetically Active Radiation.

**PRQA**: Plan Régional pour la Qualité de l'Air.

**PPA**: Plans de Protection de l'Atmosphère.

**POO**: Programmation Orientée Objet.

**RAD**: Rapid Application Development.

**RGA**: Recensement Général de l'Agriculture.

**RGE**: Référentiel à Grande Échelle.

**SECTEN**: SECTeurs économiques et ENergie (format de restitution d'inventaire propre au CITEPA).

**SESSI**: SErvice des StatistiqueS Industrielles.

**SGBD**: Système de Gestion de Bases de Données.

**SIG** : Système d'Information Géographique. C'est un outil de restitution d'information sous forme cartographique.

**SIRENE**: répertoire officiel des entreprises géré par l'INSEE dont le nom découle du numéro SIREN qui identifie les entreprises.

**SNAP**: Selected Nomenclature for Air Pollution.

**SQL**: Structured Query Language.

**TGAP**: Taxe Générale sur les Activités Polluantes.

**UML**: Unified Modeling Language.

**VBA**: Visual Basic pour Applications.

**TNO**: Netherlands Organisation for Applied Scientific Research.



## Introduction générale

Si l'histoire de la pollution atmosphérique commence en théorie avec la domestication du feu durant la préhistoire, les premières traces datent de l'Antiquité où les peuples grecs et romains avaient commencé à polluer à grande échelle l'hémisphère nord avec des émissions issues de la métallurgie du cuivre et du plomb. Néanmoins, depuis la révolution industrielle et l'émergence puis la croissance de la société de consommation, la qualité de l'air s'est dégradée de plus en plus, suite à l'usage massif de combustibles fossiles comme source d'énergie dans l'industrie et à partir des années 50 dans le transport routier de biens et de personnes.

Le phénomène le plus visible est probablement le smog photochimique qui est devenu à la fois plus répandu et plus fréquent, touchant la plupart des grandes agglomérations au niveau mondial telles que Los Angeles, Mexico, Athènes, Milan mais également des villes françaises comme Paris, Lyon, Marseille, Grenoble ou Strasbourg. Les atteintes à la santé publique liées aux fortes teneurs en photo-oxydants en zones urbaines et périurbaines ont abouti à la création de la loi sur l'air (loi n°96-1236 du 30 décembre 1996). En application de cette loi, des Plans Régionaux de la Qualité de l'Air (PRQA) et des Plans de Protection de l'Atmosphère (PPA) ont été mis en place. Ces travaux et réflexions sont intégrés dans la réflexion au niveau européen sur la qualité de l'air et le transport transfrontalier de polluants photo oxydants et eutrophisants qui requiert l'évaluation tant par des mesures que des modélisations de la qualité de l'air ambiant.

La qualité de l'air est une combinaison de facteurs météorologiques, géographiques, d'émissions et de transport de polluants. Ces paramètres doivent être correctement évalués pour obtenir des modélisations un tant soit peu réalistes. Si les facteurs météorologiques sont plus ou moins délicats à paramétrer, les grandeurs qui les caractérisent restent accessibles à la mesure, facilitant ainsi

grandement la validation des modèles de transport. La situation est inverse dans le cas de l'évaluation des émissions car elle ne sont que rarement mesurables directement pour réaliser des validations de modèles. En effet, la diversité et la répartition géographique des sources d'émissions rendent ces expériences de validation délicates et par voie de conséquence l'évaluation des s'avère émissions difficile alors que la qualité de cette donnée est primordiale pour la modélisation de la qualité de l'air.

Les sources de polluants sont très diverses, tant anthropiques que biotiques, et leur évaluation dépend de facteurs aussi variés que les conditions météorologiques (émissions biotiques, évaporations de produits pétroliers, ...), la densité de population, le trafic des axes routiers, le type d'équipement de chauffage dans les logements etc. Une grande partie de ces données ne sont pas accessibles directement et la réalisation d'un inventaire d'émissions fait appel à de nombreux traitements de données statistiques visant au calcul et à l'attribution spatiale les plus réalistes possibles des émissions.

La modélisation étant devenue un outil nécessaire pour la gestion de la qualité de l'air, les associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (ASQA), le besoin d'inventaires s'est développée car ces inventaires spatialisés, ou cadastres, des émissions sont indispensables au niveau régional pour de telles modélisations. Ces inventaires doivent être de surcroît réalisés à haute résolution, le calcul des émissions et leur spatialisation s'opérant à des échelles de l'ordre du km (à l'opposé des PRQA du CITEPA qui utilisaient des échelles de l'ordre de l'arrondissement voire de la commune).

C'est dans ce contexte de forte demande de solution opérationnelle que le sujet de cette étude a pris racine : la mise en place d'outils et de conditions favorables à la réalisation d'inventaires régionaux à haute résolution en conservant des méthodes et résultats qui sont transférables à d'autres zones d'étude, dans le double objectif de diminuer le coût de réalisation de ces études et de favoriser les échanges entre les diverses régions et ASQA. L'autre motivation du sujet de cette étude était inscrit dans le programme ESCOMPTE (Expérience sur Site pour COntreindre les Modèles de Pollution atmosphérique et de Transport d'Emissions). L'objectif du programme ESCOMPTE était d'établir une base de données de qualité de l'air (émissions et mesures de concentration) dotée d'une haute résolution spatiale et temporelle sur la

région de Marseille pour une zone d'étude, centrée sur Marseille – Aix en Provence - Etang de Berre, qui a été choisie pour ses caractéristiques particulières (dynamique complexe, importance et diversité des sources d'émissions atmosphériques, conditions météorologiques favorables pour la photochimie,...) qui en font une région tout à fait intéressante du point de vue de la climatologie et des phénomènes de pollution photochimique. La finalité de cette base de données est l'évaluation de modèles à méso-échelle de chimie-transport dans la troposphère afin de comparer leur aptitude à décrire l'environnement atmosphérique de cette région.

La conjonction entre le choix de la zone Marseille – Aix en Provence – étang de Berre pour le programme ESCOMPTE, les besoins des ASQA locales (AIRMARAIX et AIRFOBEP faisant partie du groupement Air Alpes Méditerranée, AAM) et la volonté de l'ADEME de favoriser le développement de méthodologies et d'outils adaptés aux ASQA ont aboutit à une synergie ADEME – AAM – ESCOMPTE qui a permis le financement et la réalisation de cette thèse.

La majeure partie des études menées précédemment, au niveau européen ou national, étaient principalement axées sur la réalisation d'inventaires nationaux et en général peu adaptées ou difficilement transposables dans le cadre d'études à l'échelle régionale nécessitant une résolution bien plus élevée. La réalisation des cadastres pour le programme ESCOMPTE offrait une opportunité d'étude et de test sans précédent, tant au point de vue méthodologique qu'applicatif. Les travaux de cette thèse se sont déroulés en deux temps, d'abord dans le cadre du programme ESCOMPTE puis lors du transfert méthodologique et opérationnel des résultats et outils en région PACA (chez AIRMARAIX pour la mission modélisation de AAM). La première partie a été consacrée en majorité aux aspects théoriques qui conditionnent les structures de données représentant les divers types de sources modélisées dans un inventaire ainsi que les données nécessaires à ces modélisations. La deuxième partie du travail a été axée davantage sur la mise en œuvre d'outils, que ce soit dans le cadre d'ESCOMPTE (outil de calcul d'inventaires biotiques BIOGENIX) ou dans le cas du transfert et de l'extension à la région PACA (outil de retraitement d'inventaire POSTICE).

Un premier chapitre consacré à une brève description des processus physico-chimiques ayant lieu dans la troposphère et de la problématique de la qualité de l'air précédera un chapitre d'introduction sur les généralités nécessaires à la



compréhension de la problématique de réalisation des cadastres d'émissions. Le troisième chapitre présentera les points méthodologiques et les résultats des cadastres du programme ESCOMPTE. Le quatrième chapitre abordera les aspects théoriques décrivant les structures de données et logiciels recommandés pour la réalisation d'inventaires présentant une bonne transférabilité et minimisant les coûts de réalisation ; les applications de ces notions théoriques étant présentées dans les deux derniers chapitres qui concernent l'outil de calcul d'inventaires biotiques BIOGENIX et l'outil de gestion d'inventaires POSTICE.

## **Chapitre 1: Chimie troposphérique et problématique générale de qualité de l'air**

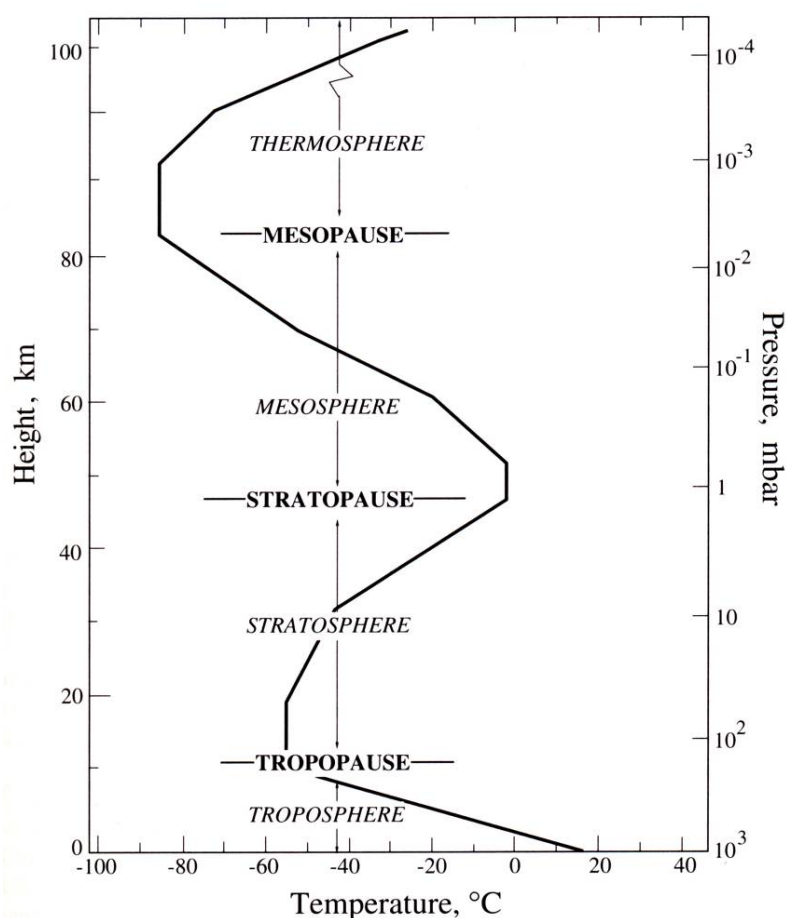
La qualité de l'air est caractérisée par la composition chimique des basses couches de l'atmosphère en interaction directe avec la biosphère et les populations. Ce chapitre présente une vue succincte et générale sur la composition de l'atmosphère, les polluants les plus courants et les divers aspects liés à cette problématique et utiles à la mise en situation de notre étude.



## ***1.1 L'atmosphère : composition et chimie***

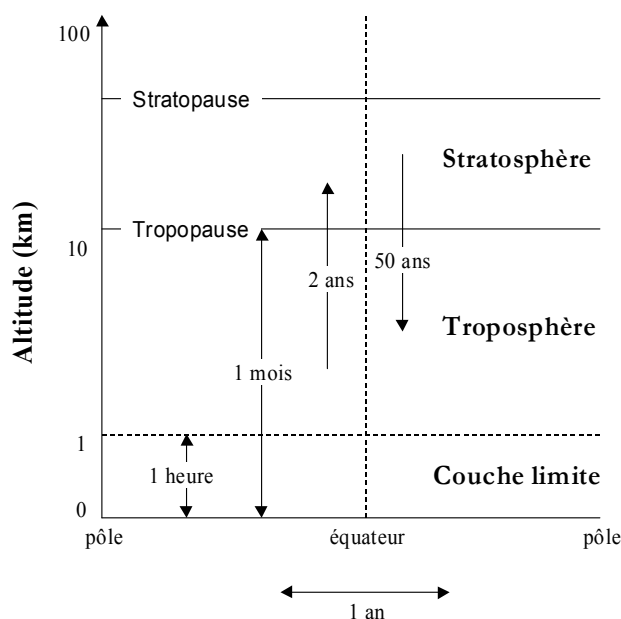
### **1.1.1 L'atmosphère**

L'atmosphère est l'ensemble de l'enveloppe gazeuse entourant la surface terrestre. Elle se décompose en plusieurs couches qui sont la troposphère, la stratosphère, la mésosphère et la thermosphère (voir figure 1). La quasi-totalité de masse atmosphérique (90 %) est concentrée dans la partie basse de l'atmosphère (inférieure à 16 km) (Triplet et Roche, 1986). La troposphère varie fortement en épaisseur de 7 kilomètres au niveau des pôles jusqu'à 18 km au niveau de l'équateur et est de l'ordre de 13 km à notre latitude. Cette partie de l'atmosphère est nommée la troposphère et contient entre autres la biosphère. A l'intérieur de la troposphère, on peut effectuer une distinction entre deux sous-couches qui sont la couche limite et la troposphère libre. La couche limite a une épaisseur de l'ordre de 1 km et est définie par l'influence directe qu'exerce la surface du sol, en particulier au niveau des échanges thermiques et des vents.



**Figure 1: structure verticale de l'atmosphère (Seinfeld ,1997)**

La circulation des masses d'air est une combinaison complexe de mouvements globaux conditionnés par les différences de pressions (systèmes de hautes et basses pressions) et les paramètres physiques tels que température et humidité de l'air. Les échelles de temps caractéristiques des déplacements verticaux des masses d'air entre les diverses couches de l'atmosphère ne sont pas du même ordre de grandeur (voir figure 2). Les transports de composés chimiques entre le sol et la couche limite ont un temps caractéristique de l'ordre de l'heure alors que les transferts jusqu'au sommet de la troposphère ont un temps caractéristique plutôt de l'ordre du mois. Les temps caractéristiques des transports entre troposphère et stratosphère atteignent eux plusieurs années dans le sens ascendant à plusieurs dizaines d'années dans le sens inverse. La différence entre ces échelles de temps permet de limiter la problématique de l'étude de la qualité de l'air au niveau régional principalement à la troposphère pour deux raisons. Premièrement les aspects dynamiques font que les mélanges et transports, aux échelles régionales ou nationales, ne concernent que la troposphère, les couches supérieures de l'atmosphère n'ayant pas d'influence pour des phénomènes dont la durée n'excède pas en général l'ordre de grandeur de la semaine. D'autre part, la durée de vie des composés impliqués dans la photochimie troposphérique (de l'heure à quelques jours pour la majorité des composés) rend leur échange avec les autres couches négligeables dans le cadre de la problématique de qualité de l'air qui nous concerne.



**Figure 2: Temps moyens de transport pour les échanges entre les couches  
(Rhode et al., 1992)**

La température est le paramètre dont la variabilité est la plus élevée en fonction des conditions locales telles que l'orographie et l'occupation du sol. La température joue donc un rôle déterminant au niveau local dans le conditionnement des mouvements horizontaux et verticaux des masses d'air et par conséquent dans la dispersion des polluants.

## **I.1.2 Physico chimie troposphérique**

La couche limite atmosphérique (CLA) est la partie de l'atmosphère qui contient la biosphère (de 0 à 8 km aux pôles et 0 à 18 km à l'équateur) et est en interaction directe avec elle. Les composés chimiques contenus dans cette partie de l'atmosphère sont par conséquent également en interaction directe ou indirecte avec ses constituants (minéraux, végétaux ou animaux). La chimie troposphérique décrit les interactions des composés présents dans l'atmosphère, qui résultent principalement des émissions provenant de la surface.

### **I.1.2.1 Composition chimique de l'atmosphère**

Le terme « air pur » est fréquemment utilisé pour décrire un air « naturel » exempt de tout polluant, qui ne serait constitué exclusivement que d'azote (N<sub>2</sub>) et d'oxygène (O<sub>2</sub>). Cet air pur n'existe pas et n'a jamais existé naturellement car la composition réelle de l'atmosphère résulte de processus physiques (combustion, évaporation, condensation, dégazage des roches, etc.), biologiques (fermentation, etc.) et chimiques complexes qui existent depuis la formation de la terre.

A la fin du XVIII<sup>ème</sup> siècle, Antoine-Laurent de Lavoisier donne la première composition de l'air selon ces termes : *« l'air de l'atmosphère n'est pas un élément, c'est-à-dire un corps simple, mais un mélange de plusieurs gaz. L'air de l'atmosphère est composé d'un quart environ d'air déphlogistiqué ou air éminemment respirable [l'oxygène] et de trois quart d'un air méphitique et nuisible [l'azote]. »*

Avec l'évolution des techniques analytiques, la composition de l'air a été affinée et des constituants furent ajoutés au cours du temps. Les trois constituants principaux de l'atmosphère (azote, oxygène, argon) représentent plus de 99.9% du volume de l'atmosphère (voir tableau 1). La fraction minimale résiduelle se compose principalement d'eau, de dioxyde de carbone, d'ozone et de gaz rares. On notera

que dans cette fraction, les pourcentages du dioxyde de carbone et des gaz rares sont assez constants alors que les concentrations de l'eau et de l'ozone varient avec de fortes amplitudes. On trouve ensuite à l'état de traces, l'hydrogène, l'oxyde nitreux, le monoxyde de carbone ainsi qu'une multitude d'espèces gazeuses provenant soit directement d'émissions naturelles ou anthropiques soit résultant de réactions chimiques atmosphériques.

Gaz	% en volume
Azote	78
Oxygène	21
Argon	0,93
Eau	0,1 – 0,005
Dioxyde de carbone	$365.10^{-4}$
Néon	$19.10^{-4}$
Ozone	$0,01-10.10^{-4}$
Hélium	$5,2.10^{-4}$
Méthane	$1,7.10^{-4}$
Krypton	$1,1.10^{-4}$
Xénon	$900.10^{-7}$
Hydrogène	$500.10^{-7}$
Oxyde nitreux	$320.10^{-7}$
Oxyde de carbone	$200-300.10^{-7}$

**Tableau 1: Composition partielle standard de l'atmosphère (Molina et al., 1996).**

Ces composés à l'état de traces sont néanmoins capables d'influencer fortement les équilibres chimiques et photochimiques de l'atmosphère. La présence (mesurable) et la concentration de ces composés dépendent de la combinaison des conditions climatiques (conditions synoptiques et rayonnement solaire) et de la situation géographique (émissions) (Crutzen *et al.*, 1998). Les sources les plus importantes d'émissions de ces composés dits « primaires » sont présentées dans le tableau 2). On parle ici de composés primaires par opposition aux composés secondaires qui sont le résultat de la transformation physicochimique des composés dits primaires.

Composés émis	Sources biogènes	Sources anthropiques
Monoxyde de carbone (CO)	Oxydation du méthane, océans, feux de forêt	Combustion incomplète du bois, du charbon, du gaz
Dioxyde de carbone (CO <sub>2</sub> )	Oxydation du carbone, feux de forêt, respiration des plantes	Combustion du charbon, du bois, du gaz
Méthane (CH <sub>4</sub> )	Océans, fermentation de matière organique	Fermentation entérique des ruminants, fuite de gaz naturel
Hydrocarbures aromatiques		Trafic routier, solvants
Oléfines et paraffines	Sources biologiques anaérobies, plantes, feuillus, conifères	Trafic routier, solvants, évaporation des carburants
Monoxyde d'azote (NO)	Feux de forêt, processus anaérobies dans les sols, éclairs	Combustion de charbon, de gaz, de fioul et d'essence
Dioxyde d'azote (NO <sub>2</sub> )	Feux de forêt, éclairs	Combustion de charbon, de gaz, de mazout et d'essence, transformation du NO
Ammoniac (NH <sub>3</sub> )	Décomposition organique, processus anaérobies des sols	Combustion du pétrole et du charbon, traitement des déchets
Nitrate de peroxyacétyle (PAN)	Dégradation de l'isoprène	Dégradation d'hydrocarbures
Sulfure d'hydrogène (H <sub>2</sub> S)	Fermentation anaérobie, volcans	Raffinage, papeterie
Dioxyde de soufre (SO <sub>2</sub> )	Oxydation de H <sub>2</sub> S, volcans	Combustion de tout combustible contenant du soufre (fioul, charbon, etc.)
Sulfure de diméthyle (DMS)	Océans	Pâte à papier, fumier
Acide chlorhydrique (HCl)	Volcans	Combustion du charbon
Chlorofluorocarbones (CFC)		Gaz propulseur, réfrigérant, solvant

**Tableau 2: Sources majoritaires de gaz en traces (d'après Cox et al., 1981).**

### **I.1.2.2 Chimie troposphérique**

La chimie troposphérique est le domaine d'étude des processus qui régissent l'équilibre dynamique des concentrations atmosphériques des composés constituant la troposphère.



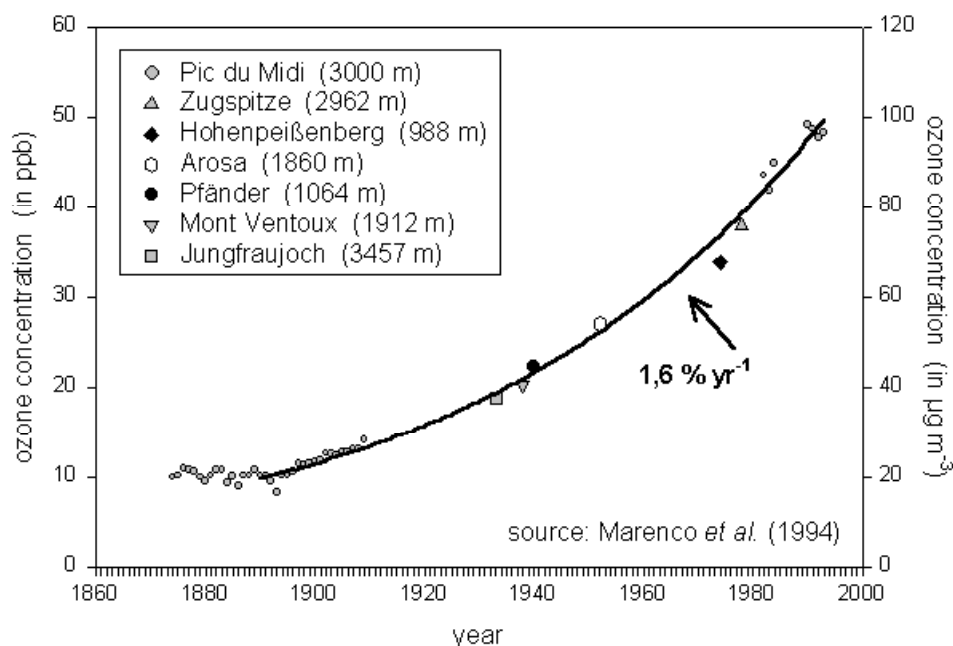
Certains composés proviennent de sources naturelles telles que les massifs forestiers (sources biotiques), d'autres sont dus majoritairement aux activités humaines (sources anthropiques) comme la plus grande partie des oxydes d'azote ( $\text{NO}_x$ ) et certains composés organiques volatils (COV).

### **I.1.2.3 Ozone troposphérique**

L'ozone est l'une des espèces les plus étudiées du fait des concentrations croissantes observées et des effets nocifs, dus à son caractère oxydant, qui touchent aussi bien les populations que la végétation. Les effets à court terme de l'ozone sur la population sont principalement une réduction de la fonction respiratoire accompagnée d'une inflammation au niveau des bronches et d'une augmentation statistique de l'asthme pour des concentrations comprises entre 0.15 et 1 ppm. Il cause également des irritations des yeux et de la gorge dès 0.1 ppm (Kuentz Burchi, 1996). Les atteintes sur les végétaux se caractérisent en général par une perturbation des mécanismes de photosynthèse qui ralentit la croissance des plantes ou diminue le rendement des cultures : dommages sur les parties foliaires, sénescence précoce, etc.

L'augmentation de la concentration en ozone est souvent considérée comme un des signaux d'alerte concernant la dégradation de la qualité de l'air en milieu urbain, notamment à cause des fortes concentrations observées au cours d'épisodes de pollution photochimique. Il faut rester conscient que l'ozone est accompagné dans ce cas de ses précurseurs comme les oxydes d'azote ( $\text{NO}_x$ ) et les composés organiques volatils (COV) et que la toxicité est plus l'effet d'une synergie occasionnée par le mélange de ces composés.

L'intérêt porté à l'ozone troposphérique reste toutefois parfaitement fondé et l'on peut noter une sensible augmentation de sa concentration dans la troposphère avec l'usage quasi généralisé et toujours croissant des combustibles fossiles et l'expansion de l'industrialisation (voir figure 3).



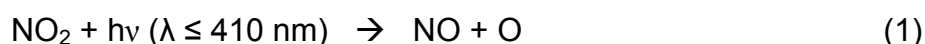
**Figure 3: Concentration en ozone troposphérique en haute altitude en Europe au cours du siècle dernier (Marengo et al (1994))**

Pour considérer la formation de l'ozone, nous devons considérer d'abord le cycle de formation de l'ozone en atmosphère "propre" (ou naturelle) avant de considérer la perturbation introduite par les polluants dans le cas d'une atmosphère polluée.

### ***1.1.2.3.1 Cycle de l'ozone en atmosphère propre***

#### **Production de l'ozone :**

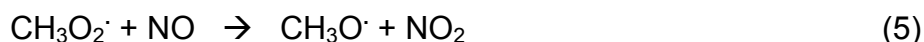
En atmosphère (propre, ou non) la production d'ozone résulte de la combinaison d'un radical d'oxygène ( $O\cdot$ ) avec une molécule d'oxygène ( $O_2$ ) (équation 2) en présence d'un troisième composé M ( $O_2$  ou  $N_2$ ). Le radical oxygène est produit par la photodissociation du dioxyde d'azote, qui produit également une molécule de NO (équation 1). La molécule de NO formée peut se recombiner avec la molécule d'ozone pour reformer  $NO_2$  (équation 3) et l'on obtient donc le mécanisme équilibré suivant :



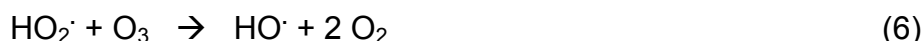
Dans ce mécanisme, il n'y a de production nette d'ozone que si la présence d'autres composés permet l'oxydation de NO en  $NO_2$  suivant une réaction différente

de l'équation 3. Dans ce cas, le cycle sera perturbé et l'équilibre déplacé dans le sens favorisant la production d'ozone.

Dans le cas d'une atmosphère non polluée, l'action des radicaux hydroperoxy  $\text{HO}_2\cdot$  et méthylperoxy  $\text{CH}_3\text{O}_2\cdot$  peut perturber la reformation de  $\text{NO}_2$  suivant les réactions suivantes :



Ces réactions sont dominantes si leurs vitesses réactionnelles sont supérieures à celles des réactions suivantes :



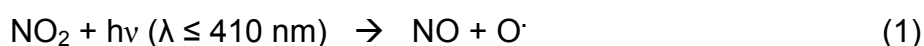
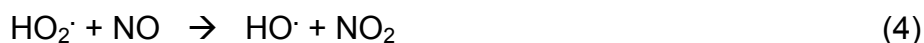
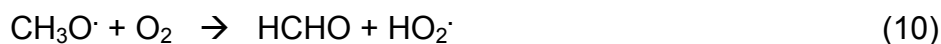
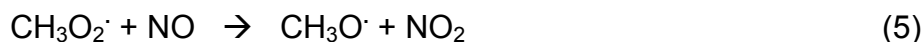
Cependant lorsque le rapport des concentrations de NO et d'ozone est supérieur à  $2 \cdot 10^{-4}$  (Académie des Sciences, 1993), les réactions 6 et 7 deviennent cinétiquement minoritaires. Ce cas correspond à des zones de l'atmosphère moyennement riches en  $\text{NO}_x$  (concentrations supérieures à 10-20 pptv). Ces zones sont localisées aux latitudes moyennes de l'hémisphère Nord et au voisinage des tropiques pendant la saison sèche, où se situe la plus grande partie des sources d'émission de NO.

Le méthane  $\text{CH}_4$  et le monoxyde de carbone CO peuvent également être oxydés à la place de NO.

Dans le cas de  $\text{CH}_4$ , le mécanisme est le suivant :

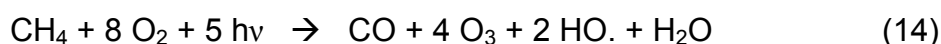


Cette attaque initiale radicalaire et la réaction 11 produisant le radical  $\text{HCO}\cdot$  contrôlent cinétiquement la vitesse de réaction globale de l'équation 14 qui est la principale voie de formation du monoxyde de carbone en atmosphère propre :

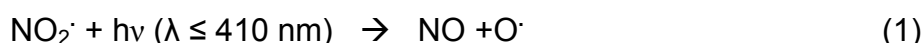




soit le bilan global



Dans le cas du CO, c'est aussi l'attaque radicalaire qui contrôlera la cinétique de formation du dioxyde de carbone :

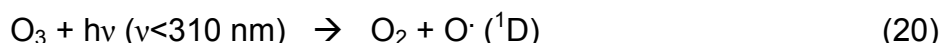
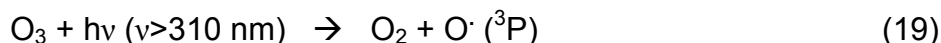


soit le bilan global



### Destruction de l'ozone :

L'absorption de rayonnement solaire par une molécule d'ozone peut causer sa dissociation en un atome et une molécule d'oxygène. Suivant la longueur d'onde du rayonnement absorbé, l'atome produit sera soit à l'état fondamental  $O(^3P)$  (équation 19), soit à l'état excité  $O(^1D)$  (équation 20),



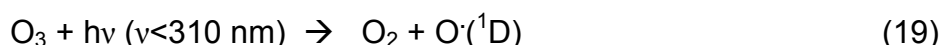
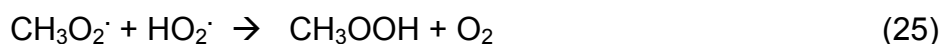
L'atome d'oxygène à l'état fondamental se recombine immédiatement avec de l'oxygène pour former de l'ozone alors que l'atome à l'état excité libère des radicaux  $HO\cdot$  qui peuvent attaquer CO,  $CH_4$  et les hydrocarbures contenus dans l'atmosphère naturelle.

Si l'on est dans le cas d'une atmosphère modérément riche en  $NO_x$ , les mécanismes d'oxydation de CO et de  $CH_4$  participeront à la production de l'ozone. A l'inverse, dans le cas d'une atmosphère pauvre en  $NO_x$ , on observe l'effet inverse (Graedel et al., 1993). Les réactions 4 et 5 deviennent cinétiquement désavantagées et l'on obtient une destruction de l'ozone par CO et  $CH_4$  selon le mécanisme suivant :





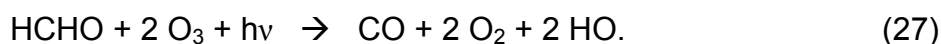
soit le bilan:



soit le bilan:



L'hydroperoxyde de méthyle  $CH_3OOH$  formé peut produire du formaldéhyde par réaction avec le radical  $HO\cdot$  ou par photolyse. Le formaldéhyde intervient à son tour dans la destruction de l'ozone selon les réactions 27 ou 28:



### ***1.1.2.3.2 Cycle de l'ozone en atmosphère polluée***

L'atmosphère polluée contient une grande variété de composés chimiques issus des activités anthropiques et est caractérisée par des teneurs importantes en oxydes d'azote et composés organiques volatils. Ces derniers vont perturber le cycle de l'ozone en oxydant le NO par d'autres voies que celle de l'équation 3.

Le radical  $HO\cdot$  peut réagir avec les COV et produire des  $HO_2\cdot$  et des radicaux peroxy  $RO_2\cdot$  qui peuvent fournir une autre voie d'oxydation de NO en  $NO_2$ . La première étape de l'oxydation des COV conduit à la création de radicaux organiques. C'est un processus cinétiquement limitant qui dépend des concentrations en  $HO\cdot$ :



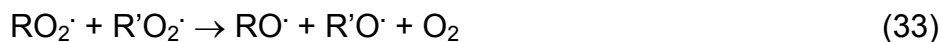
Le radical  $R\cdot$  s'oxyde pour produire des radicaux peroxy qui peuvent ensuite être réduits par NO pour former du  $NO_2$ . :



Le NO<sub>2</sub> ainsi formé s'insère à nouveau dans le cycle de l'ozone (équation 1 et 2) et l'on obtient le bilan suivant :



Les RO<sub>2</sub><sup>·</sup> peuvent également réagir avec du HO<sub>2</sub><sup>·</sup> selon l'équation 34, de l'oxygène selon l'équation 35 ou entre eux pour former du RO<sup>·</sup> selon l'équation 33 :



Les RO<sup>·</sup> formés par la réaction 33 réagissent alors avec de l'oxygène moléculaire et produisent des radicaux hydroxy. L'oxydation du NO se fait par le radical HO<sub>2</sub><sup>·</sup>, ce dernier étant l'agent oxydant :



En conclusion, en atmosphère polluée les COV peuvent ainsi, par deux voies différentes (équation 31 et 4), contribuer à l'oxydation du NO en NO<sub>2</sub> sans utiliser l'ozone présent dans l'atmosphère.

Néanmoins, quand les taux de NO<sub>x</sub> sont très importants, ceux-ci s'avèrent être des inhibiteurs dans la production d'ozone. En effet, dans ce cas les réactions d'oxydation des composés carbonylés se clôturent (réaction de terminaison) préférentiellement par l'équation :



### I.1.3 Pollution atmosphérique

Comme l'illustre le tableau 3, la composition de l'atmosphère polluée peut être très variable et différente de celle considérée comme étant naturelle. Dans tous les cas, nous parlons ici de gaz qui restent toujours à l'état de traces mais dont l'effet sur les mécanismes photochimiques est non négligeable.

L'atmosphère étant un système dynamique en perpétuelle interaction avec la biosphère, sa composition naturelle peut fortement varier localement en ce qui concerne des composés tels que les oxydes de soufre et d'azote. Ces variations sont néanmoins faibles (sauf cas très particuliers) en regard des concentrations générées par les activités anthropiques qui peuvent être multipliées par 4 ordres de grandeur dans le cas du monoxyde d'azote ou simplement qui peuvent introduire des composés qui ne sont pas présents dans la composition naturelle.

Polluants	Atmosphère naturelle (ppb)	Atmosphère polluée (ppb)
Dioxyde de soufre	1 – 10	20 – 200
Monoxyde de carbone	120	1000 – 10000
Monoxyde d'azote	0,01 – 0,05	50 – 750
Dioxyde d'azote	0,1 – 0,5	50 – 250
Ozone	20 – 80	100 – 500
Acide nitrique	0,02 – 0,3	3 – 50
Ammoniac	1	10 – 25
Formaldéhyde	0,4	20 – 50
Acide formique		1 – 10
Acide nitreux	0,001	1 – 8
PAN		5 – 35
NMHC		500 - 1200

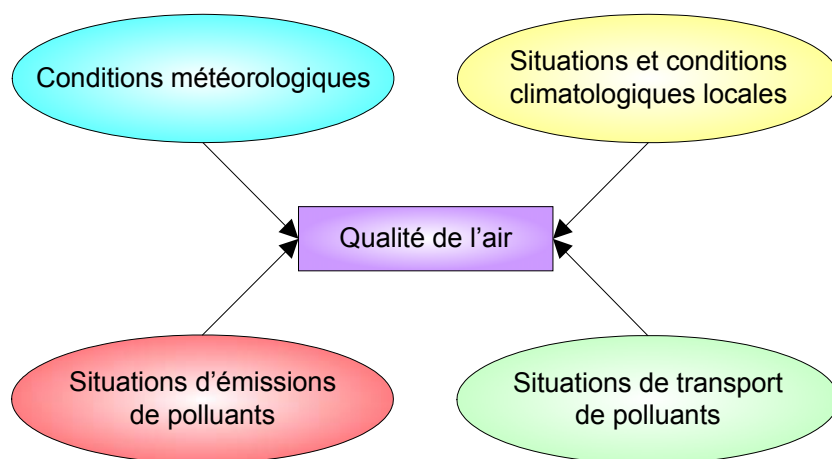
**Tableau 3: Comparaison des compositions de l'atmosphère naturelle et polluée**

D'autre part, il faut aussi considérer que les émissions anthropiques sont par définition dues aux activités humaines et sont souvent proportionnelles à la densité de population (ex : émissions du trafic routier), créant donc souvent les situations de pollutions dans les zones où les taux d'exposition des populations sont les plus élevés.

## ***1.2 Qualité de l'air***

La qualité de l'air est souvent associée à la qualité de vie. La pollution atmosphérique a un impact sur les activités humaines et représente un coût tant humain qu'économique. La surveillance des concentrations en polluants dans l'atmosphère, plus particulièrement dans les zones à forte exposition de la population, est importante et permet à la fois d'informer les citoyens sur la situation et de prendre les dispositions ou réglementations appropriées pour limiter, si possible, ces concentrations. On pourra se référer à l'annexe 1 où est présentée, par exemple, l'évolution des émissions en France métropolitaine de l'inventaire CORALIE du CITEPA (CITEPA, 2003).

La qualité de l'air est une combinaison complexe de paramètres et processus souvent couplés (voir figure 4), ce qui rend son étude des plus difficiles. Il est bien sûr nécessaire de connaître le mieux possible les conditions climatologiques et météorologiques locales sur la zone considérée mais la bonne connaissance des émissions de polluants est indispensable. Il est donc nécessaire de disposer d'une description aussi précise que possible des émissions tant anthropiques que biogènes, que ce soit dans leurs composantes spatiotemporelles que dans leur nature chimique.



**Figure 4: Paramètres qui conditionnent la qualité de l'air d'une zone géographique (Ponche, 2003)**

Une fois ces facteurs correctement décrits, la modélisation de la qualité de l'air devient un outil d'investigation aussi bien descriptif pour des situations de pollution déjà rencontrées que prospectif, par exemple pour évaluer l'impact de nouvelles mesures de réduction des émissions.

## **I.2.1 Généralités sur les principaux polluants**

### **I.2.1.1 Le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>)**

#### Origine :

Le dioxyde de soufre provient de la combustion de combustibles fossiles contenant du soufre : fioul, charbon. C'est un gaz incolore et très soluble dans l'eau.

Avec la production d'énergie nucléaire et la disparition de la majorité des centrales thermiques ainsi que l'application des systèmes de dépollution sur les cheminées dans les industries, les concentrations ambiantes ont diminuée de plus de 50% en



France par rapport à leur niveau du début des années 80. La réglementation sur la teneur en soufre dans les fuels domestiques et le gasoil a été également fortement renforcée en 1997 en passant de 0.2 g/l à 0.05 g/l maximum, ce qui a permis d'abaisser encore davantage les concentrations observées dans l'atmosphère.

En 2002, les émissions anthropiques métropolitaines de SO<sub>2</sub> sont évaluées à 610 Gg et proviennent (CITEPA, 2003):

- Pour 46 % des procédés de transformation de l'énergie
- Pour 32 % de l'industrie manufacturière
- Pour 13 % des chauffage et production d'eau chaude pour les secteurs résidentiel et tertiaire

Les émissions biotiques de SO<sub>2</sub> en France métropolitaines sont négligeables car les principales sources restent marginales (par exemple, le volcanisme actif).

#### Effets sur la santé humaine :

Le SO<sub>2</sub>, lorsqu'il est inhalé à une concentration de quelques centaines de microgrammes par mètre cube d'air, est absorbé à 85-99% par les muqueuses du nez et du tractus respiratoire supérieur (Société Française de Santé Publique, 1996). Du fait de sa grande solubilité, seule une faible fraction atteint les voies inférieures, en général en s'adsorbant à la surface de particules fines. Si l'exposition dépasse les 1000 µg/m<sup>3</sup> pendant plusieurs minutes, les effets directs sont :

- Une diminution de la fonction respiratoire
- Un accroissement de la résistance des voies aériennes
- Un accroissement de la broncho-constriction
- L'apparition de symptômes tels que toux et sifflement

#### Effets sur les matériaux :

En s'hydratant le SO<sub>2</sub> forme de l'acide sulfurique et contribue à la dégradation des matériaux (APPA, 1998). L'acide réagit avec le calcium contenu dans les matériaux et forme des cristaux de gypse (CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O) qui participent tant à la dégradation chimique que mécanique : le gypse cristallise à l'intérieur des pores des matériaux et exerce une pression importante qui fait éclater la pierre. Il cimente également les particules et contribue à la formation des croûtes noires.

### Effet sur la végétation :

Avec les oxydes d'azote, il contribue à la formation des pluies acides (APPA, 1998). En plus de l'effet direct sur les végétaux, ces pluies peuvent modifier les caractéristiques des sols, notamment pour les sols à faible pouvoir tampon (schistes acides, grès, granit). L'acidité apportée par les pluies acides peut déséquilibrer les sols et occasionner la remise en solution de métaux lourds piégés dans ces sols. On peut également observer la formation de particules sulfatées nocives lors de l'oxydation de  $\text{SO}_2$  en  $\text{SO}_4^{2-}$  par voie humide et sèche.

### **1.2.1.2 Les oxydes d'azote**

Les oxydes d'azote comprennent le monoxyde d'azote (NO), le dioxyde d'azote ( $\text{NO}_2$ ), le protoxyde d'azote ( $\text{N}_2\text{O}$ ), le tétraoxyde de diazote ( $\text{N}_2\text{O}_4$ ) et le trioxyde d'azote ( $\text{N}_2\text{O}_3$ ). De manière usuelle, on regroupe NO et  $\text{NO}_2$  sous le terme  $\text{NO}_x$ , en comptant le NO en équivalent  $\text{NO}_2$ .

### Formation et physico-chimie :

La formation de NO provient de l'oxydation de l'azote atmosphérique avec l'oxygène à haute température (2800 K). Cette réaction peut se dérouler en particulier dans les moteurs à combustion (véhicules). Elle dépend fortement de la température et la quantité de NO augmente avec elle. Cette dépendance explique que les émissions de NO des véhicules augmentent avec la vitesse (c-à-d le régime du moteur).

Le monoxyde d'azote est ensuite oxydé en  $\text{NO}_2$  par les agents oxydants de l'air (ozone, radicaux hydroperoxydes). Cette réaction peut être rapide (quelques dizaines de secondes à la minute, en fonction des conditions du milieu). La rapidité de cette réaction fait souvent considérer  $\text{NO}_2$  comme un polluant primaire alors qu'en fait NO est le polluant produit dans la majeure partie des phénomènes de combustion.

Le rapport  $\text{NO}/\text{NO}_2$  nous renseigne sur la notion de proximité ou de fond d'un site.

On considère que si ce rapport est inférieur à 1, il s'agit d'un site de fond et que s'il est supérieur à 1 ou 1.5 (suivant la littérature), il est considéré comme un site de proximité ou d'observation. Plus l'on s'éloigne de la source et plus la forme oxydée ( $\text{NO}_2$ ) est majoritaire par rapport au NO, et traduit une situation de fond.

En 2002, l'estimation des émissions anthropogéniques d'oxydes d'azote en France s'élevait à 1424 kilotonnes (CITEPA, 2003).

Les émissions de NO<sub>x</sub> proviennent principalement :

- Pour 49 % des transports routiers
- Pour 15 % de l'agriculture et sylviculture
- Pour 13 % de l'industrie manufacturière
- Pour 10 % des procédés de transformation de l'énergie.

#### Effets sur la santé humaine :

Pénétration de NO<sub>2</sub> dans les voies aériennes :

Le dioxyde d'azote est plus soluble dans l'eau que l'ozone et moins que SO<sub>2</sub>, il pénètre moins profondément dans les voies aériennes que l'ozone et sa toxicité affecte davantage les petites voies aériennes (bronchioles membraneuses et respiratoires) que les alvéoles (Société Française de Santé Publique, 1996). Néanmoins le mode de respiration intervient dans cette pénétration des NO<sub>x</sub>, la respiration nasale entraînant une absorption plus importante du gaz dans les voies aériennes supérieures alors que la respiration buccale permet une pénétration plus profonde du gaz.

Mécanisme de la toxicité du NO<sub>2</sub> :

Le NO<sub>2</sub> agit à la fois par la formation d'acide nitrique et nitreux, mais également et surtout par ses propriétés oxydantes. Il entraîne la peroxydation des lipides des membranes cellulaires et induit la libération de radicaux libres très puissants.

La fixation de NO sur le fer de l'hème (partie contenant le fer dans l'hémoglobine) a été proposée comme bio-marqueur de l'exposition de NO<sub>2</sub>.

Effets sur la fonction respiratoire chez l'homme :

La réponse individuelle de sujets sains est très variable d'une étude à l'autre. Ainsi deux études ont rapporté une augmentation significative des résistances bronchiques après inhalation de concentration de NO<sub>2</sub> allant de 1880 µg/m<sup>3</sup> à 9400 µg/m<sup>3</sup>. Par contre d'autres expérimentateurs n'ont pas constaté d'effet du NO<sub>2</sub> sur la fonction pulmonaire, même à des concentrations élevées (7520 µg/m<sup>3</sup>).

Les informations obtenues à partir des études humaines contrôlées indiquent une relative résistance de l'appareil respiratoire au NO<sub>2</sub> seul, pour des concentrations faibles.

Globalement, les études écologiques temporelles mettent en évidence des liens entre l'augmentation des niveaux de NO<sub>2</sub> et les admissions hospitalières pour exacerbation de problèmes respiratoires chroniques, dont l'asthme et la BPCO (broncho-pneumopathies chronique obstructive), mais la quantification des effets propres à NO<sub>2</sub> est difficile du fait principalement de la présence dans l'air d'autres polluants avec lesquels NO<sub>2</sub> est corrélé.

#### Effet sur la végétation :

Les effets négatifs des oxydes d'azote sur les végétaux sont la réduction de la croissance, de la production et de la résistance aux pesticides. Ces généralités doivent cependant être pondérées, car les oxydes d'azote pour des teneurs modérées peuvent favoriser la présence d'espèces nitrophiles (APPA, 1998).

#### **I.2.1.3 Le monoxyde de carbone**

##### Origine :

CO provient de la combustion du carbone en présence d'une quantité d'oxygène insuffisante pour que la combustion soit complète. C'est un gaz incolore, inodore et sans saveur, donc difficilement décelable. Il a une densité de 0,97 et forme avec l'air un mélange explosif et très toxique.

En 2002, l'estimation des émissions anthropiques de monoxyde de carbone en France s'élève à 6414 Gg (CITEPA, 2003).

Les émissions de CO proviennent principalement :

- Pour 36 % des transports routiers
- Pour 28 % des secteurs résidentiels et tertiaires (chauffage et eau chaude sanitaire)
- Pour 24 % de l'industrie manufacturière
- Pour 10 % de l'agriculture et sylviculture

Les émissions du secteur "transports routiers" ont beaucoup baissé (de près de 75 %) depuis la généralisation du pot catalytique et la systématisation des systèmes d'injection électronique qui permettent d'optimiser la combustion dans les moteurs, mais cette baisse est maintenant quasiment contrebalancée par l'augmentation du parc automobile et par la généralisation des encombrements routiers et urbains.

Dans le cas des centrales thermiques, le remplacement de combustibles traditionnels tels que charbon, fuels ou autres produits pétroliers liquides par du gaz naturel (méthane) ont rendu les émissions de CO quasiment négligeables (moins de 0.5 % du total national) grâce aux conditions favorables de combustion du gaz naturel (combustion optimisée et très contrôlée de ce combustible quasi-monocomposant).

#### Effets sur la santé humaine :

Le monoxyde de carbone a un effet toxique à partir d'une concentration en volume inférieure à 0.1%, en exposition prolongée (Société Française de Santé Publique, 1996). CO se fixe sur l'hémoglobine pour former une molécule stable, la carboxyhémoglobine. L'hémoglobine s'associe préférentiellement avec CO plutôt qu'avec l'oxygène et cette fixation est irréversible. Pour une concentration de 800 ppm de CO dans l'air, 50% de l'hémoglobine se bloque sous forme de carboxyhémoglobine. Il en résulte une diminution de l'oxygénation cellulaire, nocive en particulier pour le système nerveux central. CO est responsable de 300 à 400 décès par an en France, en milieu clos, et de plus de 5000 hospitalisations.

Les causes en sont :

- le manque d'aération dans des locaux chauffés par une combustion,
- le mauvais réglage des appareils entretenant une combustion,
- l'obstruction du conduit de cheminée, provoquant le refoulement des gaz brûlés,
- la mauvaise conception de certaines cheminées, empêchant l'évacuation correcte des gaz brûlés.

#### **I.2.1.4 Les composés organiques volatils**

##### Origine :

L'agence américaine de protection de l'environnement (Environmental Protection Agency) définit les composés organiques volatils (COV) comme étant des composés qui présentent une tension de vapeur supérieure à 13 Pa (à 0°C) et dont la réactivité est suffisante pour participer à des réactions photochimiques. Cette famille regroupe un grand nombre de composés. Il s'agit en général de composés organiques provenant des procédés industriels ou de la combustion incomplète des

combustibles, d'hydrocarbures aliphatiques et aromatiques (émis par évaporation des bacs de stockage pétroliers, remplissage des réservoirs automobiles), de solvants (émis lors de l'application des peintures, des encres, le nettoyage des surfaces métalliques et des vêtements), de composés organiques émis par l'agriculture et par le milieu naturel comme l'isoprène et les terpènes. Ils interviennent dans le processus de formation d'ozone dans la basse atmosphère.

En 2002, l'estimation des émissions anthropiques de COVNM en France s'élève à 1614 Gg (CITEPA, 2003).

Les émissions de COVNM proviennent principalement :

- Pour 29 % de l'industrie manufacturière
- Pour 24 % des secteurs résidentiels et tertiaires
- Pour 23 % du transport routier
- Pour 14 % de l'agriculture et sylviculture

#### Effets sur la santé humaine:

Les effets sont très divers selon les polluants: ils vont de la simple gêne olfactive à une irritation (aldéhydes), à une diminution de la capacité respiratoire jusqu'à des risques d'effets mutagènes et cancérigènes (benzène) (Société Française de Santé Publique, 1996).

#### **I.2.1.5 Les métaux lourds**

##### Origine :

Le plomb a été employé dans l'essence du fait de ses propriétés antidétonantes. Il a été progressivement supprimé afin de réduire les émissions atmosphériques de plomb. Les essences sans plomb ou à teneurs réduites en plomb ont permis d'abaisser depuis quelques années les teneurs dans l'air très en deçà des seuils de nuisances. Le cadmium a des origines très diverses essentiellement, industrielles. Le vanadium est bon indicateur de combustible industriel et domestique.

##### Effets sur la santé humaine:

Ces métaux ont la propriété de s'accumuler dans l'organisme en général et parfois sur des organes ciblés, engendrant ainsi un risque de toxicité à long terme impliquant d'éventuelles propriétés cancérigènes. Le plomb est un toxique neurologique, rénal et du sang. Le cadmium a un effet sur l'appareil rénal, c'est aussi un irritant

respiratoire. Le vanadium est essentiellement un toxique respiratoire qui peut conduire, selon les concentrations, à une simple irritation ou à des lésions pulmonaires plus graves (Société Française de Santé Publique, 1996).

#### **I.2.1.6 Les aérosols**

##### Origine :

L'étude de la phase particulaire est très difficile compte tenu de son hétérogénéité, elle-même liée à la diversité des sources, à la composition chimique des effluents, à l'état physique et granulométrique des particules et à la dynamique d'évolution (conversion gaz - particule).

Les particules atmosphériques, qui constituent un complexe de substances organiques et minérales, peuvent être grossièrement partagées en deux classes selon des critères de taille, de masse et de composition :

- < 2.5  $\mu\text{m}$  (fraction alvéolaire), il s'agit de particules " fines " issues généralement de conversions gaz - particules, les gaz étant eux-mêmes issus de combustions (effluents de moteurs diesels, acide sulfurique, vapeurs organiques ou métalliques recondensées)
- > 2.5  $\mu\text{m}$  (fraction trachéobronchique et/ou extra-thoracique) : grosses particules provenant principalement d'effluents industriels, de phénomènes d'érosion ou de resuspension.

##### Effets sur la santé humaine :

Les particules en suspension les plus grosses, de diamètre aérodynamique moyen supérieur à 10  $\mu\text{m}$  sont retenues par filtration-impaction au niveau du nez et des voies aériennes supérieures ; elles en sont éliminées et éventuellement dégluties ; dans ce cas, elles seront susceptibles de contribuer, selon leur nature, à une absorption digestive non négligeable de facteurs toxiques et par conséquent, à des effets extra-pulmonaires (Société Française de Santé Publique, 1996).

Les particules de diamètres aérodynamiques moyens compris entre 2 et 10  $\mu\text{m}$  se déposent selon d'autres mécanismes (impaction et interception) au niveau de l'arbre trachéobronchique d'où elles pourront, en général, être éliminées par clearance mucociliaire et la toux. Au niveau des voies aériennes terminales et des alvéoles, les

particules les plus petites (< 3 µm) se déposent par sédimentation. Elles peuvent être phagocytées par les macrophages<sup>1</sup>.

### **I.2.1.7 L'ozone**

#### Origine :

L'ozone n'est pas un polluant primaire mais à la fois un composant normal de l'atmosphère et un polluant secondaire quand sa concentration dépasse la normale.

#### Effet sur la santé humaine :

L'ozone est un oxydant. Il altère les fonctions cellulaires aux points d'impact que constituent les muqueuses (oculaires et pulmonaires en particulier). Il perturbe, dans certaines conditions, la fonction respiratoire non seulement chez les asthmatiques, mais chez les adultes sains et les enfants (Société Française de Santé Publique, 1996). Des études ont montré qu'il peut entraîner une irritation des yeux et des voies aériennes supérieures, provoquant toux et maux de tête. Les effets varient en fonction de la concentration :

- Effets aigus : 2000 µg/m<sup>3</sup> en pointe
- Diminution de la fonction respiratoire observée chez des enfants et des adultes : 220 µg/m<sup>3</sup> pendant 1 heure
- Rhumes, maux de tête possibles, irritation des yeux : 160 à 300 µg/m<sup>3</sup> pendant 1 heure
- Déclenchement de crises d'asthme et symptômes respiratoires autour de 200 µg/m<sup>3</sup> pendant 1 heure

Lors d'expositions prolongées, on observe que la réaction la plus forte se produit au bout de 2 jours d'exposition.

#### Effet sur les végétaux :

Les grands processus physiologiques de la plante (photosynthèse, respiration) sont altérés par l'ozone et la production des cultures agricoles peut être significativement réduite (Environnement Canada, 1999). La sensibilité des végétaux à l'ozone est variable :

---

<sup>1</sup> Diverses cellules dites macrophages peuvent capter des particules étrangères à l'organisme pour tenter d'en débarrasser l'organisme.



- Sensible : mélèze, tabac, blé...
- Moyennement sensible : pin sylvestre...
- Peu sensible : épicéa commun, chêne...

#### Effet sur les matériaux :

L'ozone altère les caoutchoucs et certains polymères. La résistance à l'ozone d'un polymère est considérée comme un paramètre essentiel dans les applications où il se trouve exposé sous tension au vieillissement atmosphérique (APPA, 1998).

#### Effet de serre :

L'ozone est un gaz à effet de serre, tout comme le dioxyde de carbone. Il est susceptible de bloquer une partie du rayonnement tellurique et de le renvoyer vers le sol. On estime actuellement que la part relative de l'ozone dans l'effet de serre additionnel pourrait être comprise entre 10 et 20 %.

## **1.2.2 Surveillance de la qualité de l'air en France**

### **1.2.2.1 Les réseaux de mesure**

La surveillance de la qualité de l'air en France est assurée par un ensemble de réseaux de mesure adoptant une structure associative coordonnée qui est regroupée au sein de la fédération ATMO. Le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable assure la coordination du dispositif de surveillance. L'ADEME<sup>2</sup> est chargée de l'animation technique de ce dispositif.

Le réseau ATMO assure la surveillance en continu de plusieurs polluants avec un triple objectif :

- mettre en œuvre, gérer le dispositif technique de mesure et traiter les données recueillies,
- informer le public et les décideurs,
- aider à la mise en oeuvre des politiques de prévention efficaces.

Les réseaux de mesure assurent des suivis de mesures physiques (vent, température) et chimiques (concentrations des polluants réglementés, parmi lesquels

---

<sup>2</sup> ADEME: Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie

SO<sub>2</sub>, "fumées noires", NO<sub>x</sub>, particules en suspension, plomb, CO, O<sub>3</sub>, COV totaux). Dans le cadre de l'application de la loi sur l'air, chaque région française possède au moins un réseau de mesure (voir figure 5). Ils alimentent la base de données BDQA (Banque de Données sur la Qualité de l'Air, norme ISO 7168) qui est centralisée à l'ADEME. Ils mettent également leurs données à la disposition de la population et des pouvoirs publics.



Figure 5: Les réseaux de surveillance de la qualité de l'air (source : ADEME, 2002)

### I.2.2.2 Les normes de qualité de l'air

Les normes de la qualité de l'air sont fixées à l'échelle internationale par des organismes tels que la Communauté Européenne et l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). Seules les directives européennes ont une réelle valeur réglementaire légale. Les recommandations de l'OMS servent de références complémentaires mais ne sont pas réglementaires. La directive européenne du 21 septembre 1992 portant sur l'ozone a été transcrite en droit français par le décret du 18 avril 1996. Le tableau 4 donne les seuils actuels pour trois des principaux polluants réglementés. Plusieurs seuils sont définis : des seuils de protection (de la santé, de la végétation), des seuils d'information de la population et des seuils d'alerte pour lesquels la préfecture est autorisée à prendre les mesures adéquates définies par la législation nationale et/ou

locale: réduction de l'activité industrielle, circulation automobile, gratuité des transports en commun, etc.

Niveau / Polluant		Ozone	Dioxydes d'azote	Dioxyde de soufre
Seuils d'information et de recommandation (valeur horaire)		180 µg/m <sup>3</sup> /h	200 µg/m <sup>3</sup> /h	300 µg/m <sup>3</sup> /h
Seuils d'alerte hors ozone		NA	400 µg/m <sup>3</sup> /h ou 200 µg/m <sup>3</sup> /h si une procédure d'information a déjà été déclenchée	500 µg/m <sup>3</sup> pendant 3 heures consécutives
Seuils d'alerte pour l'ozone	Niveau 1	240 µg/m <sup>3</sup> pendant 3 heures consécutives	NA	NA
	Niveau 2	300 µg/m <sup>3</sup> pendant 3 heures consécutives	NA	NA
	Niveau 3	360 µg/m <sup>3</sup> pendant 1 heure	NA	NA

**Tableau 4: Exemples de seuils d'information et d'alerte fixés par les textes (décret du 6/05/1998 et arrêté du 17/08/1998)**

Périodes d'observation pendant le programme ESCOMPTE	Maximums d'O <sub>3</sub> observé
14 au 15 juin 2001	15/06/2001 → 192 µg/m <sup>3</sup>
21 au 26 juin 2001	24/06/2001 → 250 µg/m <sup>3</sup>
	25/06/2001 → 300 µg/m <sup>3</sup>
	26/06/2001 → 250 µg/m <sup>3</sup>
02 au 04 juillet 2001	02/06/2001 → 207 µg/m <sup>3</sup>
	03/06/2001 → 214 µg/m <sup>3</sup>

**Tableau 5: exemples de niveaux d'ozone observés pendant la campagne de mesure du programme ESCOMPTE**

Le tableau 5 présente les maximums observés pour l'ozone lors du programme ESCOMPTE dans la zone d'étude de Marseille – Étang de Berre. Ces pics d'ozone sont assez importants et même si le seuil d'alerte n'est pas atteint, le seuil d'information est dépassé sur de vastes étendues géographiques. Pour donner un élément de comparaison, le record historique pour l'agglomération strasbourgeoise est de 272 µg/m<sup>3</sup>, valeur à mettre en regard du caractère courant de niveaux d'ozone supérieurs à 400 µg/m<sup>3</sup> sur la mégapole de Mexico.

### **1.3 Conclusion**

La pollution de l'air résulte principalement, à la fois directement et indirectement, des activités humaines et notamment de la combustion et transformation des combustibles fossiles, pour la production d'énergie, le transport ou l'industrie manufacturière. Cette influence de l'activité humaine est apparue dès des temps relativement reculés, comme le montrent les études sur la concentration de plomb dans l'atmosphère à l'époque de l'empire romain, mettant en évidence la pollution importante générée par les activités anthropiques (mines et fonderies) (Shotyk, 1998). Avec la croissance actuelle de l'industrialisation en Afrique, Inde et Chine, l'accalmie apparente des données d'émissions pour les pays européens ne doit pas masquer les nouveaux défis du début du 21<sup>ème</sup> siècle, que ce soit sur une problématique de qualité de l'air (globale ou locale) ou sur la problématique de changement de climat (gaz à effet de serre).

Pour essayer de maîtriser et évaluer ces risques, il est aujourd'hui reconnu que les inventaires d'émissions sont fondamentaux, que ce soit au niveau local pour alimenter des modèles de dispersion des polluants ou à une échelle plus globale pour les modèles de climatologie.

Dans le chapitre suivant, nous allons présenter les principes généraux d'établissement d'inventaires et de cadastres d'émissions ainsi que la problématique du programme ESCOMPTE.



### **Références bibliographiques**

Académie des Sciences (1993): Ozone et propriétés oxydantes de la troposphère. Rapport N°30, octobre 1993.

APPA (1998) : La pollution de l'air : sources, effets, prévention, 80 p, Lille.

CITEPA (2003) : Inventaire CORALIE format SECTEN – mise à jour février 2003.

Cox, R.A.; Derwent, R.G. (1981): Gas kinetics and energy transfer, *Specialist Periodical Reports Chem. Soc.*, 4, p. 189.

Crutzen, P.J.; Elansky, N.F.; Hahn, M.; Golitsyn, G.S.; Brenninkmeijer, C.A.; Scharffe, D.H.; Belikov, I.B.; Maiss, M.; Bergamasch, P.; Rockmann T.; Grisenko, A.M.; Sevostyanov, V.M. (1998) ; Trace gas measurements between Moscow and Vladivostok using the Trans-Siberian Railroad, *J. Atmos. Chem.*, 29, p.179.

Environnement Canada (1999) : Objectifs nationaux de qualité de l'air ambiant sur l'ozone troposphérique, 78 p., Ottawa.

Graedel, T.E.; Crutzen, P.J. (1993) ; Atmospheric change: an earth system perspective, W.H. Freeman and Company, New York.

Kuentz Burchi, C. (1996) ; Les polluants atmosphériques. Approche toxicologique de l'évaluation des risques. Thèse de Doctorat. Université Louis Pasteur de Strasbourg.

Molina, M.J.; Molina, L.T.; Kolb, C.E. (1996): Gas-phase and heterogeneous kinetics of the troposphere and stratosphere, *Ann. Rev. Phys. Chem.*, 47, p. 327.

Marenco, A.; Gouget, H.; Nédelec, P.; Pagés, J-P; Karcher, F (1994): Evidence of a long-term increase in tropospheric ozone from Pic du Midi data series - consequences: positive radiative forcing, *J. Geophys. Res.*, 99, p. 16617-16632.

Ponche, J.L. (2003): Modélisation de la qualité de l'air troposphérique : cinétiques de transferts hétérogènes, inventaires spatialisés d'émissions atmosphériques et modélisation à méso-échelle. Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches. Université Louis Pasteur de Strasbourg.

Rhode, H.; Butcher, S.S.; Charlson, R.J.; Orians, G.H.; Wolfe, G.V. (1992): Modelling biogeochemical cycles. *Global biogeochemical Cycles*, Academic Press Inc., New York.

Shotyk, W; Weiss, D.J.; Appleby, P.G.; Cheburkin, A.K.; Frei, R.; Gloor, M.; Kramers, J.D.; Reese, S.; van der Knaap, O.W. (1998): History of atmospheric lead deposition since 12,370 <sup>14</sup>C yr BP from a peat bog, Jura Mountains, Switzerland. *Science*, 281, p. 1635-1640.

Seinfeld, J.H.; Pandis, S. N.(1997): Atmospheric chemistry and physics. Wiley – Interscience, New York.

Société Française de Santé Publique (1996): La pollution atmosphérique d'origine automobile et la santé publique, Collection Santé et Société, 4, Paris.

Triplet J.P. et Roche G., (1986) : Météorologie générale. Ecole Nationale de Météorologie de Toulouse., 3ème édition, Paris.

## **Chapitre 2: Inventaires et cadastres d'émissions**

Ce chapitre présente les définitions et connaissances de base sur les inventaires et cadastres d'émissions. Il permet d'introduire les notions et termes techniques relatifs aux inventaires, cadastres et bases de données d'émissions dont il sera question dans la suite de notre étude.





## **II.1 Définitions générales**

### **II.1.1 Inventaire d'émissions**

Une émission est un rejet dans l'atmosphère de substances chimiques par une entité que l'on nomme la source. La liste de sources d'émissions est quasiment illimitée, incluant aussi bien le domaine naturel (faune, flore, volcanisme, etc.) qu'anthropique (véhicule particulier, torchère dans une raffinerie, etc.).

Un inventaire d'émissions est une base de données qui recense et quantifie les émissions dans l'atmosphère et qui peut être caractérisée par les paramètres suivants :

- La zone d'étude couverte par l'inventaire, définie par des limites soit administratives (ex : une agglomération, un département, un pays,...), soit par des coordonnées géographiques (latitude - longitude, coordonnées projetées, zone de X km x Y km, ...)
- la période de temps sur laquelle on comptabilise les émissions (ex : une année, un mois, une journée, une heure...),
- les espèces chimiques que l'on prend en compte dans l'inventaire (ex : les polluants réglementés, les polluants nécessaires pour la modélisation photo chimique, les gaz à effet de serre,...),
- les sources que l'on considère dans l'inventaire (ex : type de sources, domaine d'activité, ...)
- la qualité que l'on souhaite donner à l'inventaire, qui conditionne la complexité de l'étude (ex : finesse de l'analyse sectorielle d'activité, seuil de prise en compte des sources,...).

Ce dernier paramètre est le moins clairement définissable. Il est en effet difficile de limiter la qualité d'un inventaire à la simple résolution des données utilisées pour sa réalisation et il est nécessaire de considérer le problème selon quatre composantes qui permettent de mieux cerner la qualité d'un inventaire.

La première composante qui traduit la bonne qualité est la complétude de l'inventaire. Cette caractéristique est le rapport entre les émissions évaluées avec la méthodologie et les données choisies pour la réalisation de l'inventaire et les émissions réelles. Cette grandeur ne peut pas être évaluée de manière absolue mais

il est en général possible de la majorer grâce à des bilans de matière et d'énergie plus globaux que l'étude effectuée.

Le deuxième aspect important est appelé la cohérence. Un inventaire doit être construit avec des données cohérentes et homogènes aussi bien dans le temps que dans l'espace. Une illustration simple est l'existence de données locales ayant une résolution plus élevée que les données statistiques courantes du pays. Lors de la réalisation d'un inventaire, on peut être tenté d'intégrer cette donnée plus précise et plus détaillée mais plusieurs problèmes peuvent se poser, en l'occurrence :

- la disponibilité de cette donnée pour l'intégralité de la durée de l'étude et de la zone d'étude ainsi que la disponibilité d'une donnée équivalente lors d'une future mise à jour de l'inventaire
- celui de ne plus pouvoir assurer que l'on puisse retrancher de manière appropriée les données d'activités de ces sources détaillées des données d'activités plus globales sans introduire d'erreur ou d'incertitude conséquentes. Le problème est encore plus délicat lorsque l'on se heurte à des systèmes de nomenclatures non harmonisés entre les divers jeux de données.

La troisième caractéristique est la comparabilité. Il est souvent préférable d'utiliser une méthodologie et des données qui permettent de comparer les résultats avec d'autres études similaires. Selon le type d'étude, ce critère sera plus ou moins important, suivant que l'on se place dans un contexte de recherche scientifique ou d'étude appliquée.

La quatrième et dernière nécessité est la traçabilité à effectuer lors de la réalisation de l'inventaire. C'est une qualité permettant de corriger plus facilement l'inventaire lorsque l'on recherche une source potentielle d'erreur et c'est aussi un moyen d'assurer un suivi, une actualisation ou encore une transmission plus facile de la gestion de l'inventaire.

### **II.1.2 Cadastre d'émissions**

Le terme de cadastre d'émissions est notre dénomination préférée pour regrouper les notions d'inventaire d'émissions et de distribution spatiale sur un maillage régulier. Cette notion a pour avantage d'inclure, en plus de la notion d'inventaire, deux notions spatiales complémentaires: plan et parcelle.

Tout d'abord, un cadastre des émissions inclut la notion de plan car il s'agit d'une véritable cartographie des émissions et ensuite la notion de parcelle car il faudra dans sa réalisation définir une taille de maillage qui détermine la résolution spatiale, qui représente la surface élémentaire sur laquelle on va comptabiliser les émissions. Ce type d'inventaire est celui qui correspond le mieux à un usage pour des applications en modélisation de la qualité de l'air.

### **II.1.3 Sources d'émissions**

Il existe un grand nombre de classifications de sources d'émissions et chacune d'entre elles répond à des usages et des objectifs particuliers. Ces classifications reflètent à la fois leur nature et le formalisme méthodologique qui leur sont appliquées. Parmi celles que nous utilisons habituellement, les sources sont classées en premier lieu en sources ponctuelles, linéaires et surfaciques. De plus, les sources peuvent être stationnaires ou mobiles. On obtient finalement une classification des sources couramment utilisée en première approche :

- Des sources ponctuelles stationnaires : elles sont en général constituées par les gros émetteurs stationnaires. L'émission est concentrée en un "point" (ou lieu restreint) bien défini dont on connaît la position avec précision. L'exemple type serait une cheminée appartenant à une installation de combustion industrielle. On peut également dans certains cas avoir la possibilité de quantifier les paramètres physiques et thermodynamiques de la source ponctuelle de manière très précise : altitude des rejets, diamètre de la source, vitesse d'éjection, température, profil temporel d'activité mesuré, etc..
- Des sources linéaires mobiles : c'est le mode de représentation utilisé généralement pour les transports, en particulier le trafic routier hors agglomération, la source étant une entité linéique regroupant l'ensemble des émissions des véhicules la parcourant.
- Des sources surfaciques stationnaires : par défaut, il s'agit de toutes les autres sources qui ne sont ni ponctuelles ni linéaires. Cette représentation sert en général à des émetteurs dont la nature réelle ou/et la localisation est une surface (ex : sources biogènes du type culture agricole, massif forestier continu, ...) et dont les émissions sont proportionnelles à la

surface occupée. Dans cette catégorie de sources sont également regroupées celles dont la localisation est diffuse par manque d'information ou par nature. L'exemple du trafic dans les rues d'un quartier résidentiel, situation dans laquelle les comptages de trafic sont inexistantes (car la circulation est relativement faible) et les modèles de trafic à l'échelle régionale sont inopérants, est un exemple typique de source surfacique.

Cette classification est la plus courante et en général celle adoptée dans les études de ce type car elle permet de représenter suffisamment correctement les objets réels pour lesquels le modèle d'émissions doit être mis en œuvre pour calculer les émissions.

#### II.1.4 Facteur d'émission

Un facteur d'émission est un paramètre qui relie une quantité de polluant émis dans l'atmosphère avec un indice d'activité associé au processus qui est à l'origine de l'émission.

L'équation générale d'un calcul d'émission est :

$$E_{c,a,t} = A_{a,t} \times EF_{c,a} \times \left(1 - \frac{ER_{c,a}}{100}\right) \quad (1)$$

Où l'on a :

- $E_{c,a,t}$  : valeur d'émission pour le polluant "c" émis par l'activité "a" pendant la période de temps "t"
- $A_{a,t}$  : indice d'activité pour l'activité "a" pendant la période de temps "t"
- $EF_{c,a}$  : facteur d'émission pour le polluant "c" pour l'activité "a"
- $ER_{c,a}$  : efficacité de réduction<sup>3</sup> des émissions pour le polluant "c" pour l'activité "a" par rapport au facteur d'émission de référence  $EF_{c,a}$ .

#### II.1.5 Nomenclatures

A la vue de la formulation générique d'un calcul d'émissions, il apparaît un besoin de nomenclatures pour ordonner l'ensemble des sources d'un inventaire. Les nomenclatures sont des classifications en général élaborées dans un but très précis. De nombreuses nomenclatures sont utilisées et sont en général spécifiques au pays

---

<sup>3</sup> La notion d'efficacité de réduction n'est pas systématiquement utilisée et les mesures de réductions peuvent être incluses directement dans la définition du facteur d'émissions.

sur lequel on effectue l'étude. On trouvera en annexe 2, les nomenclatures les plus utiles en matière d'étude de la pollution atmosphérique au niveau européen et en France en particulier, qui sont les suivantes :

- la SNAP (Selected Nomenclature for Air Pollution) pour les activités. Elle est utilisée par l'EEA<sup>4</sup> pour les inventaires CORINAIR et qui comprend environ 400 activités dans sa version courante de 1997. La SNAP est la nomenclature utilisée dans les études européenne de qualité de l'air et la quasi intégralité des documents méthodologiques officiels de l'EEA sont basés sur cette nomenclature d'activités, notamment la référence principale, l'Atmospheric Emission Inventory Guidebook (EEA, 2002) et la méthodologie pour les émissions des sources mobiles COPERT III (Samaras, 2000).
- la NAPFUE (Nomenclature for Air Pollution of FUEls) pour les carburants solides, liquides ou gazeux. Elle comporte une soixantaine de définitions de carburants. Les indicateurs statistiques de consommations énergiques sont en général basés sur cette nomenclature. Elle vient compléter la SNAP dans tous les processus de combustion, permettant de diviser le niveau 3 de la SNAP en un niveau 4 incluant les carburants ou combustibles utilisés.
- la NAF (Nomenclature d'Activités Française): c'est la nomenclature utilisée pour le classement des entreprises en fonction de leur domaine d'activité dans le système statistique français de l'INSEE (Institut National de la Statistique et des Études Économiques). Toutes les statistiques françaises d'activités économiques sont effectuées avec cette nomenclature et l'on devra passer par elle pour la construction de tous les indicateurs d'activités permettant de calculer les émissions.

La nomenclature NAF diffère complètement de la SNAP et il est nécessaire d'établir des correspondances pas toujours évidentes entre ces deux nomenclatures pour pouvoir relier les activités (statistique en nomenclature NAF) et les facteurs d'émissions (guides méthodologiques en nomenclature SNAP) pour pouvoir effectuer le calcul des émissions. L'annexe 2 contient une table de correspondance (origine

---

<sup>4</sup> EEA: European Environment Agency

CITEPA, mise à jour dans notre laboratoire) entre nomenclature NAF et SNAP pour effectuer l'allocation d'activité des catégories NAF vers SNAP.

Cette table donne une correspondance entre une activité NAF et un ou plusieurs codes SNAP selon 3 catégories: les combustions, les procédés et l'utilisation de solvants. Cela correspond à trois catégories d'émissions complémentaires qui permettent de décomposer de manière la plus rationnelle une activité en processus. En associant les codes SNAP appropriés on reconstitue l'ensemble des processus émettant des composés dans l'atmosphère qui correspond à une activité renseignée dans la NAF.

Parfois, la correspondance n'est pas renseignée (acronyme pdc= pas de correspondance dans le tableau) et cela correspond à des activités et/ou processus non pris en compte dans la SNAP. Ceci n'est pas rare et provient des caractéristiques de la SNAP: c'est une nomenclature prévue pour le niveau européen et orientée vers la description et réglementation de la pollution atmosphérique. La NAF est une nomenclature spécifiquement nationale à vocation d'étude statistique de l'activité économique en général.

Considérons l'exemple de la catégorie "viticulture", de code NAF 01.1G, qui n'a pas de correspondance dans la SNAP au niveau des processus en dehors des engins agricoles. Il est cependant nécessaire de se pencher plus avant sur ce type d'activité afin de lui attribuer une méthodologie de calcul appropriée. On peut donner dans cet exemple la suggestion suivante d'affectation dans le cas de la viticulture:

- 01.1G → 0806: Engins spéciaux – Agriculture
- 0907: Feux ouverts de déchets agricoles
- 1001: Culture avec engrais
- Ou (suivant le type de viticulture)
- 1002: Culture sans engrais

Mais même avec cette allocation, il faudra probablement croiser à nouveau ces catégories avec des données complémentaires (RGA<sup>5</sup>; occupation du sol, ...) pour arriver à définir correctement cette catégorie de sources. Nous arrivons ici à un exemple typique où l'intervention d'un expert en émissions reste nécessaire pour l'établissement d'une méthodologie adaptée aux particularismes nationaux, régionaux et/ou locaux.

## **II.2 Méthodologie de réalisation d'un inventaire**

L'établissement d'une méthodologie complète de réalisation d'inventaire est une tâche très lourde qui, si on veut la réaliser *ab initio* n'est à la portée que d'un organisme supranational tel la CEE (EEA) ou les USA (EPA<sup>6</sup>). Le coût d'un tel travail, que se soit pour son établissement ou sa maintenance est très important et la réalisation de tels travaux peut demander plusieurs années.

Dans le cas de l'Europe, la méthodologie considérée comme référence est celle de CORINAIR, la branche qualité de l'air du programme européen CORINE (COORdination d'INformation Environnementale) dépendant de l'EEA. Cette méthode est exposée dans plusieurs documents méthodologiques parmi lesquels on peut citer l'Atmospheric Emission Inventory GuideBook (EEA, 2002)

Dans le cas des Etats-Unis, la méthodologie est définie par l'EPA et forme l'ensemble « Air CHIEF » comprenant les documents méthodologiques parmi lesquels on peut citer le recueil de facteurs d'émissions AP-42 (EPA, 1995). Ces organismes ont également développé des logiciels accompagnant leurs guides méthodologiques mais ils sont en général mal adaptés à la réalisation d'inventaires spatialisés à haute résolution car ils n'ont pas été à priori prévus à ces fins.

### **II.2.1 Méthodologies**

Les principales méthodologies utilisées dans les manuels de réalisation d'inventaires publiées par les agences environnementales sont axées principalement sur la réalisation d'inventaires servant à déclarer les émissions dans le cadre de conventions transfrontalières ou internes aux pays. Les principes méthodologiques divergent sensiblement lorsque l'on s'oriente sur des inventaires à plus hautes résolutions réalisés notamment à une échelle régionale. Ces mêmes principes vont également être conditionnés par la finalité de l'inventaire. Nous allons exposer quelques principes méthodologiques de base permettant de mieux cerner la problématique de notre étude.

---

<sup>5</sup> RGA: Recensement Général Agricole

<sup>6</sup> EPA: Environmental Protection Agency



### II.2.1.1 Approche méthodologique top – down

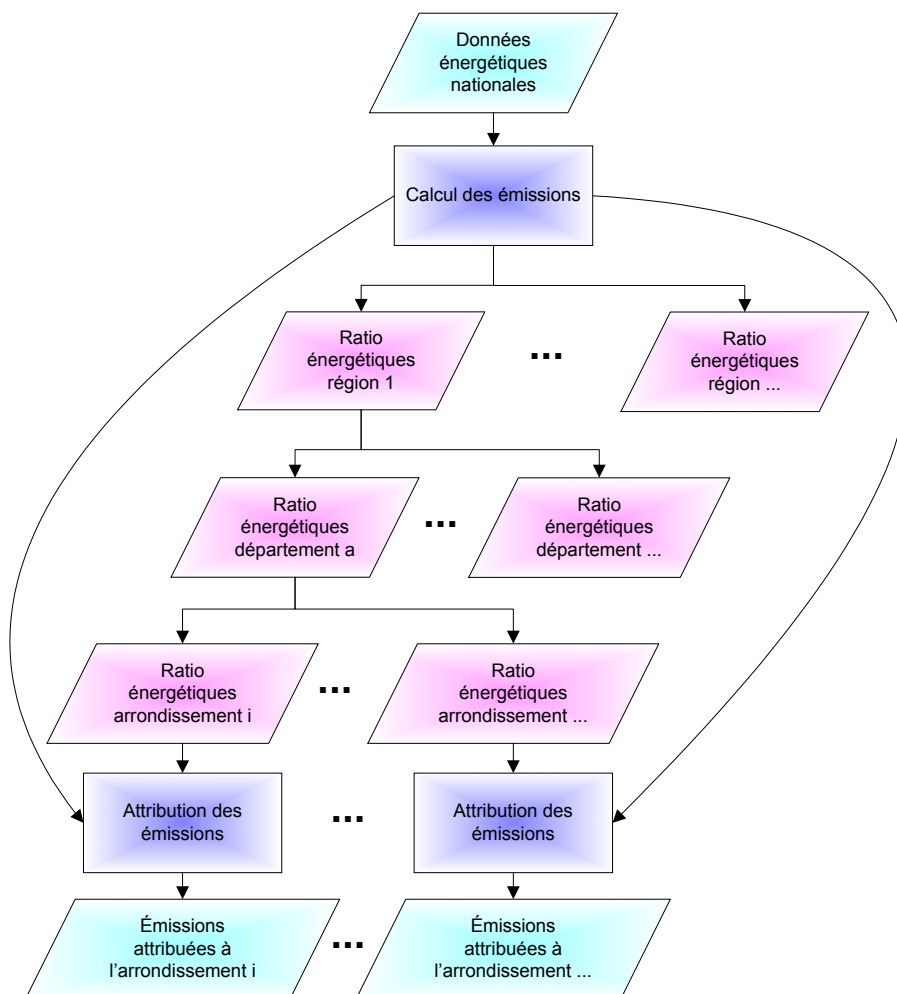
L'approche méthodologique top – down est la méthode la plus courante pour la réalisation d'un inventaire. Elle consiste à considérer la donnée statistique générale pour calculer des émissions nationales ou régionales et à utiliser des clés de répartition ou de désagrégation pour générer des données plus fines nécessaires au calcul (niveau département, arrondissement ou maillage). On utilise alors une ou plusieurs clés de répartition<sup>7</sup> (voir figure 6) afin de reconstruire une information plus fine spatialement. On peut également appliquer le même principe aux données d'activités et ensuite calculer les émissions sur les données attribuées via les clés de répartition.

L'avantage principal de cette méthode est son faible coût global car elle permet de nombreux raccourcis méthodologiques et techniques. La méthode facilite notamment l'intégration des données car lors de la répartition des indices d'activités à l'aide de clés, on effectue généralement des regroupements et/ou dissociations sectorielles permettant de faire une jointure propre entre la nomenclature utilisée en statistiques d'activités (en général la NAF) et celle utilisée pour les références de facteurs d'émissions (en général la SNAP-NAPFUE). Un autre avantage important sera la complétude et la comparabilité qui seront élevées et faciliteront la validation, l'inter-comparaison et l'intégration des données issues de ce genre d'inventaire. En contrepartie, les approximations effectuées affecteront naturellement la qualité des résultats obtenus, tout particulièrement si on les confronte à des données détaillées intégrant les particularismes locaux.

On peut considérer qu'une démarche de type top-down est bien adaptée à une application directe des méthodologies proposées au niveau international mais qu'en contrepartie le modèle obtenu n'est pas adapté pour décrire des spécificités et des réalités locales. Le domaine d'application de cette méthode est donc naturellement les grands inventaires nationaux ou internationaux se préoccupant des phénomènes de transports de pollution transfrontaliers ou de gaz à effet de serre aux échelles continentales voire globales.

---

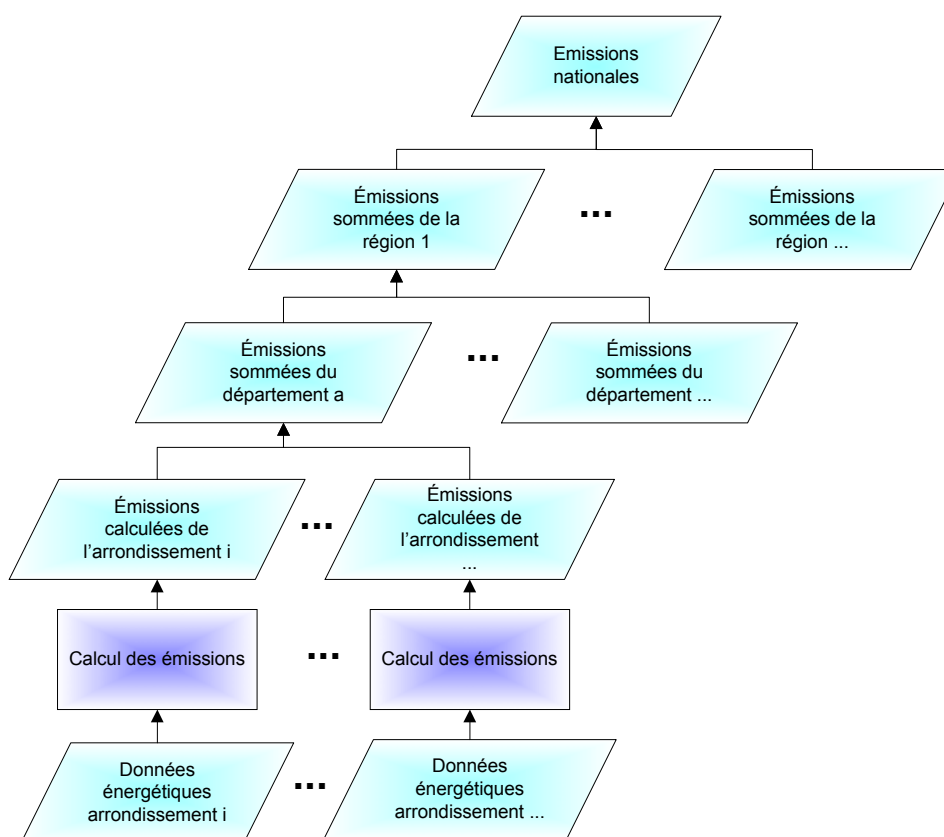
<sup>7</sup> L'anglicisme consacré est *surrogate* mais il se traduit littéralement par "substitut" ou "succédané", ce qui traduit une partie de l'idée, la création de valeurs de substitution quand l'information est manquante, mais décrit moins bien la manière d'obtenir ces valeurs, en l'occurrence l'utilisation de clés de répartitions.



**Figure 6: Diagramme de flux de la méthodologie top - down : exemple d'une donnée d'activité énergétique (les flèches ont le sens usuel de flux de données sur un diagramme de flux).**

### II.2.1.2 Approche méthodologique bottom - up

L'anglicisme « bottom-up » décrit la méthode de réalisation d'un inventaire se basant sur la collecte des données procédant du niveau le plus fin vers un niveau plus agrégé, privilégiant les sources de données fines aux clés de répartition (voir Figure 7). Cette construction est logiquement plus coûteuse en temps et plus problématique car on doit collecter la donnée la plus fine possible et adapter soit la donnée soit la méthodologie pour former un modèle cohérent de calcul d'émissions.



**Figure 7: Diagramme de flux de la méthodologie bottom – up: exemple d'une donnée d'activité énergétique**

En contrepartie de ce travail beaucoup plus conséquent, on obtient naturellement un modèle d'émissions qui est plus proche de la réalité et qui permet davantage de prendre en compte les spécificités locales. Cependant plusieurs aspects peuvent générer d'autres problèmes parmi lesquels :

- l'établissement d'une jointure correcte entre la classification des activités utilisées par les données fines et la nomenclature SNAP,
- l'évaluation du niveau de complétude : elle est beaucoup plus délicate dans le cas de données fines, les rebouclages et bilans étant plus difficiles à effectuer qu'à un niveau élevé d'agrégation des données,
- la disponibilité des données : les données les plus fines sont souvent couvertes par le secret statistique auquel cas il est parfois difficile d'y accéder. On peut également se heurter à des problèmes de données dont la qualité ou la définition est variable en fonction de la zone ou de la période sur laquelle porte l'étude,

- la disponibilité (ou existence) des facteurs d'émissions et des méthodes de calcul pour des sources d'émissions possédant des particularités régionales ou locales,
- le coût de l'étude qui croît de manière non linéaire avec la finesse et le nombre des données utilisées pour un domaine d'étude donné.

Dans la pratique et dans le cas de notre étude, nous avons privilégié autant que possible cette seconde approche malgré les problèmes qui peuvent se poser lors de la mise en oeuvre. En réalité toutes les données n'étant pas disponibles avec les niveaux de finesse souhaités, la méthodologie adoptée est souvent un hybride qui repose sur les deux approches simultanées avec une priorité pour les données fines et spécifiques à la zone d'étude lorsqu'elles sont disponibles.

### **II.2.2 Démarche générique de construction d'un inventaire d'émissions**

La procédure générique de construction d'un cadastre d'émissions telle qu'elle a été élaborée au Laboratoire est résumée dans la figure 8. Elle simplifie nécessairement la réalité des opérations mais permet de mieux appréhender les divers groupes de tâches et de décisions qui permettent de construire et qui conditionnent la réalisation d'un inventaire. Les trois colonnes représentent trois domaines constitués par les sources de données, les traitements et les critères de l'étude.

En amont de la réalisation, certains critères doivent être impérativement renseignés de manière à dimensionner la structure globale et le coût de l'étude (paramètres en bleu dans la colonne de droite de la figure). Un des paramètres les plus importants entrant en compte est l'extension du domaine d'étude. Suivant les modèles de transport réactif, on peut passer d'une échelle continentale (plusieurs milliers de Km) à une échelle locale (moins de 100 Km) en passant par la méso échelle (quelques centaines de Km). Il va de soit qu'il n'est ni nécessaire ni souhaitable de traiter de la même manière et avec la même résolution ces divers cas. De la même manière que la résolution de l'inventaire est variable suivant les besoins du modèle utilisé, la liste des composés considérés le sera également suivant que l'on s'intéresse à de la photochimie (COV, CO, NOx,...), aux gaz à effet de serre (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, SF<sub>6</sub>, ...) ou à des études d'exposition dépendant par

exemple d'un transport non réactif de polluants (particules, métaux lourds, dioxines et furanes, ...). Ces deux caractéristiques déterminent l'extension globale du domaine d'étude et la résolution spatiale ( finesse du maillage) qui conditionne elle-même la finesse des données à collecter. Ces caractéristiques imposent également la résolution temporelle (pas de temps avec lequel les émissions sont calculées et stockées: annuel ou horaire) et enfin les spéciations chimiques utilisées en fonction de l'utilisation du cadastre (spéciation des COV principalement).

Une fois ces paramètres définis, la réalisation de l'inventaire commence généralement par la collecte et le traitement des données (entités en couleur saumon dans la colonne de gauche de la figure). Cette étape est la plus longue et la plus critique car si la démarche de création d'un inventaire est relativement directe, les difficultés sont dissimulées principalement dans la préparation des données et le nombre de traitements important que représente la réalisation de l'inventaire. Si le problème du nombre de traitements peut être facilement contourné à l'aide de procédures logicielles, le traitement des données requiert forcément l'intervention de personnes qualifiées dans le domaine. La problématique des données sera plus longuement développée dans le point II.2.3. La quantité de données à traiter, que ce soit du point de vue des sources d'émissions ou des mailles sur lesquelles la restitution des émissions est faite, oblige à utiliser de manière rationnelle l'outil informatique (procédures en vert dans la colonne centrale de la figure) et nous développerons les aspects logiciels dans le point II.2.4.

En dernière partie, les émissions peuvent nécessiter un retraitement, que ce soit à des fins d'étude (étude sectorielle, spatiale, etc.) ou d'adaptation à l'usage (diminution de la résolution, agrégation de certains composés, etc.). Le schéma inclut également la mention des procédures permettant de mettre à jour les bases de données servant au calcul des émissions.

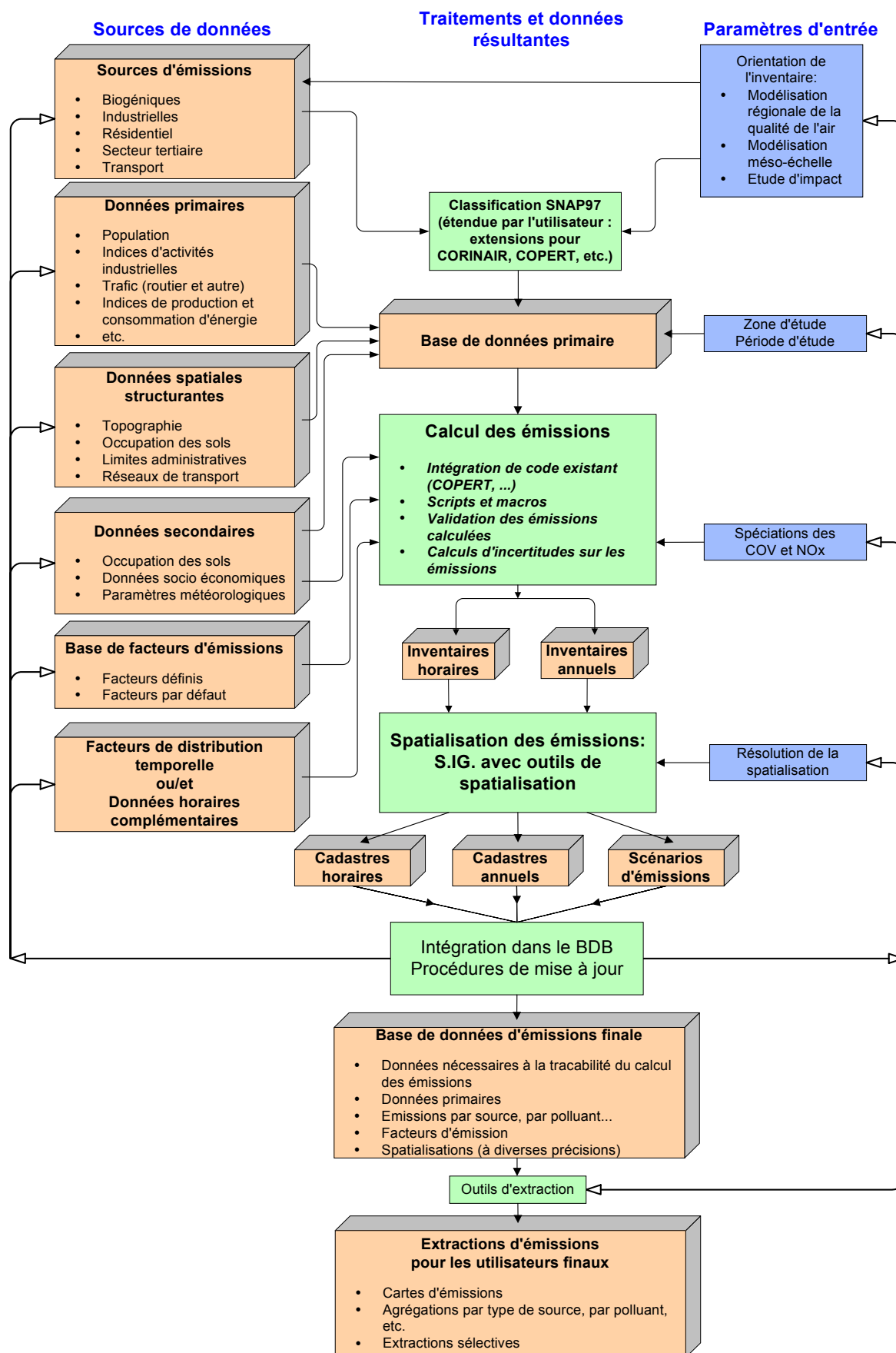


Figure 8: Schéma générique de la réalisation d'un inventaire d'émissions

### **II.2.3 Problématique des données d'entrée**

Avec l'évolution des moyens informatiques, les données et statistiques disponibles ont sensiblement augmenté par rapport aux données disponibles au début des années 90, ce qui facilite au premier abord la réalisation d'inventaires. On peut consulter dans le tableau 6 la liste des principales bases de données qui ont été utilisées pour la réalisation des cadastres du programme ESCOMPTE. Il illustre bien la variété des sources (organismes) et types de données que l'on rencontre lors de la réalisation d'un inventaire de ce type, c'est-à-dire orienté pour la modélisation de la qualité de l'air.

Néanmoins existence et disponibilité ne vont pas forcément de pair car on peut se heurter à plusieurs barrières lors de la collecte des données. Le premier obstacle n'est pas technique mais plutôt financier car une donnée a généralement un coût. Ce coût peut englober son coût d'achat et/ou un coût de traitement qui risque parfois d'être encore plus élevé. Plus on va enrichir (en augmentant la résolution spatiale ou la finesse sectorielle) les bases de données d'entrée du modèle d'émissions, plus le coût de l'achat de ces bases ou les unités d'oeuvres nécessaires au traitement (validation et mise en forme) des données va augmenter. Il faut également garder à l'esprit que la croissance du nombre d'enregistrements des tables dans les bases de données nécessaires à la réalisation de l'inventaire ne varie pas linéairement mais en puissance de la résolution souhaitée, du fait du caractère bidimensionnel voire tridimensionnel des données nécessaires au calcul incluant l'allocation spatiale des émissions.

D'autre part, si l'on désire une finesse relativement poussée dans ces bases de données, on va également se heurter à des problèmes de secret statistique qui sont difficiles voire impossibles à contourner car dépendants de l'accord d'autorisation de commissions telle que le Comité du Secret Statistique du CNIS<sup>8</sup>.

---

<sup>8</sup> CNIS: Conseil National de l'Information Statistique

Source	Intitulé de la donnée
AASQA	Données Météorologiques
CEREN	Données CEREN <sup>9</sup> 1999
CETE <sup>10</sup>	Données comptages
CNR <sup>11</sup>	Données comptage fluvial
CRIGE <sup>12</sup>	Occupation du sol 1999
CYPRES <sup>13</sup>	Fichiers SIG SEVESO 13
DIREN <sup>14</sup>	Base NATURA2000
DIREN	Données SIG
DRAF <sup>15</sup>	Données RGA2000
DRIRE <sup>16</sup> PACA	Base de données ICPE <sup>17</sup> déclaration et autorisation, Données auto surveillance 1999-2000 et données MAIRAN <sup>18</sup> , Données TGAP <sup>19</sup> 1999-2000, Données Carrières
EEA	SNAP97
GEOSIGNAL	Plans de villes
IFN <sup>20</sup>	Cartographie des régions forestières
IGN	BdAlti, BdCarto v2001, GEOROUTE, Route 500, SCAN 25 et SCAN 100
INSEE	Correspondances...Adresses, Données Communes Mobilités, IRIS <sup>21</sup> , SIRENE <sup>22</sup>
Météo France	Données Météorologiques Météo France (Aladin) 1999, 2000 et 2001, Données observées (1999,2000 et 2001), Données albédo
METEORAGE	Données foudre 1999, 2000 et 2001
Ministère de l'agriculture	Données Agreste numériques 89-99
Plusieurs industriels	Données auto surveillance (support informatique)
Prométhée	Données incendies
SESSI <sup>23</sup>	Données SESSI 1999 France (Cdrom / données publiques), Données SESSI 1999 PACA et France (données filtrées = publiques)

**Tableau 6: Principales bases de données utilisées pour la construction des inventaires pour le programme ESCOMPTE**

<sup>9</sup> CEREN: Centre d'Étude et de Recherche sur l'Énergie

<sup>10</sup> CETE: Centre d'Études Techniques de l'Équipement

<sup>11</sup> CNR: Compagnie Nationale du Rhône

<sup>12</sup> CRIGE: Centre Régional de l'Information GEographique

<sup>13</sup> CYPRES: Centre d'information du public pour la prévention des risques industriels et la protection de l'environnement: [www.cypres.org](http://www.cypres.org)

<sup>14</sup> DIREN: Direction Régionale de l'ENvironnement

<sup>15</sup> DRAF: Direction Régionale de l'Agriculture et la Forêt

<sup>16</sup> DRIRE: Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement

<sup>17</sup> ICPE: Installations Classées pour la Protection de l'Environnement

<sup>18</sup> MAIRAN: Nom donné au système de collecte et de traitement des données d'auto-surveillance

<sup>19</sup> TGAP: Taxe Générale sur les Activités Polluantes

<sup>20</sup> IFN: Inventaire Forestier National

<sup>21</sup> IRIS: Îlots Regroupés selon des Indicateurs Statistiques

<sup>22</sup> SIRENE: répertoire officiel des entreprises géré par l'INSEE dont le nom découle du numéro SIREN qui identifie les entreprises

<sup>23</sup> SESSI: SErvice des StatistiqueS Industrielles



Il apparaît donc que le choix des données pour la réalisation de l'inventaire sera un compromis entre les données idéales, les données accessibles en absence complète de restrictions budgétaires, et les données générales servant à des inventaires nationaux (données nationales ou régionales d'activité, etc.). Dans ce cas, le jugement d'un expert est encore nécessaire pour privilégier les bases des données qui apporteront une résolution supérieure à l'étude suivant son objectif. On comprendra par exemple qu'un inventaire privilégiant les émissions biotiques pourra difficilement se passer des fichiers cartographiques haute résolution de l'IFN (Inventaire Forestier National) alors qu'une étude d'impact de trafic routier ne nécessiterait pas une telle résolution pour les données d'occupation du sol naturel mais devra évidemment privilégier la qualité de la description du réseau routier. On peut recenser brièvement les familles de sources de données utiles pour la construction d'un inventaire. On distingue deux types principaux de données à ce niveau: les données tabulaires et les données cartographiques.

A priori, toute source de données renseignant sur la présence ou l'activité des émetteurs est potentiellement utile. A ces sources, on devra également ajouter des compléments tels que les bases de données de paramètres météorologiques qui sont nécessaires aux calculs de certaines émissions (par exemple, émissions biogènes, évaporation de COV, diméthyl sulfure (DMS) maritime). Les bases de données sont nombreuses mais on peut citer parmi les plus courantes:

- Les données INSEE: l'Institut National de la Statistique et des Études Économiques fournit un grand nombre de bases de données dont la qualité est sans cesse croissante. Avec le recensement 1999 ont été introduites de manière généralisée les bases de données IRIS-2000 fournissant une résolution certes inférieure aux "îlots<sup>24</sup> INSEE" mais disponible pour tous les indicateurs du recensement. De plus, ce nouveau zonage a été élaboré pour toutes les communes atteignant 5000 habitants et cela en concertation avec les mairies afin d'assurer une bonne représentativité. Par exemple, on obtient dans le cas de la ville de Strasbourg (INSEE, 2000) un ensemble de

---

<sup>24</sup> Îlots: C'est la plus petite surface utilisée par l'INSEE pour le traitement des données statistiques. Elle est limitée par des voies (publiques ou privées), des obstacles naturels ou artificiels (rivière, chemin de fer, ...) ou des limites de communes. Elle correspond le plus souvent au pâté de maison. Il y en a environ 220.000 en France.

116 IRIS avec une population moyenne de 2200 habitants et une population médiane de 2257 habitants par cellule IRIS-2000.

- Les données IGN: l'Institut Géographique National produit des bases de données cartographiques qui constituent la référence avec notamment les bases BdCarto (cartographie générale) et Georoute (réseau routier).
- Les données régionales de la DRIRE qui concernent entre autres les installations industrielles classées, soumises à autorisation ou déclaration et les données d'auto-surveillance de ces établissements.
- Les statistiques nationales et régionales du Recensement Général Agricole (RGA), les données cartographiques et dendrométriques de l'Inventaire Forestier National (IFN)
- Les données météorologiques (Météo France)
- Les données d'occupation du sol (ex: Corine Land Cover (IFEN, 1994))

Les données disponibles sont en perpétuelle évolution, que ce soit par actualisation des données (mise à jour) ou par la mise à disposition de nouvelles bases de données soit plus fines, soit couvrant de nouvelles parties du territoire français. On peut citer notamment le projet du RGE<sup>25</sup> de l'IGN qui va donner naissance à la nouvelle génération base de données topographiques ("BD TOPO") dite "BD TOPO Pays" qui couvrira en 2006, en complément de la BD TOPO classique, l'intégralité des zones rurales ou peu urbanisées (IGN, 2001). En synergie avec l'évolution de l'INSEE avec les bases IRIS-2000, la couverture de l'intégralité du territoire sera enfin assurée avec une résolution homogène de données.

D'autre part, suite à la réforme des nomenclatures NAF<sup>26</sup> et CFP<sup>27</sup> en 2003, l'INSEE a récemment planifié (INSEE, 2003) la réforme de 2007 qui va profondément remanier la NAF pour assurer une meilleure cohérence au niveau Européen et Nord Américain dans le cadre de l'ALENA<sup>28</sup>. Une uniformisation n'est pas encore planifiée au niveau des instances européennes (EEA notamment) mais s'avèrerait extrêmement bénéfique afin de pouvoir bénéficier d'échanges méthodologiques transatlantiques plus aisés.

---

<sup>25</sup> RGE: Référentiel à Grande Échelle

<sup>26</sup> L'ancienne NAF n'avait pas été mise à jour depuis sa publication en 1993.

<sup>27</sup> CFP: Classification des Produits Français

<sup>28</sup> ALENA: Accord de Libre Échange Nord-Américain

## II.2.4 Problématique des procédures de traitement

La réalisation d'un inventaire comporte beaucoup de tâches répétitives qui sont principalement des opérations de calcul d'émissions, d'attributions spatiales pour la partie spatialisation et d'attributions temporelles d'émissions pour la réalisation de cadastres horaires. Même si, en parallèle aux méthodologies, les agences intergouvernementales mettent des outils de calcul d'émissions à disposition, ils sont plutôt adaptés à la génération de calculs d'émissions annuelles non spatialisées qu'à la réalisation d'inventaires maillés et encore moins à la génération de cadastres horaires adaptés à la modélisation de transport réactif des polluants. On peut citer dans cette famille de logiciels COPERT III (Samaras *et al*, 2000) qui traite les émissions des sources mobiles, GLOBEIS 3 (Guenther *et al*, 2002) qui traite les émissions des sources biogènes et CollectER qui traite les sources stationnaires avec la méthodologie de l'EEA (Pulles *et al*, 1998).

Ces outils sont adaptés à la génération des inventaires nationaux demandés par les autorités pour les programmes concernant le transport transfrontalier ou l'évolution globale du climat mais ne le sont plus pour produire des inventaires régionaux utilisables par exemple pour la modélisation. Ceci a donc créé la motivation d'une partie de cette étude, profitant de la dynamique du programme ESCOMPTE<sup>29</sup> (présenté au point II.3.1) et de la volonté de l'ADEME, pour établir des procédures complémentaires permettant d'assurer ces tâches longues et répétitives et par ailleurs extrêmement coûteuses en unités d'œuvre. La plupart du temps, le calcul des émissions peut se scinder en calculs élémentaires ne dépendant que d'une donnée d'activité et d'éventuelles mesures de réduction d'émissions (voir équation 1) et il peut être facilement automatisé. Les cas les plus complexes de formulation des émissions sont typiquement les sources biotiques, qui dépendent des conditions météorologiques, et les émissions des sources mobiles, qui dépendent de manière non linéaire de la vitesse des véhicules. Pour ces cas particuliers, la mise à jour du modèle demandera un travail informatique plus conséquent mais pour le reste des secteurs, la contribution se ramène en général à une formulation linéaire de type générique illustré par l'équation 1.

---

<sup>29</sup> ESCOMPTE: Expérience sur Site pour COntraindre les Modèles de Pollution atmosphérique et de Transport d'Émissions

Un second complément nécessaire est la prise en charge des étapes de génération de séquences temporelles (à partir de données réelles ou de coefficients d'attributions temporels) afin de générer les bases de données horaires attendues. Nous n'abordons ici que l'aspect génération d'inventaire. De nombreuses tâches complémentaires de retraitement s'avèrent souvent nécessaires (analyses sectorielles, analyses spatiales, ...) et peuvent également bénéficier de logiciels d'assistance au traitement. Ces aspects seront présentés ultérieurement dans ce travail, notamment dans la partie traitant du transfert méthodologique et des applications vers la région PACA.

### **II.2.5 Problématique des procédures de la spatialisation des émissions**

L'attribution spatiale des émissions représente une étape complexe dans ses phases techniques de préparation et de calcul. Nous distinguons 3 phases principales dans le processus:

- La génération d'une méthodologie qui permettra d'obtenir l'attribution spatiale des émissions: cette partie va dépendre fortement de la résolution désirée et des contraintes de coût de l'étude.
- La collecte des données nécessaires à la génération des clés de répartition spatiales (si nécessaire): on peut appliquer à cette étape les remarques générales du point concernant les données (II.2.3).
- L'application effective et le calcul de répartition qui représente l'étape technique faisant intervenir principalement un SIG<sup>30</sup> pour l'application des clés de répartition construites sur des données géographiques et tabulaires.

Dans le domaine de la spatialisation des émissions, l'étude IMPRESAREO (Improving the spatial resolution of air emission inventories using earth observation data) (AEAT, 2001) a permis d'établir une méthodologie d'utilisation des données de télédétection pour améliorer la résolution spatiale des inventaires d'émissions. La méthode est principalement orientée vers l'application d'une méthodologie de type top - down pour fournir des inventaires à faibles coûts. La méthodologie a été établie dans le cas du Royaume Uni puis validée en Italie et Grèce (Winiwarter *et al* 2001). Parmi les conclusions principales on peut citer:

- l'inadaptation complète d'une étude de type bottom-up pour les sources ponctuelles,
- la nécessité de générer une grille de densité de trafic sur la même base que la grille de spatialisation pour les sources linéaires représentant le trafic routier,
- la bonne définition spatiale des autres sources par la méthodologie de spatialisation proposée dans l'étude.

Nous reviendrons ultérieurement dans ce mémoire sur la transposition au cas français de cette méthodologie, dans la partie concernant la génération des clés de distribution spatiale.

## **II.3 Cas des cadastres du programme ESCOMPTE**

### **II.3.1 Le programme ESCOMPTE**

Le programme ESCOMPTE (Expérience sur Site pour Contraindre les Modèles de Pollution atmosphérique et de Transport d'Emissions) a pour objectif d'établir une base de données de qualité de l'air (émissions et mesures de concentration) dotée d'une haute résolution spatiale et temporelle sur la région de Marseille. La zone d'étude ESCOMPTE, centrée sur Marseille – Aix en Provence - Etang de Berre et d'une extension de 140 km x 140 km (voir figure 9) a été choisie pour ses caractéristiques particulières (dynamique complexe, importance et diversité des sources d'émissions atmosphériques, conditions météorologiques favorables pour la photochimie,...) qui en font une région tout à fait intéressante du point de vue de la climatologie. La finalité de cette base de données est l'évaluation de modèles méso-échelle de chimie-transport dans la troposphère afin de comparer leur aptitude à décrire l'environnement atmosphérique de cette région. Parmi les données nécessaires aux modèles, les émissions sont d'une importance primordiale et un groupe de travail spécifique a été formé pour la réalisation des cadastres d'émissions afin d'assurer la coordination de la réalisation des cadastres. L'établissement de ces cadastres d'émissions contribuera également à améliorer grandement la compréhension de la climatologie et de la qualité de l'air tant urbaine qu'à une échelle plus régionale en fonction des situations météorologiques de cette zone.

---

<sup>30</sup> SIG: Système d'Information Géographique



**Figure 9 : Zone d'étude du cadastre ESCOMPTE**

**(le carré rouge représente les limites du cadastre 140x140 km<sup>2</sup> en résolution kilométrique)**

Les caractéristiques générales de la base de données d'émissions ESCOMPTE (extension de la zone d'étude, résolution spatiale et temporelle, espèces chimiques prises en compte, etc.) ont été définies en accord avec les équipes de modélisation afin de correspondre aux besoins des modèles à méso-échelle. Par exemple, la résolution spatiale est de un kilomètre carré et deux échelles de temps sont utilisées : annuelle (pour la pérennisation future des cadastres) et horaires (pour alimenter les modèles) durant les périodes d'observations intensives des campagnes de mesures qui ont été réalisées en 2000 (pré-campagne du 19 juin au 17 juillet) et 2001 (campagne principale du 05 juin au 16 juillet). Les inventaires horaires sont ceux qui seront utilisés pour l'exercice d'inter-comparaison de modèles.

### **II.3.2 Les cadastres d'émissions du programme ESCOMPTE**

Pour la réalisation pratique des bases de données d'émissions, un appel d'offre européen géré par l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) a permis de sélectionner différents prestataires qui ont établi les différentes contributions des cadastres sous la supervision d'un comité « Emissions - ESCOMPTE » (ADEME / LPCA) (voir figure 10). Les différentes contributions ont été ensuite rassemblées, intégrées et spatialisées au LPCA afin de constituer les cadastres finalisés conformément au cahier des charges (Ponche et François, 2000).

Un fort interfaçage entre ce programme et les réseaux de mesure (en l'occurrence AIRMARAIX et AIRFOBEP) de la région Provence Alpes Côte d'Azur (PACA) a été

mis en place afin de faciliter la pérennisation de ce travail avec la participation de ces réseaux de mesures. Les deux campagnes de mesures (2000 et 2001) ont permis de mesurer un grand nombre de paramètres météorologiques, climatologiques et de concentrations (précurseurs et polluants photochimiques) en 3 dimensions grâce aux mesures LIDAR, SODAR et aéroportées.

Durant la campagne 2001, des mesures orientées « Emissions » ont été effectuées pour une étape de validation des cadastres avec notamment des mesures aériennes spécifiques dans les panaches de grandes sources ponctuelles (par exemple torchères de raffinerie) et des stations de mesures au sol notamment pour les émissions biogéniques (effectuées par l'ENSIACET - Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieur en Arts Chimiques et Techniques). Ces mesures permettront, dans un programme actuellement en cours (PRIMEQUAL 2), de faire des comparaisons de manière directe (flux d'émissions) ou indirecte (ratios NO<sub>x</sub> / CO, NO<sub>x</sub> / COV, etc..) avec des valeurs d'émissions calculées.

L'ensemble de ces mesures, après validation, a rejoint les cadastres d'émissions dans la base de données du programme ESCOMPTE accessible au public (selon les modalités définies par le Comité de Direction du programme ESCOMPTE), à partir de 2003.

Des informations complémentaires, concernant à la fois les aspects généraux du programme ESCOMPTE sont disponibles (Cros *et al.*, 2004) et les résultats des travaux du LPCA sur les cadastres ESCOMPTE sont présentés dans le chapitre 3 sous la forme d'une publication acceptée dans Atmospheric Research en 2004.

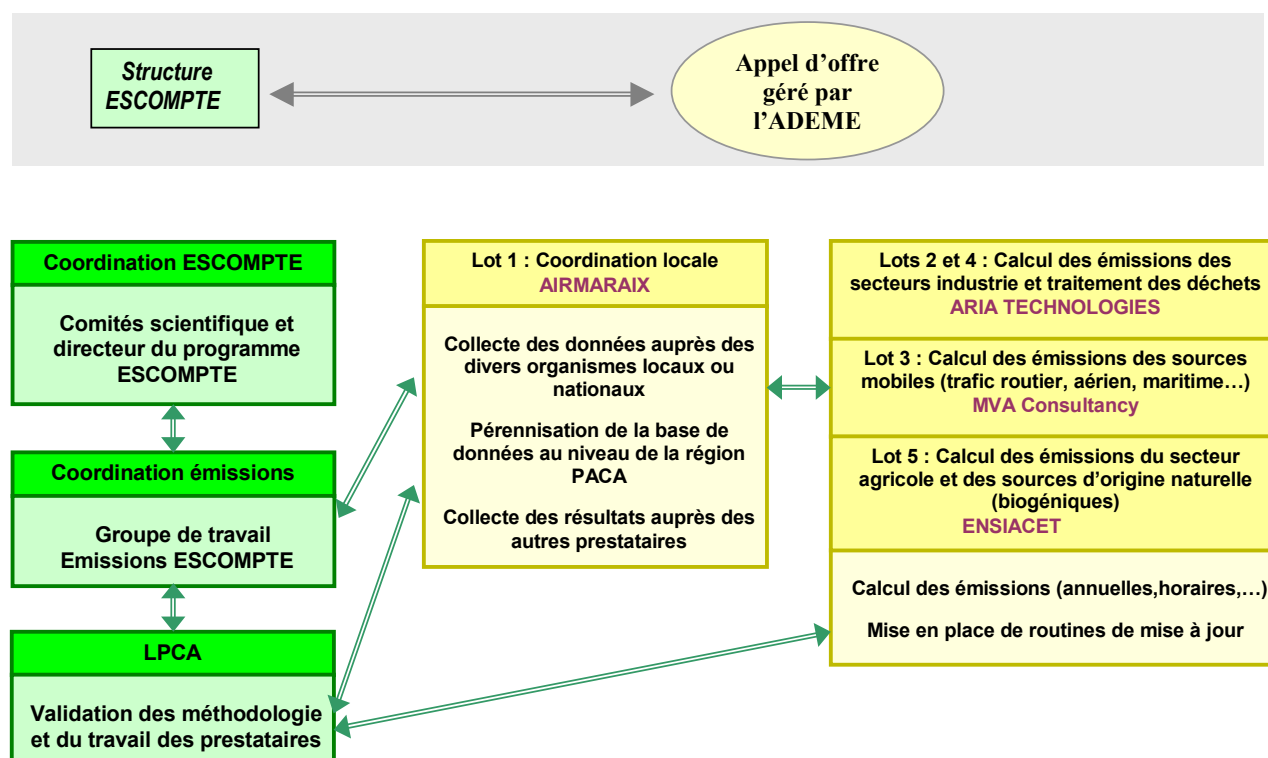


Figure 10 : structure finale de la réalisation des cadastres pour le programme ESCOMPTE

## II.4 Conclusion

L'aperçu donné dans ce chapitre sur les méthodologies utilisées dans la réalisation d'inventaires et cadastres d'émissions atmosphériques met nettement en avant la complexité de la tâche et de sa mise en œuvre. Le chapitre suivant va introduire les aspects théoriques complémentaires que nous utilisons dans ce mémoire pour exposer les directions prises dans notre étude pour améliorer certaines de ces étapes de traitement, notamment pour les aspects d'automatisation et dans l'optique de l'utilisation systématique de bases de données.





### **Références bibliographiques**

AEAT (2001): WP1000: A guide to the methodology for using EO data to improve spatial resolution of air emission inventories, January 2001 Final Report, AEA Technology.

Cros, B; Durand, P.; Cachier, H.; Drobinski, Ph.; Fréjafon, E.; Kottmeier, C.; Perros, P. E.; Ponche, J.-L.; Robin, D.; Saïd, F.; Toupance, G.; Wortham, H. (2004): The ESCOMPTE program: an overview, *Atmos. Res.*, 69, p. 241.

EEA (2002): EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook – 3rd edition October 2002 UPDATE, technical report n°30, EEA.

EPA (1995): Compilation of Air Pollutant Emission Factors AP-42, Fifth Edition, EPA.

Guenther, A.; Wiedinmyer, C.; Baugh, B. (2002): Biogenic VOC Emission Estimates for the TexAQS 2000 Emission Inventory: Estimating Emissions During Periods of Drought and Prolonged High Temperatures and Developing GloBEIS3, ENVIRON International Corporation.

IFEN (1994): Base de données Corine Land Cover, disponible auprès de l'IFEN, 61 boulevard Alexandre Martin, 45058 Orléans Cedex 1

IGN (2001): Numéro Spécial RGE, IGN Magazine n°6, IGN.

INSEE (2000): Chiffres pour l'Alsace n°43, p 4-8, INSEE.

INSEE (2003): L'actualité à l'INSEE, mars 2003, p23, INSEE de Haute-Normandie.

Ponche, J.L.; François, S. (2000): Programme ESCOMPTE – Réalisation des cadastres d'émissions – Cahier des Charges de Consultation, disponible auprès de

l'ADEME – Direction de l'Air de des Transports, 27 rue Louis Vicat F75737 Paris Cedex, 85 pages.

Pulles, T.; Mareková, K.; Skákala, J.; Svetlík, J. (1999) : CollectER Installation and User Guide, EEA technical report n°31, EEA.

Samaras, Z.; Ntziachristos, L. (2000) : COPERT III Computer programme to calculate emissions from road transport, EEA technical report n°49, EEA.

Winiwarter, W.; Vlachogiannis, D.; Gounaris, N.; Bartzis, J.; Ekstrand, S.; Tamponi, M.; Maffei, G.; Licotti, C.; Dore, C.; Hayman, G. (2001): Final Method Evaluation: Development of Spatially Resolved Emission Inventories for Milan and Athens; WP8000 of the EC research project IMPRESAREO; ARC Seibersdorf research Report, ARC-S-0154, 60 pages.

## **Chapitre 3: Travaux et résultats obtenus dans le cadre du programme ESCOMPTE**

Ce chapitre présente une publication acceptée dans Atmospheric Research (numéro spécial dédié au programme ESCOMPTE). Elle présente aussi bien les aspects généraux de la méthodologie mise en œuvre pour la réalisation des cadastres que les résultats obtenus pour les inventaires annuels et horaires du programme ESCOMPTE. La publication est précédée d'une version française du résumé.



Version française du résumé de la publication :

Dans le cadre du programme ESCOMPTE, un inventaire spatialisé des émissions destiné à l'intercomparaison de modèles de photochimie troposphérique a été développé sous la supervision scientifique du LPCA, avec l'aide du réseau de surveillance de la qualité de l'air AIRMARAIX pour la partie concernant la coordination régionale. Cet inventaire, centré sur l'agglomération Marseille - Aix en Provence dans le sud-est de la France, prend en compte toutes les sources usuelles (fixes, mobiles et biogéniques) pour un domaine d'une surface de 19600 km<sup>2</sup>, avec une résolution kilométrique. Un inventaire annuel, pour l'année 1999, a été établi conjointement à un ensemble de 23 journées d'inventaires horaires pour certains jours de juin et juillet 2000 / 2001 qui correspondent aux périodes d'observations intensives. L'inventaire produit pour l'exercice d'intercomparaison d'ESCOMPTE prend en compte 104 espèces chimiques pertinentes pour la modélisation de la photochimie troposphérique telle qu'elle est connue actuellement. L'inventaire intégral prend en compte 216 espèces, ce qui permettra de prolonger les applications possibles de la base de données qui est une des plus complètes actuellement en France. La base de données a été conçue pour offrir une plus grande facilité de mise à jour et elle est accompagnée de logiciels gérant cette mise à jour. L'article présente l'organisation générale et la méthodologie résumées qui ont été utilisées pour la réalisation des inventaires annuel et horaires. Les résultats de l'inventaire annuel et d'échéances d'inventaires horaires sont présentés et commentés avec des comparaisons avec les inventaires précédents sur la zone d'étude qui font partie des étapes de validation de l'inventaire.

## The establishment of the atmospheric emission inventories of the ESCOMPTE program

**S. François<sup>1</sup>, E. Grondin<sup>1</sup>, S. Fayet<sup>2</sup>, J.-L. Ponche<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Laboratoire de Physico-Chimie de l'Atmosphère (LPCA), Centre de Géochimie de la Surface, UMR 7517 CNRS- Université Louis Pasteur de Strasbourg, 1, rue Blessig, F-67083 Strasbourg Cedex, France. Fax : +33 390 240402, E-mail : ponche@illite.u-strasbg.fr

<sup>2</sup> AIRMARAIX – Réseau de surveillance et d'étude de la pollution atmosphérique de la région de Marseille, 67-69 Avenue du Prado, F-13286 Marseille cedex 6, France. Fax: +33 491 323829, E-mail : airmaraix@airmaraix.com

### **Abstract**

Within the frame of the ESCOMPTE program, a spatial emission inventory and an emission database aimed at tropospheric photochemistry inter-comparison modeling has been developed under the scientific supervision of the LPCA with the help of the regional coordination of Air Quality network AIRMARAIX. This inventory has been established for all categories of sources (stationary, mobile and biogenic sources) over a domain of 19,600 km<sup>2</sup> centered on the cities of Marseilles – Aix-en-Provence in the southeastern part of France with a spatial resolution of 1 km<sup>2</sup>. A yearly inventory for 1999 has been established, and hourly emission inventories for 23 days of June and July 2000 and 2001, corresponding to the intensive measurement periods, have been produced. The 104 chemical species in the inventory have been selected to be relevant with respect to photochemistry modeling according to available data. The entire list of species in the inventory numbers 216 which will allow other future applications of this database. This database is presently the most detailed and complete regional emission database in France. Also the database structure and the emission calculation modules have been designed to ensure a better sustainability and upgradeability, being provided with appropriate maintenance software. The general organization and method is summarized and the results obtained for both yearly and hourly emissions are detailed and discussed. Some

comparisons have been performed with the existing results in this region to ensure the congruency of the results. This leads to confirm the relevance and the consistency of the ESCOMPTE emission inventory.

**Keywords :** emission, inventory, anthropogenic, biogenic, Marseilles France, modeling.

### 1) Introduction

Since the nineties in Europe, in view of the development of the air quality modeling, many emission inventories have been established, some of them especially to fill the lack of accurate emission input for the air quality models. These air quality oriented inventories will cover areas as large as all Europe (GENEMIS, 1999; OECD, 1990) down to regional or local domains (Dommen et al., 2003; Ponche et al., 2000b; Ponche et al., 1995; 1998; Costa and Baldasano, 1996). They are used to perform reactive transport and concentrations modeling on different scales (continental to regional / local scales) to assess Air Quality studies and abatement strategies and management according to the European regulations on tropospheric ozone and other relevant pollutant concentrations (De Leeuw et al., 1990; Flassak et al., 1992; Moussiopoulos et al., 1995; Simmonds et al., 1996; Schneider et al., 1997; Metcalfe et al., 2002; Vinuesa et al., 2003). Moreover the quality of the results obtained by modeling the transport and chemical transformations of these pollutant emissions depends greatly on the accuracy of the emission scenarios used as input data. The present work takes place in the frame of the ESCOMPTE program (field experiment to CONstrain Models of atmospheric Pollution and Transport of Emissions) and concerns the Marseilles – Berre Pond region in the southeastern part of France. The main objective of the ESCOMPTE program is to create a relevant dataset of parameters concerning the dynamics, physics, meteorology and chemistry of the troposphere at a regional scale (especially performed during the measuring campaigns of the summer 2000 and 2001) in order to test and evaluate regional air quality models. A complete overview of the whole ESCOMPTE program has been given by Cros et al. (2004). To reach this goal, it was necessary to include in the ESCOMPTE database high resolution in space and time atmospheric emission inventories. The main difficulty was that this emission database was the first for this



region at these spatial and time resolutions and had to consider all major and minor primary pollutants which have an impact on the tropospheric photochemistry. In addition to the creation of this emission database, specific improvements have been performed on the method of elaboration of such inventories. Special care has been taken to ensure consistent emission calculation software modules especially to allow at low costs (1) the actualization of the inventories for future years, (2) the generation of all kind of emission scenarios and (3) the possibility to perform such emission inventories for all other regions of France. The purpose of these complementary studies is to provide the authorities operational tools to perform impact studies of abatement strategies and to assist policy makers of air quality management.

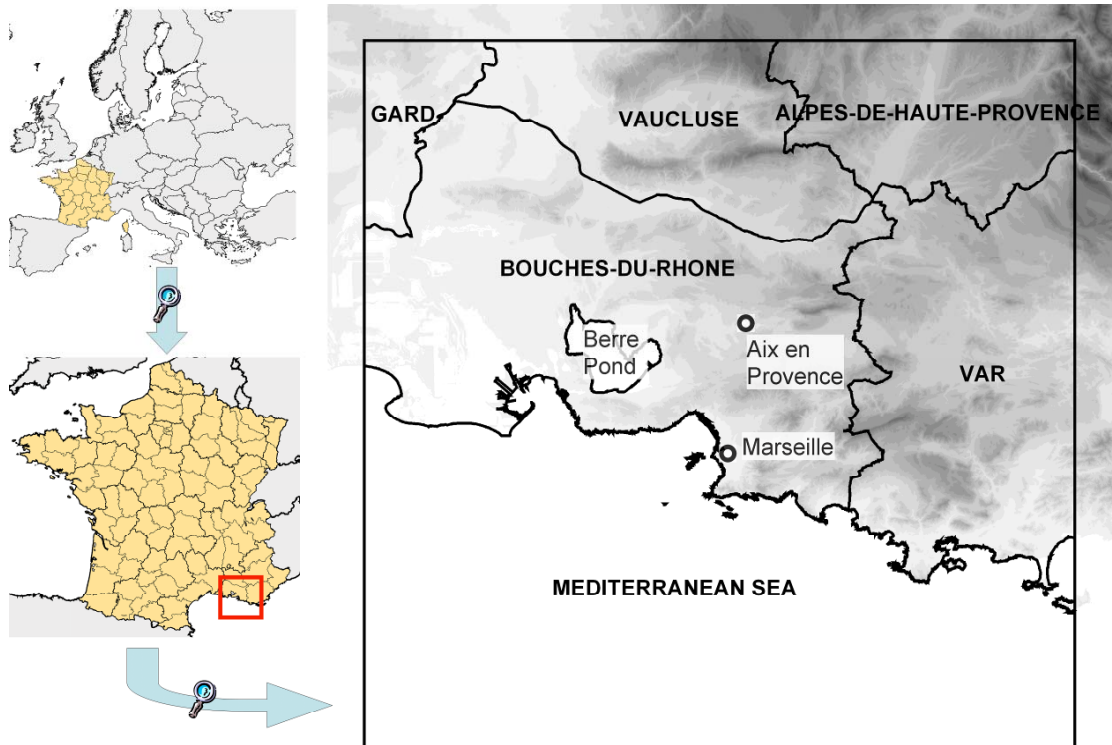
The “Laboratoire de Physico-chimie de l’Atmosphère” (LPCA) has been charged in collaboration with the regional Air Quality network AIRMARAIX to supervise and coordinate the establishment of the inventories and to finalize the emission database. In addition, the LPCA has contributed to the establishment of the biogenic / nature emission inventories. The purpose of this article is to describe and to report the elaboration of the ESCOMPTE emission inventories focusing on the method and the results obtained.

## **2) The ESCOMPTE emission inventory: specifications required and main characteristics**

### **2.1) Area of investigation and periods of interest**

One reason that makes the region of Marseilles – Berre Pond interesting for atmospheric photochemistry and air quality study is the existence of large and various emission sources: an important industrial area located around Berre Pond industry (Petrol refineries whose capacity is the greatest within France and an iron-steel factory), urban residential sources (1,35 M inhabitants in the agglomeration of Marseilles – Aix-en-Provence), heavy traffic and important biogenic and natural sources composed of both agricultural areas (mainly in the plains) and Mediterranean natural landscape (in the mountains). Another interesting point is the fact that the Berre Pond industrial area (surrounded by a large residential area) is geographically separated from Marseilles (15 km northwest of the urban area) by the Estaque hills (300 meters above sea level). These two areas release two specific chemical

composition emissions: the first comprised of by-products from industrial activities and the second coming from residences and traffic in the urban area of Marseilles. These emissions may or may not mix, depending on the meteorological situation (synoptic conditions), regional wind called the Mistral, and breeze phenomena (sea and land breezes, which can also be disturbed by the Berre Pond locally). The other participants of the program dealing with atmospheric chemistry modeling have defined the scope of the investigation. The daily extension of representative photochemical pollution episodes has been investigated with the help of models using the GENEMIS European emissions inventory (Taghavi et al., 2003) to check the most relevant domain extension and location for the program. Two domains have been defined: the data field experiments and modeling domain which covers an area of 120 km x 120 km and the emission inventories domain with the same center but which is slightly larger (140 km x 140 km) to allow a margin for the modeling domain (see figure 1). The inventory area has been completed to obtain a square domain by including sea surface (Mediterranean sea). The spatial resolution of the emission inventories has been chosen as 1 km<sup>2</sup> to allow the finest emission description according to the available data for all the source categories.

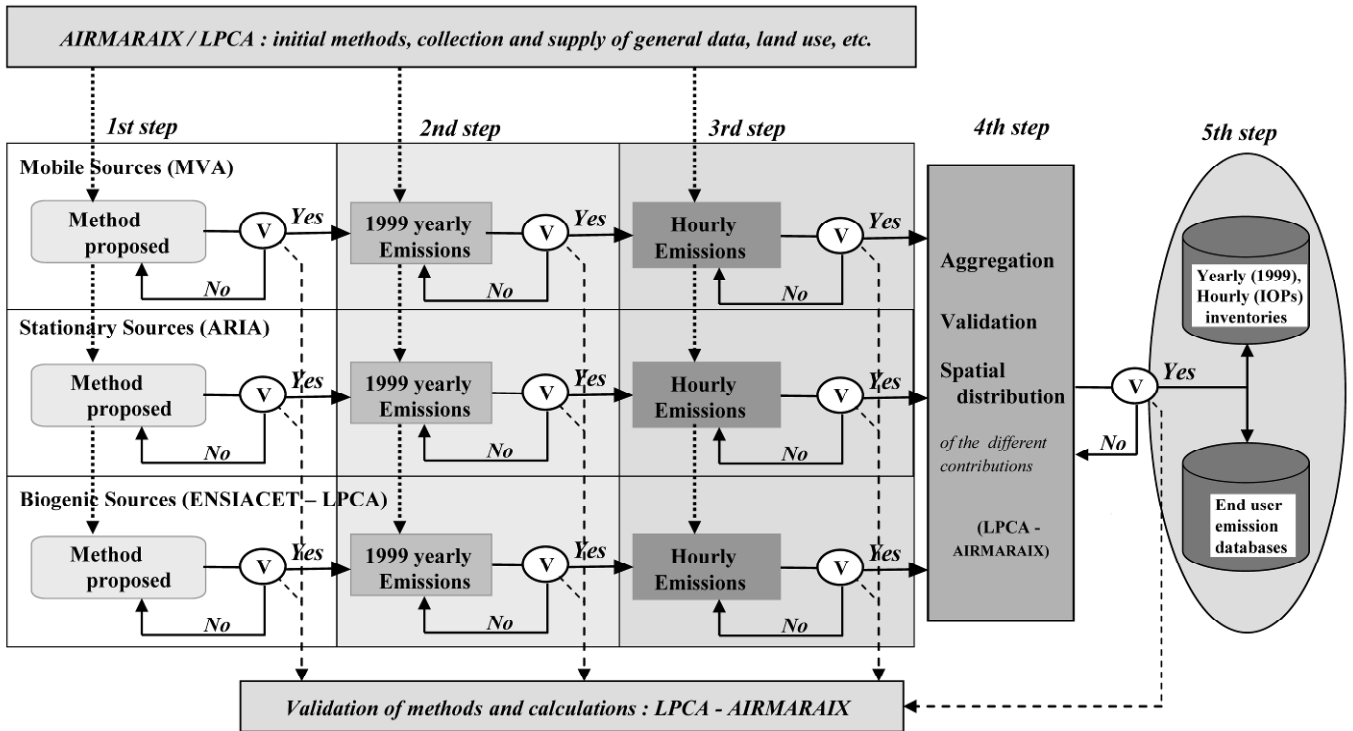


**Figure 1.** Area of the study (in the square box: the square kilometer resolution inventory limits: 140 km wide). The administrative limits are represented in black lines. The naming corresponds to the French “Départments”.

The whole emission database established for the inventory domain consists of two different datasets: yearly and hourly emissions. The yearly emission inventory concerns the reference year 1999 and exists to validate the calculation methods used for the different categories of emission sources and to check the calculation emission modules through comparison with some pre-existing yearly emission datasets for a similar domain (administrative region). The hourly emissions which represent the main database to be provided to the ESCOMPTE program, have been set up for all the Intensive Observation Periods (IOPs) during the summer pre-campaign of 2000 (28<sup>th</sup> of June - 1<sup>st</sup> of July) and the summer main campaign of 2001 (13<sup>th</sup> -15<sup>th</sup> of June, 20<sup>th</sup> - 26<sup>th</sup> of June, 1<sup>st</sup> - 4<sup>th</sup> of July, 9<sup>th</sup> - 13<sup>th</sup> of July). For each IOP, we have provided one or two days of emission inventory preceding the beginning of the period to allow the possible initialization of the tropospheric photochemical simulations.

## **2.2) Organization of the creation and establishment of the inventories**

In view of the difficulties in obtaining the ESCOMPTE high resolution emission database with the required specifications in the limited time of the program, the establishment of the inventories has been divided into different tasks (see figure 2). An emission thematic group has been created and coordinated by the LPCA. Three public and private organization subcontractors selected from a European call for bids were charged to calculate the emissions of the different source categories: (1) the stationary sources have been handled by ARIA Technologies (with the collaboration of the IER and TNO for the methodological aspects), (2) the mobile sources by The MVA Consultancy and (3) the ENSIACET/LPCA have estimated the biogenic and natural sources. AIRMARAIX has been charged to provide all data, because of their regional knowledge and their ability to obtain the most actualized regional and local data.



**Figure 2.** Organization of the establishment of the ESCOMPTE emission inventory.

The LPCA has also defined five steps in the unification of the inventories. The first three steps concern the emissions contributions, checking the methods used and the intermediate and final calculation results for both the yearly and the hourly emissions (ADEME: ESCOMPTE-Methodology, 2002). The two last steps are devoted to the aggregation of the three contributions in order to obtain a consistent spatial distribution and set up two final emission databases. The first, for end user modeling purposes (ESCOMPTE program), contains only the emissions values per chemical compounds and per 1 km<sup>2</sup> grid cell. The second database regroups all data used and links for all the emission calculation steps to allow actualization of the inventories and to generate emission scenarios for future air quality management. The LPCA/AIRMARAIX group has been charged (1) to propose the methods to be used and then to check the final methods used for each contribution, (2) to validate and to check the consistency of the results obtained and (3) to finalize these results into usable emission databases (steps 4 and 5). Moreover, the LPCA has participated in the calculation (especially for the software calculation coding) of the biogenic / natural sources contribution.

## 2.3) Specifications of the inventories

### 2.3.1) Emission source classifications

The ESCOMPTE inventories take into account all activities or sources resulting in atmospheric emissions to the extent that available data and emission factors can identify. The sources have been divided into four categories: (1) stationary combustion sources (including residential and service sectors) and industrial processes, (2) waste treatment and disposal, (3) mobiles sources (i.e. road, railway, air and fluvial/sea traffics), and (4) biogenic / natural sources (including agriculture, live stock, forests, maquis, fires, lightning, wetlands and sea). The emission sources have been classified with the nomenclatures of the European Environmental Agency. For the stationary, biogenic and natural sources, the Selected Nomenclature for Air Pollution – SNAP (EEA, 2002; CITEPA, 2003) has been used at the highest existing level (level 3, in which 252 different activities and processes have been considered in the ESCOMPTE inventory. For each category of traffic included in the mobile sources, the COPERT III (COPERT III, 2000) classification has been chosen because it appeared to be the most refined existing designation. For the biogenic sources and contribution from nature, the classification used takes into account all emission sources in this area (Mediterranean, mountainous, etc.) as far as specific emission factors exists. Other sources were considered by default using emission factors from CORINAIR (EEA, 2002). All combustion processes described in the SNAP (stationary installations processes) and in COPERT III (mobile sources) have been completed with the Nomenclature for Air Pollution of Fuels NAPFUE (EEA, 2002; CITEPA, 2003) to identify in these combustion activities the use of the different fuels. Table 1 gives an overview of the main inventory specifications and a brief summary of the source categories considered.

General specifications	
Extension of the domain	140 x 140 km <sup>2</sup>
UTM coordinates (north west corner) (UTM, European Datum 1950, Zone 31N)	X(latitude) = 622,000 (in meters) Y(longitude)= 4,877,000 (in meters)
Spatial resolution (grid cell size) and reference year	1 x 1 km <sup>2</sup> - 1999
Time resolution	Year for 1999 Hour for the 23 days of the IOPs 2000 and 2001 : 28-30 Ju 2000 and 1 <sup>st</sup> Jul 2000 ; 13-15 Ju 2001; 20-26 Ju 2001; 1-4 Jul 2001; 9-13 Jul 2001.
Memory required (storage)	Approx. 200 Gbytes
Complete datasets :	Yearly inventory : 1
Input databases for modeling applications	Hourly periods : 24 per day for 23 selected IOP days

Database format	Microsoft-Access 2000 and ESRI Arcview 8.2
Chemical species and group of species	172 split into 3 categories (CAT 1-3) and 5 priorities (see Table 2)
<b>Source classification used in the inventories ( existing emission sources and available data)</b>	
<b>Stationary anthropogenic sources : SNAP</b>	
<b>SNAP level 1 and corresponding activities</b>	<b>SNAP level 2 and corresponding activities</b>
SNAP01: Combustion in energy and transformation industries	0101: Public power 0102: District heating plants 0103: Petroleum refining plants 0104 : Solid fuel transformation plants 0105: Coal mining, oil / gas extraction, pipeline compressors
SNAP02: Non-industrial combustion plants	0201: Commercial and institutional plants 0202: Residential plants 0203: Plants in agriculture, forestry and aquaculture
SNAP03: Combustion in manufacturing industry	0301: Comb. in boilers, gas turbines and stationary engines 0302: Process furnaces without contact 0303: Processes with contact
SNAP04: Production processes	0401: Processes in petroleum industries 0402: Processes in iron and steel industries and collieries 0403: Processes in non-ferrous metal industries 0404: Processes in inorganic chemical industries 0405: Process in organic chemical industry (bulk production) 0406: Processes in wood, paper pulp, food, drink and other industries
SNAP05: Extraction and distribution of fossil fuels and geothermal energy.	0501: Extraction and 1st treatment of solid fossil fuels 0503: Extraction, 1st treatment and loading of gaseous fossil fuels 0504: Liquid fuel distribution (except gasoline distribution) 0505: Gasoline distribution
SNAP06: Solvent and other product use	0601: Paint application 0602: Degreasing, dry cleaning and electronics 0603: Chemical products manufacturing or processing 0604: Other use of solvents and related activities
SNAP09: Waste treatment and disposal	0902: Waste incineration 0904: Solid Waste Disposal on Land 0909: Cremation 0910: Other waste treatment
<b>Mobile Sources : corresponding SNAP with COPERT III Classification</b>	
<b>SNAP level 1 and corresponding activities</b>	<b>SNAP level 2 and corresponding activities</b>
SNAP07: Road transport	0701: Passenger cars 0702: Light duty vehicles < 3.5 t 0703: Heavy duty vehicles > 3.5 t and buses 0704: Mopeds and Motorcycles < 50 cm3 0705: Motorcycles > 50 cm3 0706: Gasoline evaporation from vehicles
SNAP08: Other mobile sources and machinery	0801: Military 0802: Railways 0803: Inland waterways 0804: Maritime activities 0805: Air traffic 0806: Agriculture 0807: Forestry
<b>Biogenic and sources from nature: corresponding SNAP with emission calculation methodology used</b>	
<b>SNAP level 1 and corresponding activities</b>	<b>SNAP level 2 and corresponding activities</b>
SNAP10: Agriculture	1001: Cultures with fertilizers 1004: Enteric fermentation
SNAP11: Other sources and sinks	1101: Non-managed broadleaf forests 1102: Non-managed coniferous forests 1103: Forest and other vegetation fires 1104: Natural grassland and other vegetation 1105: Wetlands (marshes - swamps) 1106: Waters 1107: Animals 1110: Lightning

Table 1. Specifications of the emission inventories and classifications of the emitted activities existing in the ESCOMPTE domain in the SNAP97 version 1.0 (1998).

### **2.3.2) Chemical compounds of the inventory**

The procedure to establish the final list of chemical compounds is the result of several investigations. A preliminary list of 81 compounds, required by the chemical mechanisms included in the different models used in the ESCOMPTE program, has been augmented with all compounds for which information was available, leading to 216 different chemical species (Ponche et al., 2000a). Then, in the second and third steps (collection and aggregation of the emission contributions of each subcontractor, performed by LPCA / AIRMARAIX to obtain the final database), the emission calculations and the results were checked and classified into four categories of species. This split has taken into account both the quality and the consistency of the resulting emissions:

1) Chemical species for which all existing or suspected contributions of relevant sources allow to consider the emissions as exhaustive. The generic species (NO<sub>x</sub> for example) does not belong to this category because of possible double counting with detailed species (NO and NO<sub>2</sub> in this example). This category regroups 98 species and is identified as CAT 1.

2) Chemical species without any emissions for all source contributions. It concerns 44 compounds which have been removed from the final list.

3) Chemical species for which the emissions are considered as non-exhaustive. There exist emissions for some contributions but not all emission calculations were possible due to lack of data. These species have been kept in the list and databases but if necessary they have to be used with special care. This category, CAT 2, contains 54 species.

4) Generic chemical species whose emissions have been calculated for one to all contributions but for which the balance with the detailed species emissions has been performed and allows then to be considered exhaustive (for example, the sum of NO and NO<sub>2</sub> must correspond to the value of NO<sub>x</sub>). This category, labeled CAT 3, includes 20 compounds.

The final list (CAT 1 to CAT 3) contains 172 chemical compounds. If only the exhaustive emissions (CAT 1 and CAT 3) directly relevant to photochemistry

modeling in the ESCOMPTE program of that list are concerned, we obtain the 104 detailed and generic species given in Table 2.



Chapitre 3: Travaux et résultats obtenus dans le cadre du programme ESCOMPTE

NAME	CAT	SNAP01 kg.y-1	SNAP02 kg.y-1	SNAP03 kg.y-1	SNAP04 kg.y-1	SNAP05 kg.y-1	SNAP06 kg.y-1	SNAP07 kg.y-1	SNAP08 kg.y-1	SNAP09 kg.y-1	SNAP10-11 kg.y-1	Total kg.y-1
chlorhydric acid HCl	1	3 000	0	17 200	82 185	0	34	0	0	725 998	0	828 416
fluorhydric acid HF <sup>(1)</sup>	1	0	0	770	114	0	216	0	0	2 500	0	3 600
sulfuric acid H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1	0	126	24	10 901	0	0	0	0	0	0	11 050
methanoïc acid	1	0	0	0	0	0	24 903	0	0	0	0	24 903
sulfur dioxide SO <sub>2</sub>	1	57 548 018	8 520 097	21 721 973	25 453 958	0	0	1 296 090	7 441 445	5 902 517	0	127 884 097
dimethylsulfate DMS	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	193 265 822	193 265 822
nitrogen monoxide NO	1	11 374 496	3 871 584	10 476 565	4 252 863	0	0	33 020 610	7 048 116	1 265 221	3 481 441	74 790 894
nitrogen dioxide NO <sub>2</sub>	1	1 263 833	430 176	1 164 063	472 540	0	0	8 255 152	1 762 029	140 580	0	13 488 373
NOx (sum of NO and NO <sub>2</sub> )	3	12 638 329	4 301 760	11 640 627	4 725 403	0	0	41 275 761	8 810 145	1 405 802	5 337 745	90 135 571
nitrous oxide N <sub>2</sub> O	1	140 073	700	13 120	4 000	0	0	530 617	47 785	26 000	1 701	763 995
NH <sub>3</sub> ammoniac	1	0	0	0	1 500	0	0	453 935	273	26 925	7 723	490 357
carbon monoxide CO	1	1 577 179	90 398 964	221 379 281	43 895 538	0	0	71 607 321	13 370 344	255 477	0	442 484 104
	1	8 394 905	5 483 283	7 152 900			5 986 121					28 850 563
carbon dioxide CO <sub>2</sub>		119	229	686	417 951 092	0	0	856	772 979 755	642 421 919	0	656
methane CH <sub>4</sub>	1	167 282	7 248 276	5 084 486	137 273	485	0	821 380	7 135	17 603	12 128	13 496 049
ethane	1	56 746	841 226	418 775	44 414	0	281	116 355	958	225 512	639	1 704 907
propane	1	225 860	127 937	69 451	165 310	6 012	167 633	45 880	3 194	225 512	347	1 037 136
n-butane	1	224 691	61 180	291 977	501 643	1 955 065	563 739	447 872	4 791	1 368	189	4 052 514
iso-butane	1	56 615	8 983	20 039	238 946	1 024 910	0	206 087	4 471	342	44	1 560 438
butanes (iso-butane + n-butane)	3	281 306	70 163	312 016	740 589	2 979 975	563 739	653 959	9 262	1 710	233	5 612 952
n-pentane	1	56 545	0	10 781	308 203	705 835	254 040	289 686	1 916	1 022	0	1 628 029
iso-pentane	1	225 984	252 839	139 151	358 704	993 003	69 438	652 086	0	1 026	0	2 692 230
pentanes (n-pentane+iso-pentane)	3	282 528	252 839	149 932	666 907	1 698 837	323 478	941 772	1 916	2 052	0	4 320 263
n-hexane	1	134 028	17 086	131 086	125 227	197 247	6 957	288 661	0	2 837	0	903 130
hexanes	3	134 028	17 086	131 086	127 704	197 247	6 957	288 662	0	2 822	0	905 592
2,2-dimethylbutane (neohexane)	1	19	0	901	11 336	58 981	0	0	0	684	0	71 920
2,3-dimethylbutane (diisopropyl)	1	23	0	1 108	13 937	72 517	0	0	0	684	0	88 269
2-methylpentane	1	93	0	4 505	56 679	294 903	0	0	0	0	0	356 180
3-methylpentane	1	62	0	2 998	37 724	196 280	0	0	0	2 138	0	239 202
heptane	1	56 660	1 192	7 209	55 419	68 650	1 461	51 896	9 581	0	0	252 067
2-methylhexane	1	28	0	1 374	17 282	89 921	0	68 300	20 121	0	0	197 026
3-methylhexane	1	29	0	1 388	17 599	90 888	492	46 286	11 178	0	0	167 861
n-octane	1	8	0	399	5 409	26 106	19 982	37 149	0	0	0	89 053
iso-octane	1	848	0	9 689	7 619	39 643	0	0	0	35 182	0	92 982
octanes	3	856	3 885	10 088	13 028	65 749	19 982	38 143	0	35 182	0	186 914
2-methylheptane	1	0	0	0	0	0	0	7 951	6 707	0	0	14 658
3-methylheptane	1	0	0	0	783	0	2 946	32 114	8 623	0	0	44 466
heptane + octane	3	57 517	5 077	17 297	68 447	134 399	4 406	90 039	9 581	35 182	0	421 945
nonane	1	0	0	0	71 255	0	266 385	10 346	0	0	0	347 985
decane	1	0	0	0	123 444	0	461 458	52 350	57 169	0	0	694 421
C8 < alcanes < C13	3	0	0	0	194 699	0	1 817 456	44 569	59 483	0	0	2 116 208
alcanes > C12	1	0	0	0	10 011	0	37 298	666 346	983 365	0	0	1 697 021
cycloalcanes	3	0	0	0	268 565	0	980 027	80 837	37 048	19 926	0	1 386 402
ethene	1	11 278	2 518 697	1 229 185	81 906	0	0	749 937	253 783	0	1 407	4 846 192

Chapitre 3: Travaux et résultats obtenus dans le cadre du programme ESCOMPTE

NAME	CAT	SNAP01 kg.y-1	SNAP02 kg.y-1	SNAP03 kg.y-1	SNAP04 kg.y-1	SNAP05 kg.y-1	SNAP06 kg.y-1	SNAP07 kg.y-1	SNAP08 kg.y-1	SNAP09 kg.y-1	SNAP10-11 kg.y-1	Total kg.y-1
trichloroethylene	1	0	0	0	0	0	31 144	0	0	0	0	31 144
tetrachloroethylene	1	0	0	0	0	0	145 153	0	0	0	0	145 153
propene	1	11 278	503 739	245 837	22 966	0	0	354 277	51 031	0	1 029	1 190 156
propadiene	1	0	0	0	0	0	0	298	0	0	0	298
1-butene	1	181	628	5 012	28 061	146 001	0	42 783	0	342	843	223 851
2-butene	1	79	0	3 810	47 945	249 459	0	105 727	0	1 026	0	408 047
isobutene	1	0	0	0	0	0	0	287 861	54 294	0	0	342 155
butenes	3	260	42 566	29 596	76 005	333 682	0	445 874	57 766	1 367	843	987 960
1,3 butadiene	1	0	0	0	47 000	0	0	146 734	108 481	342	0	302 557
1-pentene	1	15	0	738	9 292	48 345	0	26 224	0	86	0	84 700
2-pentene	3	73	834	3 515	44 228	230 121	0	45 837	0	86	0	324 694
2-methyl-2-butene	1	41	0	1 964	24 716	128 597	0	0	0	342	0	155 660
isoprene	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20 614 853	20 614 853
1-hexene	1	620	2 884	15 713	0	0	0	1 126	0	0	0	20 343
1,3 hexene	1	0	0	0	0	0	0	15 268	0	0	0	15 268
dimethylhexene	1	0	0	0	0	0	0	894	0	0	0	894
total terpenes	3	0	0	0	0	0	160 120	0	0	0	38 907 387	39 067 507
acetylene	1	0	839 566	409 728	56 586	0	0	368 378	40 672	0	18	1 714 948
propine	1	0	42 566	20 773	0	0	0	43 421	0	0	0	106 760
1-butine	1	0	0	0	0	0	0	4 077	0	0	0	4 077
benzene	1	22 577	1 259 349	616 069	282 944	96 690	5	454 194	5 708	2 480	0	2 740 015
toluene	1	34 916	424 248	235 147	321 388	553 065	639 396	823 056	319	9 493	0	3 041 027
ethylbenzene	1	7 590	51 504	70 576	32 928	129 564	15 367	286 233	0	7 013	0	600 775
styrene	1	0	0	0	58 000	0	671 166	50 803	17 885	86	0	797 939
propylbenzene	1	13	0	606	29 165	39 643	199 945	0	0	0	0	269 371
isopropylbenzene	1	4	0	177	2 230	11 603	0	0	0	0	0	14 014
mono subst. Alkylbenzene <sup>(2)</sup>	1	0	0	0	6 834	0	35 124	0	0	0	0	41 958
m,p-xylene	3	21 483	134 181	223 783	89 598	367 421	683 275	441 549	31 299	7 697	0	2 000 284
o-xylene	1	9 370	68 420	68 989	44 819	155 670	364 937	277 598	12 775	2 480	0	1 005 060
2-ethyltoluene	1	11	0	546	6 876	35 775	0	0	0	0	0	43 209
3-ethyltoluene	1	20	0	960	36 150	62 848	223 098	0	0	0	0	323 075
4-ethyltoluene	1	20	0	960	22 090	62 848	92 650	0	0	0	0	178 569
1,2,3-trimethylbenzene	1	9	0	458	26 262	29 974	190 141	46 210	9 581	0	0	302 636
1,2,4-trimethylbenzene	1	50	0	2 393	77 419	156 637	438 795	189 241	27 467	0	0	892 002
1,3,5-trimethylbenzene	1	12	0	576	30 099	37 709	212 138	81 054	14 372	0	0	375 960
aromatics C9	1	0	0	0	0	0	0	226 820	37 367	0	0	264 187
1,3-diethylbenzene	1	0	0	0	6 573	0	33 737	0	0	103	0	40 412
1-methyl 3-propylbenzene	1	0	0	0	23 548	0	120 937	0	0	0	0	144 485
naphtalene	1	0	0	0	0	0	4 727	11 279	0	0	0	16 005
aromatics C10	1	0	0	0	0	0	0	18 299	0	0	0	18 299
Indane (C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> C <sub>3</sub> H <sub>3</sub> )	1	0	0	0	6 050	0	56 076	0	0	0	0	62 126
total monocyclic aromatic hydroc.	3											
MAH		96 074	1 937 701	1 221 240	1 108 176	1 739 447	2 612 826	2 889 969	156 774	29 307	0	11 791 515
aromatics C>13	1	0	0	0	0	0	0	801 088	650 573	0	0	1 451 661

NAME	CAT	SNAP01 kg.y-1	SNAP02 kg.y-1	SNAP03 kg.y-1	SNAP04 kg.y-1	SNAP05 kg.y-1	SNAP06 kg.y-1	SNAP07 kg.y-1	SNAP08 kg.y-1	SNAP09 kg.y-1	SNAP10-11 kg.y-1	Total kg.y-1
total polycyclic aromatic hydroc. PAH	3	99	2 815	105	10 835	0	4 727	15 220	0	5	0	33 806
total NMVOC <sup>(3)</sup>	3	1 612 096	8 844 880	5 871 324	11 483 683	9 668 466	23 702 412	10 062 769	3 365 458	837 582	72 774 992	148 223 663
methanol	1	0	0	0	663 923	4 779	62 687	0	0	4 190	0	735 580
ethanol	1	0	0	0	192 815	0	2 329 088	0	0	16 505	0	2 538 409
formaldehyde	1	239 463	523 991	2 428 807	0	0	3 276	369 126	295 476	150 171	0	4 010 310
acetaldehyde	1	0	83 957	40 973	0	0	0	167 889	154 250	0	0	447 068
total aldehydes	3	239 463	607 947	2 469 780	1 027	0	3 276	930 620	823 377	150 171	0	5 225 660
acetone	1	121 196	179 574	577 351	465 744	0	419 245	41 720	5 594	86	0	1 810 510
methyl-ethyl-ketone	1	0	0	0	31 122	0	205 588	17 275	0	684	0	254 669
total ketones	3	121 196	179 574	577 351	496 866	0	796 247	58 995	5 594	770	0	2 236 592
total ethers	3	0	335 826	163 891	108 965	0	526 462	0	0	4 875	0	1 140 020
total esters	1	0	0	0	412 385	0	1 681 517	0	0	21 119	0	2 115 021
total halogenated VOCs	1	0	0	0	217 098	0	382 896	0	0	16 847	0	616 842
total unsat. halog. VOCs	1	0	0	0	40 369	0	0	0	0	6 072	0	46 441
others NMVOCs non listed prev.	1	366	0	17 649	960 244	666 532	0	27 119	0	6 328	13 252 468	14 930 705
total particles	3	2 902 124	11 089 985	3 186 044	10 762 318	27	0	2 707 198	420 594	717 466	0	31 785 757
diesel soots	1	0	0	0	0	0	0	2 707 198	420 594	0	0	3 127 793

Table 2. Yearly emissions for all the detailed chemical species of CAT1 and CAT3 (104 species).

Chapitre 3: Travaux et résultats obtenus dans le cadre du programme ESCOMPTE

	Yearly emissions (1999)												Daily emissions (25th June 2001)											
	NOx		NMVOC		Arom.		SO2		CO		CO2		NOx		NMVOC		Arom.		SO2		CO		CO2	
	Gg. y-1	%	Gg. y-1	%	Gg. y-1	%	Gg. y-1	%	Gg. y-1	%	Gg. y-1	%	t. d-1	%	t. d-1	%	t. d-1	%	t. d-1	%	t. d-1	%	t. d-1	%
<b>Road transports (SNAP07)</b>	<b>41.28</b>	<b>45.5</b>	<b>10.06</b>	<b>6.8</b>	<b>2.91</b>	<b>24.6</b>	<b>1.30</b>	<b>1.0</b>	<b>71.61</b>	<b>16.2</b>	<b>5 986.12</b>	<b>20.6</b>	<b>186.33</b>	<b>49.0</b>	<b>53.93</b>	<b>4.3</b>	<b>10.70</b>	<b>26.5</b>	<b>6.00</b>	<b>2.1</b>	<b>253.90</b>	<b>20.8</b>	<b>27 257.88</b>	<b>32.7</b>
<i>Passenger cars (SNAP0701)</i>	17.66		5.31		2.14		0.50		51.88		2 814.75		43.44		18.08		6.80		1.99		174.75		11 349.74	
<i>Light duty vehicles (SNAP0702)</i>	5.78		0.67		0.13		0.28		7.77		1 151.66		20.88		2.48		0.52		0.92		20.56		3 768.72	
<i>Heavy duty vehicles (SNAP0703)</i>	17.77		1.58		0.08		0.51		3.56		1 989.68		120.53		23.10		1.11		3.03		32.39		11 896.98	
<i>Motorcycles (SNAP0704 and SNAP0705)</i>	0.07		1.48		0.53		0		8.39		30.03		1.48		5.99		2.17		0.05		26.20		242.43	
<i>Gasoline evaporation from vehicles (SNAP0706)</i>	0		1.02		0.03		0		0		0		0		4.27		0.11		0		0		0	
<b>Other mobile sources and machinery (SNAP08)</b>	<b>9.43</b>	<b>10.4</b>	<b>3.39</b>	<b>2.3</b>	<b>0.16</b>	<b>1.3</b>	<b>7.49</b>	<b>5.9</b>	<b>13.60</b>	<b>3.1</b>	<b>923.48</b>	<b>3.2</b>	<b>80.64</b>	<b>21.2</b>	<b>34.05</b>	<b>2.7</b>	<b>1.62</b>	<b>4.0</b>	<b>1.01</b>	<b>0.4</b>	<b>140.92</b>	<b>11.6</b>	<b>7 182.77</b>	<b>8.6</b>
<i>Maritimes activities (SNAP0804)</i>	6.34		2.90		0.14		7.28		12.23		582.35		71.02		32.45		1.56		0.41		137.08		6 527.70	
<i>Inland waterways (SNAP0803)</i>	0.18		0.02		0		0.01		0.04		7.74		3.39		0.32		0.02		0.18		0.71		143.56	
<i>Railways (SNAP0802)</i>	0.07		0.01		0		0		0		5.34		0.18		0.02		0		0		0		14.20	
<i>Air traffic (LTO) (SNAP0805)</i>	0.80		0.20		0		0.07		0.71		210.48		0.53		0.52		0.01		0.06		1.45		180.11	
<i>Agriculture machinery (SNAP0806)</i>	1.16		0.19		0.01		0.09		0.42		67.27		3.18		0.52		0.03		0.23		1.16		184.29	
<i>Forestry machinery (SNAP0807)</i>	0.62		0.07		0		0.05		0.16		35.45		1.71		0.20		0.01		0.12		0.45		97.13	
<b>Residential/Service sectors (SNAP02)</b>	<b>4.30</b>	<b>4.7</b>	<b>8.85</b>	<b>6.0</b>	<b>1.94</b>	<b>16.4</b>	<b>8.52</b>	<b>6.7</b>	<b>90.40</b>	<b>20.4</b>	<b>5 483.28</b>	<b>18.9</b>	<b>7.07</b>	<b>1.9</b>	<b>15.44</b>	<b>1.2</b>	<b>3.41</b>	<b>8.4</b>	<b>13.91</b>	<b>5.0</b>	<b>156.98</b>	<b>12.9</b>	<b>9 077.13</b>	<b>10.9</b>
<i>Commercial and institutional plants (SNAP0201)</i>	0.87		0.18		0.01		1.91		2.60		1 047.99		0.05		0.03		0		0.09		0.82		29.94	
<i>Residential plants (SNAP0202)</i>	3.38		8.65		1.92		6.58		87.53		4 384.41		7.02		15.41		3.41		13.82		156.16		9 047.19	
<i>Plants in agriculture and forestry (SNAP0203)</i>	0.05		0.01		0.01		0.03		0.27		50.89													
<b>Industry and waste treatment (SNAP03,06,09 and SNAP0402-0406)</b>	<b>15.24</b>	<b>16.8</b>	<b>39.20</b>	<b>26.4</b>	<b>4.70</b>	<b>39.8</b>	<b>33.74</b>	<b>26.4</b>	<b>265.53</b>	<b>60.0</b>	<b>8 213.27</b>	<b>28.3</b>	<b>40.87</b>	<b>10.7</b>	<b>136.56</b>	<b>10.8</b>	<b>20.63</b>	<b>51.0</b>	<b>79.17</b>	<b>28.3</b>	<b>664.27</b>	<b>54.5</b>	<b>21 103.30</b>	<b>25.3</b>
<i>Iron and steel industries (SNAP0402)</i>	1.19		0.18		0.01		5.47		33.15		333.22		2.99	*1	0.02	*1	0	*1	17.09	*1	95.43	*1	1 027.51	*1
<i>Chemical industries (SNAP0404 and SNAP0405)</i>	0.90		8.61		0.81		0.01		0		76.00		1.71	*2	22.20	*2	1.29	*2	0.02	*2	0	*2	223.41	*2
<i>Others industries (SNAP0403 and SNAP0406)</i>	0.10		0		0.01		0.64		10.75		8.73		0.02	*3	1.31	*3	0	*3	0	*3	11.98	*3	22.33	*3
<i>Solvent use (SNAP06)</i>	0		23.70		2.62		0		0		0		0		100.95		17.16		0		0		0	
<i>Waste treatment (SNAP09)</i>	1.41		0.84		0.03		5.90		0.26		642.42		7.04		0.50		0.02		9.60		0.20		246.97	
<i>Combustion in manufacturing industry (SNAP03)</i>	11.64		5.87		1.22		21.72		221.38		7 152.90		28.39		11.35		2.13		50.33		536.91		19 583.08	
<b>Production and distribution of enegy (SNAP0401 and SNAP05)</b>	<b>15.17</b>	<b>16.7</b>	<b>13.98</b>	<b>9.4</b>	<b>2.12</b>	<b>18.0</b>	<b>76.89</b>	<b>60.1</b>	<b>1.58</b>	<b>0.4</b>	<b>8 394.91</b>	<b>28.9</b>	<b>38.10</b>	<b>10.0</b>	<b>29.45</b>	<b>2.3</b>	<b>4.07</b>	<b>10.1</b>	<b>179.58</b>	<b>64.2</b>	<b>3.29</b>	<b>0.3</b>	<b>18 630.79</b>	<b>22.4</b>
<i>Public power (SNAP0101)</i>	6.57		0.10		0.01		22.86		0.74		3 822.90		11.86		0.14		0.01		21.74		1.05		5 491.05	
<i>District heating plants (SNAP0102)</i>	0.10		0		0		0.39		0.03		117.91		0.16		0.01		0.01		1.01		0.07		333.21	
<i>Petroleum refining plants (SNAP0103)</i>	4.42		1.49		0.08		32.55		0.73		2 972.73		14.37		5.10		0.27		87.91		1.93		7 929.92	
<i>Solid fuel transformation plants (SNAP0104)</i>	1.55		0.01		0		1.76		0.08		1 468.44		4.37		0.04		0		4.57		0.22		4 088.35	
<i>Petroleum industries (SNAP0401 and SNAP05)</i>	2.53		12.37		2.03		19.34		0		0		7.31		24.15		3.79		64.35		0		752.76	
<b>Agriculture, forestry and nature (SNAP10-11)</b>	<b>5.34</b>	<b>5.9</b>	<b>72.77</b>	<b>49.1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>27.57</b>	<b>7.2</b>	<b>998.70</b>	<b>78.8</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<i>Brodleaf forests (SNAP1101)</i>	0		35.91		0		0		0		0		0		625.86		0		0		0		0	
<i>Coniferous forests (SNAP1102)</i>	0		4.40		0		0		0		0		0		57.61		0		0		0		0	
<i>Mediterranean shrub (SNAP1104)</i>	0		25.65		0		0		0		0		0		251.79		0		0		0		0	
<i>Crop lands (SNAP1001)</i>	0		6.81		0		0		0		0		0		46.45		0		0		0		0	
<i>Animals (SNAP1107)</i>	0.13		0		0		0		0		0		27.57		17.00		0		0		0		0	
<i>Others biogenic sources (soils, sea, etc...)</i>	5.21		0		0		0		0		0													
<b>TOTAL</b>	<b>90.75</b>	<b>100</b>	<b>148.25</b>	<b>100</b>	<b>11.82</b>	<b>100</b>	<b>127.93</b>	<b>100</b>	<b>442.72</b>	<b>100</b>	<b>29 001.06</b>	<b>100</b>	<b>380.58</b>	<b>100</b>	<b>1 268.12</b>	<b>100</b>	<b>40.43</b>	<b>100</b>	<b>279.67</b>	<b>100</b>	<b>1 219.36</b>	<b>100</b>	<b>83 251.87</b>	<b>100</b>

\* Only LPS emissions are taken into account

1 LPS emissions of NOX represente 87%, NMVOC 69%, Aroms. 47%, SO2 98%, CO 98% and CO2 100% of the total SNAP0402 activities

2 LPS emissions of NOX represente 100%, NMVOC 99%, Aroms.100%, SO2 100% and CO2 100% of the total SNAP0404 and SNAP0405 activities

3 LPS emissions of NOX represente 6%, Aroms. 0%, SO2 0%, CO 44% and CO2 100% of the total SNAP0403 and SNAP0406 activities

Table 3. Yearly emissions (1999) and hourly emissions for a representative day (25<sup>th</sup> June 2001) of the IOP periods for the entire ESCOMPTE domain and per activity sector.

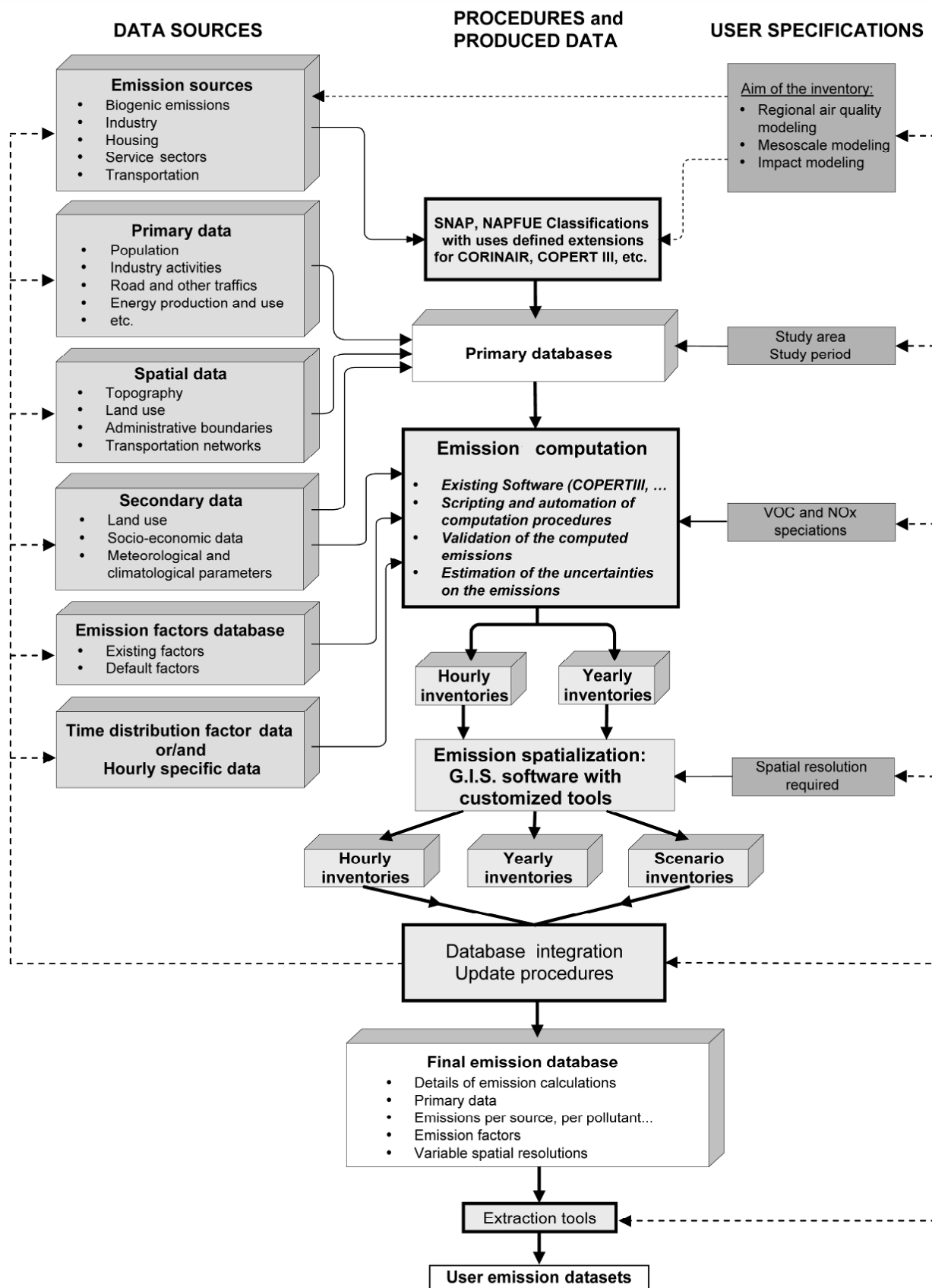
### 3) General methodology

The general method that will be applied for the ESCOMPTE inventories is briefly summarized in figure 3 which describes the scheme of the overall settlement of the emission inventory. This method has already been described (François et al., 2000) and has been improved from several previous studies on emission inventories e.g. REKLIP (Ponche *et al.*, 2000), INTERREG I (Ponche et al, 1995), INTERREG II and PRIMEQUAL (Ponche *et al*, 1998). There exist two types of approaches to calculate or estimate emissions, as described in the EEA guidebooks for emission inventories (EEA, 2002) : (1) the top-down approach is based on general data description levels and needs in a second step the split into more detailed information (activities, spatial or time distributions) to reach the required resolutions of the inventory, while (2) the bottom-up approach uses the finest description data level available and the second step is a aggregation process of this information to obtain the required specifications of the inventory. In our case study, as in many previous ones mentioned above, a combination of both approaches has been used but the bottom-up approach is preferred to consider the highest degree of relevant local available information.

However, it is relevant to explain some points of this whole methodology.

The emissions have been obtained and/or evaluated from three types of data depending mainly on their availability. This leads to three types of emission evaluations which can be summarized from the most to the least accurate as:

- Measured emission data: the largest industrial and public emitters (such as refineries, power or processing plants, etc.) are under survey and the air quality regulations include the monitoring and the reporting of some emissions (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NMVOC, etc.) to the authorities.
- Direct computation: this is the usual way of calculation emissions. An emission is expressed as the product of this source activity indicator of the activity with the corresponding emission factor (Emission = Activity x Emission Factor). The scope used in that approach can vary from very broad (national level) to narrow (very local levels).
- Emissions of compounds issued from the use of chemical speciation: in that case, the pollutants are estimated as a fraction of generic species and can be calculated directly by knowing the generic species emissions.



**Figure 3.** Schematic diagram of the overall method used in the emission inventories. The representation of the flows of data (filled arrows) and parameters (dashed arrows) are not completely exhaustive to ensure better readability.

These emission calculations for given a species need to be carefully checked when estimated either through speciation or by direct calculation for different SNAP activities. A brief summary of the methods used for each source category is given below. Further details can be found in the corresponding ESCOMPTE emission ARIA, MVA and ENSIACET reports.

### **3.1) Stationary sources (ARIA, 2001)**

The method used by ARIA Technologies for the stationary sources is similar to that of CORINAIR Atmospheric Emission Inventory Guidebook (CORINAIR, 2002). Most of the work for the evaluation of stationary sources consists of treating the statistical activity data to allow their use as input for emissions models. The stationary source includes the LPS (Large Point Source) and surface sources. The information about the LPS (whose emissions represent the major part of this category) is generally issued directly and needs special attention, especially concerning the energy balance and the fuel consumption, to avoid double counts. For the allocation of the emissions, a combined use of several data sources has been made, including:

- the global directory of enterprises and companies (SIRENE directory issued from the French National Institute for Statistics and Economic Studies (INSEE),
- the global population and activity census from 1999 (from the INSEE),
- the land use data from the Regional Center for Geographical Information (CRIGE) of the Provence – Alpes – Côte d’Azur (PACA) region database (CRIGE, 1999) which is compatible with the CORINE Land Cover classification.

### **3.2. Mobile sources (MVA, 2001)**

The method used by the MVA Consultancy for the mobile sources is the COPERT III method (Samaras, 2000). The definition of the road network is based on the “BdCarto” and “Géoroute” databases from INSEE which are the most detailed databases available. These databases were derived into two parts to establish the road traffic model:

- The discrete part of the network which consists of linear entities representing the highways and main roads (where traffic is significant)
- The continuous part of the network which represents the high density of urban small streets for which the setting up of an actual traffic model cannot be achieved, both by lack of data (vehicle counting) and high computing time requirements. This part of the traffic has been considered as surface sources.

The definition of the vehicle fleet is based on the national fleet assumptions and yearly actualization from the French National Institute for Transport and Safety Research (INRETS) (André, 1999; Hivert 2000), the reliability of a regional fleet composition (static fleet) being highly questionable with the large mixture of local and through traffic in the study area.

For the off-road, fluvial, marine traffic and agricultural or forestry devices, the standard CORINAIR methodology was used. For the air traffic, the landing-take off (LTO) cycles of the planes were taken into account and the main air corridors were represented as linear entities.

### **3.3) Biogenic sources and nature (ENSIACET, 2003)**

The method used by the ENSIACET for this part of the inventory has been founded on the existing CORINAIR method. To consider the specifics of this Mediterranean region and to ensure the finest description of the sources, this method has been detailed as far as available data (Dumergues, PhD thesis, 2003). This method covers the emissions of forests, low vegetations and cultivations, soils, animals (breeding), sea surface, lightning, and forest and low vegetation fires. For the emissions from vegetation, the use of a new emission factor database has been settled by Dumergues, using the latest developments in the field of biogenic emissions. For the other sources, the method used was close to the standard CORINAIR method.

For all emissions depending on the meteorological data (wind velocity, photo-synthetically active radiation and temperature), the yearly and the hourly inventory calculations have been computed using the meteorological database from “Météo-



France”, on a tri-hourly resolution, providing a better time distribution and description of the emissions than the simplified method proposed by the EEA using monthly average data surrogates. The land cover database used for this part of the study was built via a complex cross of referencing computation (both tabular and spatial) based on the data issued from:

- the CRIGE-PACA land cover database which was used to locate the surface sources,
- the statistical data of the National Forestry Inventory, which is the reference database for forestry activity in France,
- the statistical data from the ministry of farming and agriculture (“Recensement Agricole Général”) which provided various information on the cultivations and stock breeding.

#### **3.4. The aggregation of the three contributions into the final emission databases**

This part has been performed by the LPCA and AIRMARAIX. During the emission calculation processes of each contribution, several intermediate databases were placed in the source activity database to check the fit with the specifications of the inventories and to ensure homogeneous formats, facilitating the aggregation of the three contributions. All the spatial emission distributions have been performed with the Geographical Information System ArcView 8.0 using specific databases such as land use, traffic network databases, etc. With the production scheme used in ESCOMPTE, the inventory does not need to be separately processed under GIS environment for the spatialization step. This simplifies the spatial inventory contribution aggregation into the final ESCOMPTE emission database.

The final emission database is formed of two separate databases:

- The complete detailed database which contains not only the final emission values but all data, links, emission factors, intermediate results and uncertainty estimation information necessary for the emission calculations, allowing as well all the emission value checking and actualization for efficient tracking of both systematic errors and eventual miscomputations.

- The yearly and hourly final end users emission database required especially for the ESCOMPTE program. This part, extracted from the detailed emission database, only contains the emission values per grid cell (1 km<sup>2</sup>) and per chemical species (172 species) including detailed information for the large point source.

The detailed emission database has been separated from the end users. This was necessary because some confidential data are included. As well, some data would not be useful for the ESCOMPTE end users, only emission values, and the end users database requires much less memory and is easier to manage.

In parallel to the ESCOMPTE inventories elaboration, some complementary software tools have been developed (1) for quality insurance studies and to facilitate automated post treatment for area analysis, sensitivity analysis, custom activity sector analysis, etc., (2) to allow actualization and generation of various emission scenarios, and (3) to ensure easier extraction of emission input datasets required for air quality models. This set of inventory management software, available since the beginning of 2004, has been elaborated to allow further uses, especially as operational tools for decision-making authorities.

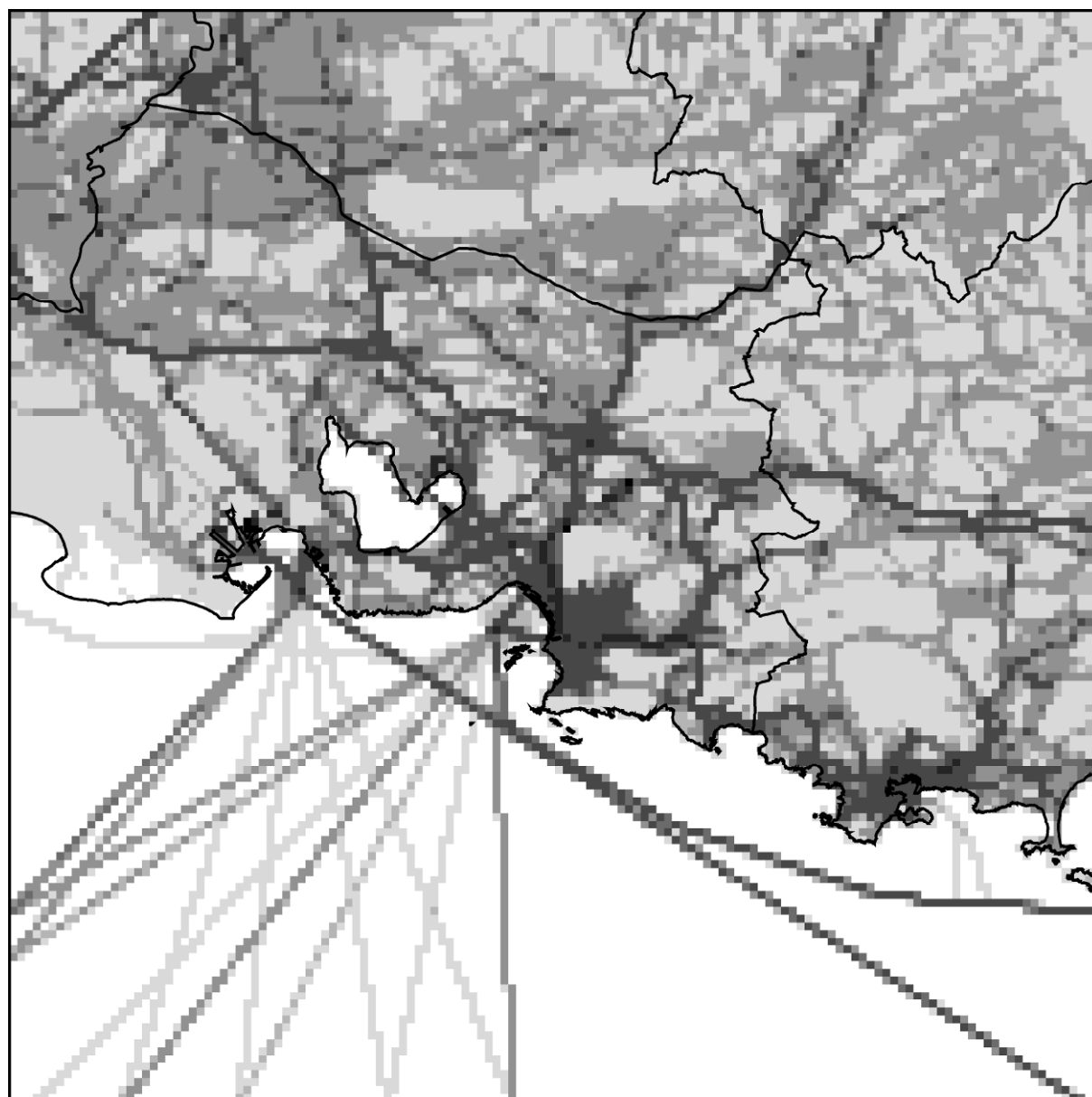
#### **4) Results and discussion**

In this section the results will be first presented and discussed and secondly compared with the previous studies existing in the PACA region as far as the domains fit with the ESCOMPTE investigation area.

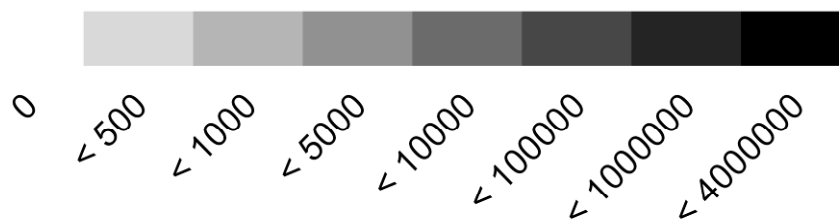
##### **4.1) Yearly emissions for 1999**

In view of the size of the yearly emission database, the results obtained for the whole ESCOMPTE domain are summarized in tables 2 and 3 (left section) and also in figure 4 and 5 to illustrate the spatial emission distributions. In table 2, the emissions are given for all the chemical species CAT1 and CAT3 per SNAP categories (level 1). In table 3, the emissions are given for the main generic species NO<sub>x</sub>, Aromatic hydrocarbons, NMVOC (including the aromatics, and for the single compounds SO<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> to give an overview of the yearly emissions of the

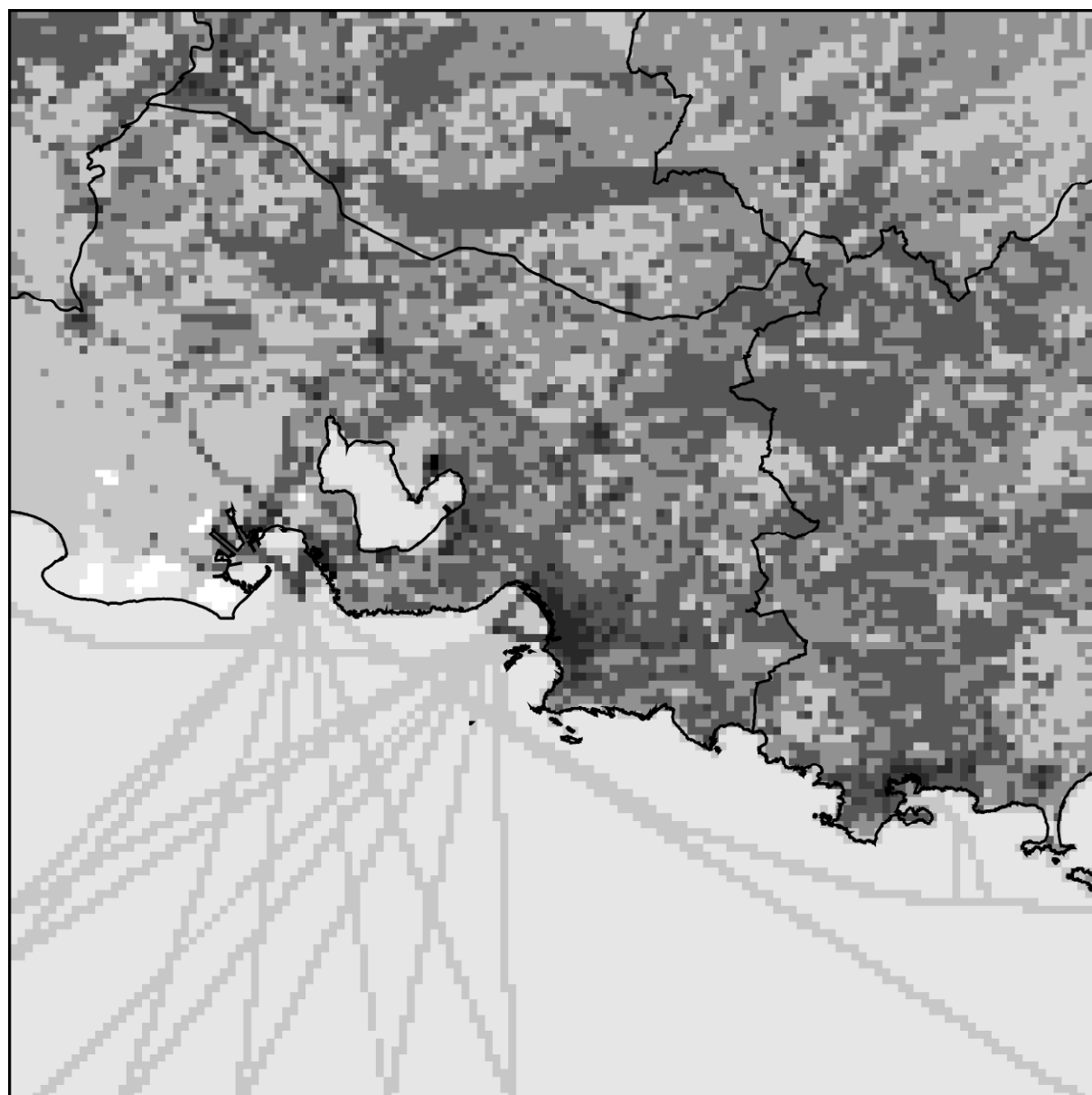
area. These emissions are split into the SNAP categories levels 1 and 2 to show the distribution per activity sector or source.



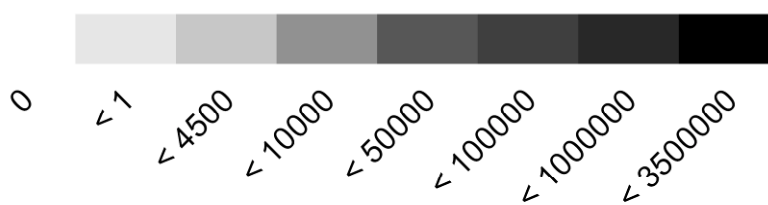
**NOx (kg.km-2)**



**Figure 4.** Yearly emission distribution map of NOx for all categories of sources.



NMVOC (kg.km-2)



**Figure 5.** Yearly emission distribution map of NMVOC for all categories of sources.

For NO<sub>x</sub> it appears that the major contribution comes from the road transport (45.5%) which spreads over the urban area and along the highways. It is interesting to notice that the maritime traffic is the most important emission source issued from

the other mobile sources and represents 11.6% of the total emissions from the mobile sources (SNAP07 and 08). The other sources, industry and waste treatment (16.8%) and production and distribution of energy (16.7%) are lower than the mobile sources, but they are concentrated mainly in the Berre Pond area where an important part of the industries of the whole region are located, including the petroleum industries, refineries and the steel industries. The biogenic contribution to the NO<sub>x</sub> emissions (soils, sea, forest fires) can not be neglected as it represents almost 5.9% of the total.

The industrial activities around the Berre Pond are also reflected by large emissions of SO<sub>2</sub>, CO and CO<sub>2</sub> where the major part of the industrial LPS is located. For the whole ESCOMPTE domain, the emissions of SO<sub>2</sub>, CO and CO<sub>2</sub> represent respectively 86.5%, 60.3% and 57.3% (for the activities included in the SNAP 01, 03, 04 to 06 and 09). The mobile sources represent the second largest emission of CO<sub>2</sub> (23.8%). For SO<sub>2</sub> and CO, the contribution of the residential – service sectors are quite similar (but a little more important) than the mobile source (respectively 6.9% and 6.7% for SO<sub>2</sub>, 20.4% and 19.3% for CO). No significant emissions have been evaluated for the biogenic sources.

For the NMVOC, the major contribution is issued from the biogenic sources (forest and Mediterranean maquis) and represents 49.1% of the total. This can be explained first because of the important part of forests in the domain of study: 29% of the domain is covered by forests and by considering that the water (sea and pond) surface occupies almost 42% of the ESCOMPTE domain, the forest represents, in fact, 50% of the land. The second reason is due to the summer meteorological conditions (high temperature and solar radiation) which favor high emissions from forests. The high temperatures during a great part of the year also contribute to increase NMVOC issued from solvent evaporation, which represents the second largest emission source (16.0%). The most important emissions of NMVOC in the industrial sectors comes from the petroleum industries (8.3%) concentrated around the Berre Pond. All the other sources contribute similar levels: 6.8% for road transport, 2.3% for other mobile sources, 6.0% for residential and service sectors and 11.5% for all the industries.

If we compare the emitted species (table 2), the biogenic NMVOC are mainly isoprene, terpenes and other NMVOC are alkenes (majority) or a few alkanes and very few undefined aromatic compounds (table 3). On the contrary, for the other sources and activity sectors all the generic species are represented in the emissions especially for the mobile sources (road traffic) and the SNAP 04 and 05. The aromatic fraction, which represents 8,0% of the total NMVOC, are 39.8% 24.6%, 18.0% and 16.4% for the industry (including waste treatment), road transport, production and distribution of energy and residential and service sectors, respectively. It is interesting to notice the high yearly emissions of DMS (193,266 t/y) which can contribute to a background of SO<sub>2</sub> (by oxidization of DMS). These amounts are due to the large percentage of sea surface of the ESCOMPTE domain (more than 40%).

The spatial distribution of the emissions is represented on the maps of figures 4 and 5. The main anthropogenic emissions are located along the coast, in the plains close to the Rhône and Durance rivers and around the Berre Pond. In this last area, the emissions are issued more from industry (LPS) and road traffic than in the urban area of Marseilles - Aix-en-Provence in which the emissions are primarily generated by road traffic, residential and service sectors and small industries. The spatial analyses highlight the importance of road transport in these urban areas and the shares for NO<sub>x</sub> and CO are, respectively, over 60% and 35% the overall emissions, road traffic being the main emitter for these compounds. The plains are mainly occupied by agriculture (including fruit trees) while the northern and eastern parts of the domain are mountainous covered by forests and Mediterranean maquis, and are thus high biogenic emission areas.

#### **4.2) Hourly inventories**

The daily emissions obtained for Monday 25<sup>th</sup> of June 2001, have been selected from the ESCOMPTE IOPs because this day is representative of the periods of investigation and of the meteorological conditions. The hourly emissions of the 3 groups of activities and sources (stationary, mobile and biogenic) were partly derived from the yearly emissions (including actualized data when necessary or available) by

using time distribution functions and partly calculated from available hourly data for the concerned periods. The main data actualized were the hourly emissions of the LPS and the meteorological data essential for the calculation of evaporation processes and of vegetation. These results are summarized in table 3 (right section) and hourly distributions per SNAP sectors and sources are illustrated in figure 6.

For NO<sub>x</sub> emissions, the daily major contribution is issued from mobile sources especially from the road and maritime traffic, respectively 69.8% and 26.6% of the total mobile sources (SNAP 07 and 08). These percentage contributions are higher than those obtained for the yearly emissions which can be explained by the intense corresponding traffic during the summer period. The end of June corresponds also to the beginning of the holiday period with a significant increase of road and maritime traffic for both passengers and freight (road and sea). For the contribution of the industry, the daily emissions have steady levels because the time distributions for this activity sector are not greatly month or day dependant, yet remain fairly constant throughout the year. For the energy production and distribution time, the contribution due to the public power and district heating plants are lower, but the part of the petroleum industries increase because of more important activities during this period. This can be correlated to maritime traffic (crude oil supply). On the contrary the residential – service sector contribution is lower mainly because this day is not a heating period.

This small increase in industrial activities is also reflected by greater emissions of SO<sub>2</sub>, CO and CO<sub>2</sub>, compared to the yearly corresponding contributions, even if the percentages CO and CO<sub>2</sub> are balanced by the increase of the contributions of the mobile sources.

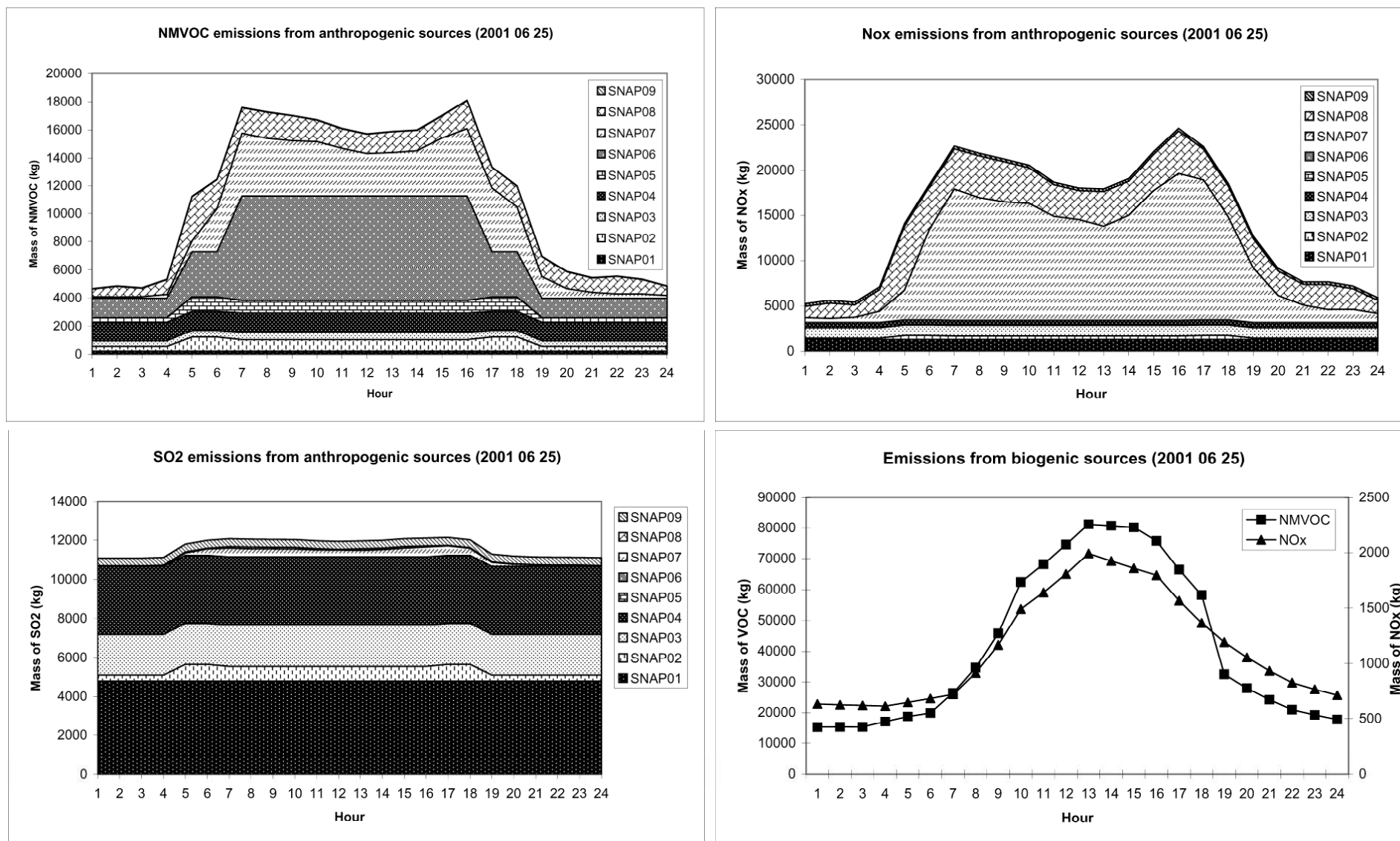


Figure 6. Hourly distributions of NOx, VOC and SO2 during the 25<sup>th</sup> June 2001 for the SNAP1 emission source categories.



The distribution of the NMVOC is quite different because of the large contribution of biogenic sources: the forests and the Mediterranean maquis represent 53.9% and 34.0% of the total emissions of VOC. These biogenic emissions have been increased due to the high temperatures (up to 35°C) and intense solar radiation during this period. These high temperatures also generate important emissions issued from evaporation processes in the SNAP 06 (solvent uses) and SNAP 0706 (gasoline evaporation from vehicle). This last contribution, due to the gasoline tank breathing, appears a little lower than it would be expected. This can be explained by the method used: the calculation of gasoline evaporation is not only based on air temperature at ground level but also on the daily temperature range (difference between max. and min. temperatures). The greater the temperature range the more these emissions are increased. During the selected day, the temperatures were high but the temperature range was not so great in the area where road traffic is located (from 19°C to 34°). It is interesting to notice that the aromatic fraction of NMVOC is issued from the solvent evaporation first (42.4%) and then from road traffic (26.5%). The other contributions are quite negligible or non-existent (biogenic contribution).

The hourly profiles in figure 6 are quite similar for SO<sub>2</sub> (issued mainly from industrial sectors), for NO<sub>x</sub> and NMVOC for which one can see a typical contribution of the road traffic during the morning and afternoon rush hours. The biogenic contribution has been represented separately because the emissions are one order of magnitude larger. The spatial distribution of these hourly emissions is similar to the yearly ones except for NMVOC, for which the biogenic emissions are much higher, especially in the forested and mountainous areas.

#### **4.3) Comparison with previous emission inventories**

The ESCOMPTE emission database and inventory were the first for the region PACA at these time and spatial resolutions but it has been necessary to compare our results with some existing regional emission inventories in spite of very few studies concerning this region.

#### 4.3.1) Comparison with the PRQA99 emission inventory

A first comparison of the results has been made with the yearly emission inventory for 1994 with future extrapolation for 1999 of the PACA region (administrative limits). This inventory (CITEPA, 1997) is issued from the Centre Interprofessionnel d'Etude de la Pollution Atmosphérique (CITEPA) elaborated by the Regional Plan for Air Quality (PRQA). The CITEPA can be considered a reference for France regarding stationary emission source inventories. Only the results estimated for 1999 (called here PRQA99) have been used for the comparison. Also, this comparison has been a little restricted because it has been possible to compare emissions only:

- on one part of the domain which consists of the “Département des Bouches du Rhône” (figure 1) because the administrative boundaries of the other “Départements” (Alpes-de-Hautes-Provence, Gard, Var and Vaucluse in figure 1, respectively) are outside the ESCOMPTE domain and the main emissions are located in the Bouches du Rhône.
- For SNAP 01 to 06, SNAP 07 and 09, because the other activities were not considered in the PRQA99 study or for the common species which are under survey and regulation (SO<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, total NMVOC and NH<sub>3</sub>).

When comparing the PRQA99 and ESCOMPTE1999 inventories, we have to keep in mind that those inventories are built in radically opposite ways. A top down approach has been used for PRQA99 inventory and a bottom up approach has been prioritized for our study. The comparison summarized in table 4 concerns the yearly emissions at the level 1 of the SNAP classification because emissions related to detailed activities were not available for the PRQA99.

Species	SO <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	NMVOC	NH <sub>3</sub>
<b>Stationary sources (SNAP 1-6 and 9)</b>						
ESCOMPTE 1999 (Gg)	119.147	357.506	22091.463	34.712	61.818	28.425
PRQA 1999 (Gg)	135.066	397.825	22421.800	25.979	60.994	217.000
<b>Δ(ESC/PRQA)</b>	<b>- 12 %</b>	<b>-10 %</b>	<b>- 1 %</b>	<b>+ 34 %</b>	<b>+ 1 %</b>	<b>- 87 %</b>
<b>Mobile sources from road traffic (SNAP 07 only)</b>						
ESCOMPTE 1999 (Gg)	1.171	65.921	5413	32.311	9.232	0.408
PRQA 1999 (Gg)	3.724	173.618	5750	37.278	37.514	0.377
<b>Δ(ESC/PRQA)</b>	<b>- 69 %</b>	<b>- 62 %</b>	<b>-6 %</b>	<b>+ 15 %</b>	<b>-75 %</b>	<b>+ 8 %</b>

Table 4. Comparison between yearly results of ESCOMPTE 1999 and PRQA 1999 (ESCOMPTE versus PRQA) for the stationary sources (SNAP 01 to 06 and 09) and for road traffic (SNAP 07).

*Stationary sources:*

The advantage of this study is the completeness regarding the energy balance since it considers the “Arrondissements” which are subdivisions of “Départements”, so the spatial attribution is quite rough compared to ESCOMPTE 1999 inventory. The large point sources are limited in the PRQA99 to the installations which are required to provide annual statements of emissions. The main differences for the NO<sub>x</sub> emissions can be explained by the LPS emissions (PRQA99 are extrapolated values and ESCOMPTE1999 are issued from measurements and consider the process improvements) and the residential contributions which are most probably underestimated in PRQA99. For SO<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, and NMVOC the relative differences are very low and the two inventories are close together. This is mainly due to the correct extrapolation of the fuel consumption and energy balance of the PRQA99. It has not been possible to obtain deeper information from the CITEPA (ARIA, 2003), so it is for NH<sub>3</sub>, but this species is most probably overestimated in PRQA99 due to the use of default emission factors valid for all Europe while for ESCOMPTE inventories, specific emission factors for NH<sub>3</sub> per type of activity have been used. The only information which has been given is that the calculations have been performed on the basis of the CORINAIR methodology.

*Road traffic:*

The calculation model used to estimate the emissions from road traffic is also quite coarse, only taking into account the main highways and intercity connection roads, leaving most of the urban traffic to default surrogate velocities and spatial distribution, which are sometimes inadequate.

The NO<sub>x</sub> emissions are issued mainly from heavy duty vehicles and passenger cars due to the greater fraction of trucks in the local fleet composition than in the average national fleet composition used in the CITEPA inventory. The same fleet composition analysis shows as well a lower fraction of 2-wheel vehicles in the PACA region than in the overall French fleet. This can partly explain the differences obtained for NMVOC and CO emissions. The PRQA99 (elaborated in 1996) had used the version I of COPERT method and in ESCOMPTE 1999, it was the more elaborate version III. There were also differences in the velocity and traffic distributions, which was very coarse in PRQA99. All these facts explain the

differences between the two inventories. For the SO<sub>2</sub> emissions, the comparison cannot be done that easily since the regulation regarding the sulfur percentage of fuels in 1999 were almost the same. Part of this difference can be explained by the approximation used in the PRQA regarding the SO<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> that differs between diesel (0.255) and gasoline (0.104) engines in ESCOMPTE 1999 whereas it was considered constant (0.317) in the PRQA.

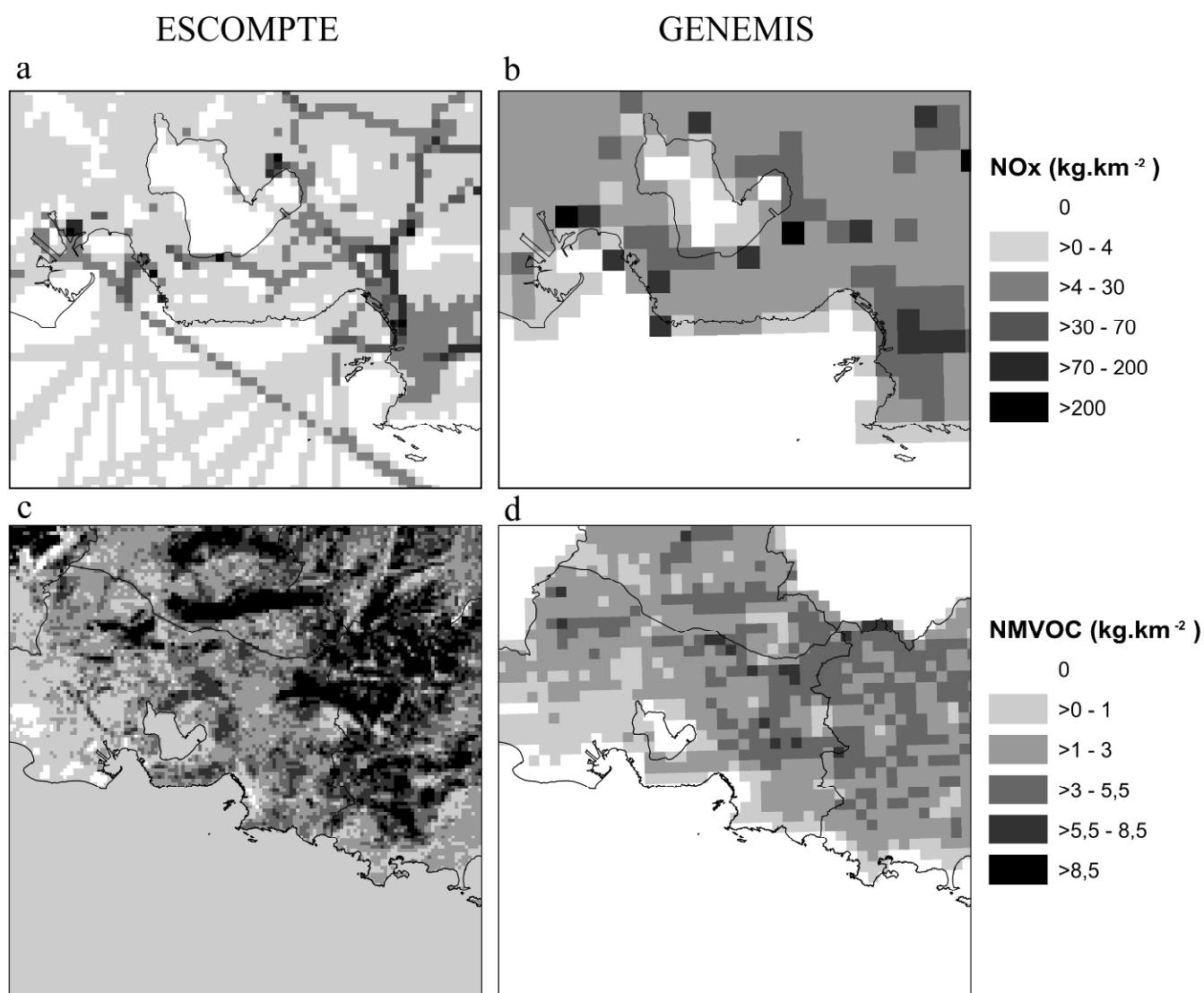
#### **4.3.2) Comparison with the GENEMIS emission inventory**

The IFU which is in charge of the GENEMIS inventory has provided the ESCOMPTE program with an inventory for pre-modeling experiments (mentioned in section 1) (figure 7). The GENEMIS inventory has been realized according to the CORINAIR method and annual statistical data at the national level. The spatial attribution of the emissions is based on the land use data CORINE Land Cover. Unfortunately, no other information has been provided by the IFU about emission calculations or details regarding the emission distributions per SNAP category. In addition, the GENEMIS emission database provided did not exactly fit with the ESCOMPTE domain, especially for the north eastern and western parts of the area. For these reasons it has not been possible to compare the emission values as well as the calculation method of the emissions, and the comparison has been performed mainly on general aspects of the method and on the spatial distribution of the emissions. The GENEMIS inventory has been built with a spatial resolution of 9 km<sup>2</sup> and using a complete top-down approach. This approach usually generates shifts of the spatial emission distribution and/or exaggerates the background emission levels on the study area as displayed in figure 7.

For the mobile sources, this approach limits the spatial representation of the road network as shown for example in studies such as IMPRESAREO (Winiwarter, 2001). When comparing the maps from the two inventories (as in figure 7a and 7b) for these sources, the road network (main roads as highways and high traffic roads) is clearly defined in the ESCOMPTE while it is not for GENEMIS, in terms of methodological reason and spatial resolution. Similarly, GENEMIS doesn't seem to correctly take into account the marine activities (SNAP 0804) that are responsible for 10.4 % of the yearly emissions of NO<sub>x</sub> in the study area. These emissions must be considered in

ESCOMPTE inventory, because they significantly participate in creating the high level background NOx concentrations.

Another investigation, regarding the LPS, shows some discrepancies in the positioning of some of these sources, leading to important emission shifts of several kilometers. This affects wrong emission cells on the GENEMIS inventory and emission peaks at the wrong localization in this inventory. These errors in the spatial distribution may have direct effects on the air quality modeling, especially if plumes are concerned.



**Figure 7.** Comparison of the spatial distribution emissions between ESCOMPTE and GENEMIS for an average day of July (10h00 local standard time):  
a and b : total anthropogenic NOx emissions,  
c and d : total biogenic NMVOC emissions.

When comparing the biogenic emissions (figure 7c and 7d), the main forested areas are correctly identified and located in GENEMIS, even when using the coarser Land Use data. The comparison of the corresponding emissions shows lower levels for GENEMIS than for ESCOMPTE. Important differences exist for the wetlands and sea surface. It seems that in GENEMIS the wetlands have been significantly underestimated while the sea was not considered. The ESCOMPTE method performed by the ENSIACET included optimized land cover database (CRIGE) and more realistic emission factors by considering all available specifics of these biogenic Mediterranean sources. It is difficult to evaluate exactly the discrepancies, due to the high uncertainties on the emission factors which can reach more than 100 or 200%. At any rate, it is reasonable to assume that the ESCOMPTE inventory is certainly more accurate, even without further insights due to lack of detailed data about GENEMIS to compare.

#### **4.4) Emission uncertainties <sup>31</sup>**

The evaluation of uncertainty emission inventories is still a delicate task for which enough time wasn't possibly allocated in the ESCOMPTE program. This evaluation begins with classifying the sources by reliability levels, which can be done by classifying the reliability of the activity data and emission factors (both for their quality and appropriateness). The highest confidence is for stationary and LPS sources for which you have primary activity data. This ensures a reasonable uncertainty level that can be roughly evaluated in the 20 % range. On a secondary level, you have mobile sources, for which the activity data is derived from statistics regarding consumption of fuels combined with available road traffic counting, leading to uncertainties in the range 30 - 40%. On the last level of quality, the biogenic emission that depends on very complex variables, can show broad variations up to the order of magnitude of the emission themselves, due to uncertainties mainly on emission factors, land use (including vegetation species description) and meteorological data.

In further investigations (French PRIMEQUAL-2 national program), which follow the present results and are still in progress, the improvement of the uncertainties and

---

<sup>31</sup> On peut se reporter pour des informations complémentaires à la note de travail ESCOMPTE sur les incertitudes qui est présentée en annexe 4.

quality insurance of the calculated emission values is currently developed at the LPCA.

## **5) Conclusion**

Since the beginning of the realization of the inventory, the greatest care has been given the congruency and to the sustainability of this emission database. To achieve these goals, the integration of computing and upgrading software has been planned early and are now completed. Special care has been taken to optimize (1) the accuracy of the emission values (both regarding the resolution of the primary data used and the list of compounds taken into account), (2) an integrated quality insurance, to reach a reasonable level of safety in the inventory production and (3) the elaboration of software tools in charge of the computation (either initial or from updated activity data). This automation has already spared time and money in the actualization procedures and emission database management, specifically sensitivity analysis and uncertainties management. Those improvements have been achieved by the rational use of a database management system to ensure a better traceability of the work done on the inventory and by the automation of repetitive and time consuming tasks in the preparation, production and post processing of the inventories, either via Visual Basic scripting, coding, or integrated database management functions. Some complementary tools are currently developed at the LPCA: one set concerns the estimation and the improvement of the uncertainties are now developed to obtain systematic quality insurance of the emissions for all kind of source categories and the other set aims at integrating the process of emission inventory creation in a global database system, reaching through this integration another level of and management in that type of study. Those tools are designed to answer to the needs of the air quality measurement networks regarding emission modeling tools.

The present ESCOMPTE emission inventories have already started to be used with success as input files for various air quality modeling and, especially in the ESCOMPTE modeling exercise, to compare the ability of many air quality models to describe the dynamic and the chemistry of the troposphere. The ESCOMPTE emissions have shown that this dataset was much more reliable and relevant than

the other existing emissions. But other interesting applications which have already started, include the elaboration of various realistic emission scenarios in the frame of the French program PRIMEQUAL-2. Each one will provide emission schemes corresponding to specific questions or problems: local, regional, national and European regulations, emissions and air quality. It will also create trends for the year 2010 according to different hypotheses of emission evolution when only the incoming national and European regulations are taken into account or when more constraints regarding pollutant emissions, up to emergency situations, are included.

### **Acknowledgement**

Thanks to the French programs PNCA and PRIMEQUAL-PREDIT, to the « Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) », the French « Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (MATE) », the « Institut des Sciences de l'Univers (INSU - CNRS) », the Cities of Marseilles and Aix-en-Provence, the Regional Council of the « Département des Bouches du Rhône » which have founded the elaboration of the ESCOMPTE emission inventories. Special thank to J. NOPPE and N. POISSON from the ADEME, for their support all along the elaboration of the ESCOMPTE emission inventories and to the ADEME, AIRMARAIX and AIRFOBEP (Air Quality network of the Berre Pond area) which have also founded the PhD thesis of M. S. François.

### **References**

André M. (1999): Pollution de l'air due aux transports - Statistiques de parc des véhicules et d'activité transport pour la France, Rapport INRETS LTE N° 9930 sur Convention ADEME- N° 9666014, contrat n°1999-11 24 P- F. Ed. INRETS, 25 Avenue F. Mitterand, F-69500 Bron (France). (Web: [www.inrets.fr/index.e.html](http://www.inrets.fr/index.e.html)).

ARIA (2001): Etablissement des cadastres d'émissions atmosphériques du programme ESCOMPTE (Lot 2 et 4 : sources fixes) - Méthodologie de calcul des émissions ; Rapport ARIA n° 2001.137 - Second rapport d'avancement – ARIA Technologies S.A. – IER Stuttgart – TNO pour l'ADEME (Marché ADEME N°00



62 043). Available from the ADEME, 27 rue Louis Vicat, F-75737 Paris (France), 64 p. (Web ARIA: <http://www.aria.fr/english/home/index.html>)

ARIA (2003): Etablissements des cadastres d'émissions atmosphériques du programme de recherche ESCOMPTE (Lots 2 et 4 : sources fixes) – Résultats de l'inventaire 1999 et intercomparaisons Rapport ARIA / 2002.069.V4. ARIA Technologies S.A. – IER Stuttgart – TNO pour l'ADEME (Marché ADEME N°00 62 043). Available from the ADEME, 27 rue Louis Vicat, F-75737 Paris (France), 33 p.

CITEPA (1997): Inventaires d'émissions dans l'atmosphère dans le cadre des plans régionaux pour la qualité de l'air – Région Provence – Alpes - Côte-d'Azur, Oct. 1997. Ed. CITEPA - 10 rue du Faubourg Poissonnière, F-75010 Paris (France)

CITEPA (2003): Air emissions / Calculating emissions into the air Methodology SNAP/NAPFUE.

(Web: [www.citepa.org/emissions/methodologie/index\\_en.htm](http://www.citepa.org/emissions/methodologie/index_en.htm).)

COPERT III (2000): COmputer Programme to calculate Emissions from Road Transport COPERT III version 2.2.

(Web: <http://vergina.eng.auth.gr/mech/lat/copert/copert.htm>)

CORINAIR, 2002: EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook - 3rd edition October 2002 Update. Technical report N° 30.

(Web: <http://reports.eea.eu.int/EMEPCORINAIR3/en>)

Costa M. and J. M. Baldasano (1996): Development of a source emission model for atmospheric pollutants in the Barcelona area; Atmos. Environ. Vol. **30**, Issue 2, 309-318.

CRIGE (1999): Regional land cover database available from [www.crige-paca.org](http://www.crige-paca.org)

EEA (2002): EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook – 3rd edition October 2002 UPDATE, technical report N°30, EEA.

Cros B., P. Durand , E. Frejafon, C. Kottmeier, P. E. Perros, V-H. Peuch, J.-L. Ponche, D. Robin, F. Saïd, G. Toupance and H. Wortham (2004): The ESCOMPTE program: an overview, *Atmos. Res.*, **69**, 3-4, 241-279.

De Leeuw F. A. A. M., H. J. Van Reiner Leyssius, and P. J. H. Builtjes, (1990): Calculation of long term averaged ground level ozone concentrations; *Atmos. Environ.*, **24A**, Issue 1, 185-193.

Derwent R.G., M.E. Jenkin and S.M. Saunders (1996): Photochemical ozone creation potentials for a large numbers of reactive hydrocarbons under European conditions; *Atmos. Environ.*, **30**, issue 2, 181-199.

Dommen J., A. S. H. Prevot, N. Baertsch-Ritter, G. Maffeis, M. G. Longoni, F. C. Gruebler, A. Thielmann (2003): High-resolution emission inventory of the Lombardy region: development and comparison with measurements; *Atmos. Environ.* Vol. **37**, Issue 29, 4149-4161.

Dumergues, L. (2003): Inventaire des émissions naturelles en région méditerranéenne : application à l'établissement de cadastres détaillés de la zone Marseille-Berre dans le cadre du projet ESCOMPTE. Détermination sur sites de facteurs d'émission spécifiques à la zone d'étude. PhD thesis of the ENSIACET - Toulouse, INPT: 394 p. N° ordre 2060.

ENSIACET (2003): Programme ESCOMPTE / Réalisation de cadastres d'émissions atmosphériques (Lot 5 : sources des secteurs agricole et sylvicole et sources naturelle incluant la surface de la mer) - Méthodologie de calcul des émissions ; Rapport méthodologique 2<sup>nd</sup> version – ENSIACET, CITEPA pour l'ADEME (Marché ADEME N°00 62 044). Available from the ADEME, 27 rue Louis Vicat, F-75737 Paris (France), 46 p.

ESCOMPTE Emission Database, (2004):

Web : <http://medias.obs-mip.fr/escomppte/data/index>

Flassak Th., N. Moussiopoulos, A. Proyou and C. Winckler (1992): Preliminary results of mesoscale model simulations for Thessaloniki; in *Monitoring and modelling in the mesoscale*, **9**, Eds. Moussiopoulos N. and Kaiser G., Bilateral seminars of the International Bureau KFA Juelich - Germany.

François S., C. Boissard, Ph. Mirabel, J. Noppe, J.-L. Ponche (2000): Methodology of emission inventories in the ESCOMPTE project. ; Proceedings of the EUROTRAC-2 Symposium (subproject GENEMIS) *Transport and Transformation of Pollutants in the Troposphere*, Garmisch-Partenkirchen (D), 27–31 March 2000.

GENEMIS, (1999): Emission inventory database (EMEP-CORINAIR) for Europe for the year 1999.

Web: <http://www.ier.uni-stuttgart.de/public/de/organisation/abt/tfu/projekte/genemis/> and <http://imk-ifu.fzk.de/> (IMK-IFU: Institut für Meteorologie und Klimaforschung Atmosphärische Umweltforschung).

Hivert L. (2000): Le parc automobile des ménages - Etude en fin d'année 1998 à partir de la source « Parc Auto » SOFRES, Rapport sur convention INRETS/ADEME 2000-07 / 159P- F. Ed. INRETS, 2 avenue du Général Malleret, F-94114 Arcueil cedex (France).

INTERREG II (2000): Analyse transfrontalière de la qualité de l'air dans le Rhin supérieur - Grenzübergreifende Luftqualitätsanalyse am Oberrhein". Communauté de travail - Arbeitsgemeinschaft ASPA (Association pour la Surveillance et l'étude de la pollution atmosphérique en Alsace) - UMEG (Gesellschaft für Umweltmessungen und Umwelterhebungen mbH) *Official document edited by Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg (D), Direction Régionale de l'Industrie de la Recherche et de l'Environnement (F), Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland - Pfalz (D), Lufthygieneamt beider Basel (CH), Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (D), Association pour la Surveillance et l'étude de la Pollution Atmosphérique en Alsace (F), and Landesamt für Umweltschutz und*

*Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz (D)*; Holler Druck und Verlag GmbH  
Killisfeldstrasse 45 D-76227 Karlsruhe.

Metcalf S. E., J. D. Whyatt, R. G. Derwent and M. O'Donoghue (2002): The regional distribution of ozone across the British Isles and its response to control strategies, *Atmos. Environ.*, Vol. **36**, Issue 25, 4045-4055.

Moussiopoulos N., P. Sahm and Ch. Kessler (1995): Numerical simulation of photochemical smog formation in Athens, Greece - a case study, *Atmos. Environ.*, Vol. **29**, Issue 24, 3619-3632.

MVA (2001): Programme Escompte Réalisation de cadastres d'émissions (Lot 3 : sources mobiles) – Méthodologie de calcul des émissions ; Rapport n°1 - 07/C/1755 mai 2001 The MVA Consultancy (France) for the ADEME (Marché ADEME N°00 62 042). Available at the ADEME, 27 rue Louis Vicat, F-75737 Paris (France), 83 p.  
(Web MVA: <http://www.mva.fr>)

OECD (1990): Emission inventory of major air pollutants in OECD (Organisation for Economic Cooperation and Development). *Environment Monographs*, n°**21**, OECD Paris, France.

Ponche J.-L., S. François, J. Noppe (2000a): Cahier des charges préliminaire pour les différentes contributions aux émissions atmosphériques ESCOMPTE. *Official Journal of the European Communities* on the 18<sup>th</sup> of February 2000 (2000/s 44-028130), 85 p.

Ponche J.-L., C. Schneider and Ph. Mirabel (2000b): Methodology and results of the REKLIP atmospheric emission inventory of the upper Rhine valley transborder region, *Water, Soil and Air Pollution*; Vol. **124**, 61-93.

Ponche J.L., N. Zaïdi, S. Fayet and Ph. Mirabel (1998): L'inventaire spatialisé des émissions atmosphériques pour la Région de Strasbourg (Communauté Urbaine de Strasbourg étendue), *Pollution Atmosphérique*; Vol. **159**, 64-72.

Ponche J.L., Ghannouchi R., Oudin V. and Ph. Mirabel (1995): L'inventaire des émissions atmosphériques franco-allemand pour la Communauté Urbaine de Strasbourg et l'arrondissement de l'Ortenau (Kehl-Offenburg) *Pollution Atmosphérique*; Vol. **148**, 74-88

Samaras Z. and L. Ntziachristos, (2000): COPERT III Computer programme to calculate emissions from road transport, EEA technical report n°49, EEA.

Schneider Ch., Ch. Kessler and N. Moussiopoulos (1997): Influence of emission input data on ozone level predictions for the Upper Rhine valley, *Atmos. Environ.*, Vol. **31**, Issue 19, 3187-3205.

Simmonds P.G., R. G. Derwent, A. McCulloch, S. O'Doherty and A. Gaudry (1996): Long-term trends in concentrations of halocarbons and radiatively active trace gases in Atlantic and European air masses monitored at mace head, Ireland from 1987-1994, *Atmos. Environ.*, Vol **30**, Issue 23, 4041-4063.

Taghavi M, S. Cautenet and G.Foret (2003): Simulation of ozone production in a complex circulation region with nested grids, *Atmos. Chem. Phys. Discuss*, **3**, 1-35.

Vinuesa J.-F., Ph. Mirabel, J.-L. Ponche (2003): Air quality effects of using reformulated and oxygenated gasoline fuels blends: application to the Strasbourg Area (F)"; *Atmos. Environ.* ; **37**, 1757-1774.

Winiwarter W., D. Vlachogiannis, N. Gounaris, J. Bartzis, S. Ekstrand, M. Tamponi, G. Maffei, C. Licotti, C. Dore, G. Hayman (2001): Final Method Evaluation: Development of Spatially Resolved Emission Inventories for Milan and Athens; WP8000 of the EC research project IMPRESAREO; ARC Seibersdorf research Report, ARC-S-0154, Oct. 2001, 60 p.

## **Chapitre 4: Recommandations pour l'établissement et la mise à jour rationnels de cadastres d'émissions**

Ce chapitre définit les notions nécessaires à la réalisation de notre étude sur les inventaires, notamment concernant les modèles et traitements informatiques. Après un rappel des concepts de base en programmation nous présenterons nos suggestions concernant les modèles de données et les structures générales des procédures de calcul et d'attribution des émissions, tant spatialement que temporellement.



## **IV.1 Préliminaire : contexte technique et rappel des notions de base de programmation**

### **IV.1.1 Remarque sur la notion de logiciel libre**

Une question se pose, plus particulièrement dans le milieu universitaire, sur l'utilisation de logiciels dit "libres" en matière de droits tels que les logiciels publiés sous une licence GNU<sup>32</sup> GPL<sup>33</sup> (voir [www.gnu.org](http://www.gnu.org) pour des informations complémentaires). On distinguera le logiciel en licence GNU GPL (gratuit et dont le code source est public) du logiciel seulement "Open Source"<sup>34</sup> pour lequel l'utilisation et l'adaptation ne sont pas libres même si le code est publié. Il est indéniable que le milieu du logiciel ouvert de ce type est extrêmement créatif et intéressant mais nos impératifs de pérennisation nous en éloignent par plusieurs aspects.

En premier lieu, comme il a été précédemment exposé, les données que l'on est appelé à manipuler, qu'elles soient tabulaires ou cartographiques, sont disponibles dans leur grande majorité dans des formats propriétaires tel que le format tabulaire Microsoft Excel ou les fichiers de cartographie (shape) de ESRI. Nos développements doivent donc, pour des raisons de rationalité, intégrer de la manière la plus native ces formats qui ne sont pas forcément ouverts. Ainsi, les bases de données manipulées sont de plus en plus souvent sous un format Microsoft Access, le format DBase tendant à disparaître lentement. Il serait naïf de vouloir, pour la beauté du geste, travailler dans un environnement peu amical voire incompatible avec ces formats (Linux / Suite bureautique GNU ou "open source") alors que les solutions commerciales offrent de meilleures possibilités de productivités et de supports techniques.

---

<sup>32</sup> GNU : Désigne couramment (par abus de langage) le projet de la "Free Software Foundation" créée suite au manifeste du Dr. Dobb dans son journal de mars 1985. L'objectif du projet GNU est de fournir un substitut libre de droits aux versions commerciales d'UNIX. Il ne faut pas confondre le projet GNU et les produits de type LINUX qui ne sont pas forcément libres de droits. Le projet GNU lui même a été démarré un an et demi plus tôt par Richard Stallman lors du développement de son éditeur gratuit Emacs.

<sup>33</sup> GPL : General Public License : c'est la licence appliquée aux logiciels de la "Free Software Foundation", au projet GNU et à tout logiciel si ses auteurs choisissent ce mode de licence. A l'opposée des licences classiques, la licence GPL garantit la liberté de distribution, de modification et la gratuité pour tous les utilisateurs.

<sup>34</sup> Open Source : se dit d'un logiciel dont le code source est publique mais cela n'implique pas qu'il soit libre de droits.



Nous devons également considérer le logiciel existant qui, dans ses principales déclinaisons, utilise le support de la suite bureautique Microsoft, notamment sous la forme d'applications utilisant des bases de données Microsoft Access (Coppert III, CollectER, GloBEIS, Tank). Certes toutes ces applications ne sont pas "open source" et libres d'adaptation mais il faut balayer l'à priori qui associe plateforme et logiciel propriétaires avec le développement de "boîtes noires"<sup>35</sup> commerciales. Un logiciel public ou "open source" est tout aussi réaliste sous un système Microsoft Windows que sous un système d'exploitation libre et probablement plus pérenne si l'on suit scrupuleusement les règles d'intégrations qui permettent de faciliter le développement de codes à haut degré de réutilisation. Il n'est pas rare de voir des logiciels bien écrits pour une version de Windows 95 (1995) tourner sans problème sur un Windows XP (fin du support technique à l'horizon 2010 soit une durée de vie appréciable). Il serait difficile de trouver un tel exemple de durée de vie pour une application développée sur un quelconque système d'exploitation de type linux.

Un dernier aspect, qui n'est pas l'un des moindres, est l'omniprésence de l'environnement Windows et le fait que l'utilisateur lambda est en général familier avec ce système. Il pourrait être difficile de justifier l'implantation d'un autre système et la formation des utilisateurs amenés à travailler sur les inventaires d'émissions. Par ailleurs, l'utilisateur serait confronté dans son usage quotidien à l'utilisation de divers fichiers provenant d'une plateforme autre pour produire des résultats dans cette autre plateforme, les destinataires d'analyses ou extraction de données étant souvent liés à l'environnement Microsoft. Une fois de plus, si l'on veut favoriser l'usage d'un outil, il faut avoir recours à des méthodes adoptées et conventionnelles qui demandent le minimum d'adaptation à l'utilisateur.

#### **IV.1.2 Réutilisation du code : programmation orientée composants**

Pour faciliter la lecture du document, il est nécessaire de définir encore quelques notions de programmation utiles. Tout d'abord, la programmation dite "orientée composants" est souvent considérée comme un particularisme ou une application de la programmation orientée objet (POO). Nous allons présenter succinctement les quelques fondements nécessaires pour comprendre ce qu'est la POO.

---

<sup>35</sup> Boîte noire: se dit d'un logiciel dont on ne connaît pas le fonctionnement interne et qui est encapsulé pour ne pas laisser transparaître les méthodologies utilisées.

#### **IV.1.2.1 Notion d'objet**

La programmation "orientée objet" consiste à créer un modèle informatique d'un ensemble d'éléments appartenant au monde réel en un ensemble d'entités informatiques appelées "objets". Un objet est une entité informatique regroupant les principales caractéristiques décrivant l'élément du monde réel qui est modélisé. Par exemple, un objet "torchère" sera décrit par ses paramètres de position (X,Y,Z), ses caractéristiques physiques et thermodynamique (diamètre, température, vitesse ou débit des effluents gazeux).

Un objet est caractérisé par trois groupes de paramètres :

- Les attributs : ce sont les données caractérisant l'objet qui prennent la forme de variables stockant les informations d'état de l'objet (exemple: une torchère a comme attributs sa position (X,Y,Z) et ses caractéristiques physiques).
- Les méthodes : les méthodes relatives à un objet caractérisent son comportement, c'est-à-dire l'ensemble des actions que l'objet est à même de réaliser. Ces opérations permettent de faire réagir l'objet aux sollicitations extérieures (ou d'agir sur d'autres objets). De plus, les opérations sont étroitement liées aux attributs, car leurs actions peuvent dépendre des valeurs des attributs, ou bien les modifier (exemple: on pourrait définir pour une torchère la méthode "Emettre")
- L'identité: L'objet possède une identité, qui permet de le distinguer des autres objets, indépendamment de son état. On construit généralement cette identité grâce à un identifiant découlant naturellement du problème (exemple : on distinguera chaque torchère par un numéro de série unique)

#### **IV.1.2.2 Notion de classe**

On appelle "classe" la structure d'un objet, c'est-à-dire la déclaration de l'ensemble des entités qui composeront cet objet. Un objet est donc "issu" d'une classe, c'est le produit qui sort d'un moule. En pratique, on dit qu'un objet est une "instanciation" d'une classe, c'est la raison pour laquelle on pourra parler indifféremment d'objet ou d'instance.

Une classe est elle-même composée de deux parties:

- Les attributs : il s'agit des données représentant l'état des objets de la classe
- Les méthodes : il s'agit des opérations applicables aux objets de la classe

Si on définit la classe voiture, les objets Peugeot 406, Renault 18 seront des instanciations de cette classe. Il pourra éventuellement exister plusieurs objets Peugeot 406, différenciés par leur numéro de série. Deux instanciations de classes pourront avoir tous leurs attributs égaux sans pour autant être un seul et même objet.

#### **IV.1.2.3 Notion d'héritage et de hiérarchie des classes**

L'héritage (en anglais *inheritance*) est un principe propre à la programmation orientée objet, permettant de créer une nouvelle classe à partir d'une classe existante. Le nom d' "héritage" provient du fait que la classe dérivée (la classe nouvellement créée) contient les attributs et les méthodes de sa superclasse (la classe dont elle dérive). L'intérêt majeur de l'héritage est de pouvoir définir de nouveaux attributs et de nouvelles méthodes pour la classe dérivée, qui viennent s'ajouter à ceux et celles hérités.

Par ce moyen il est possible de créer une hiérarchie de classes de plus en plus spécialisées. Cela a comme avantage majeur de ne pas avoir à repartir de zéro lorsque l'on veut spécialiser une classe existante.

Il est possible de représenter sous forme de hiérarchie de classes, parfois appelée arborescence de classes, la relation de parenté qui existe entre les différentes classes. L'arborescence commence par une classe générale appelée superclasse (parfois classe de base, classe parent, classe ancêtre, classe mère ou classe père, les métaphores généalogiques sont courantes). Puis les classes dérivées (classe fille ou sous-classe) deviennent de plus en plus spécialisées. Ainsi, on peut généralement exprimer la relation qui lie une classe fille à sa mère par la phrase "est une" (de l'anglais *is a*). On utilise également la terminologie "héritage" pour désigner la filiation : on dit, par exemple, qu'une classe est héritière d'une classe parent ou que ses propriétés sont héritées de la classe parent.

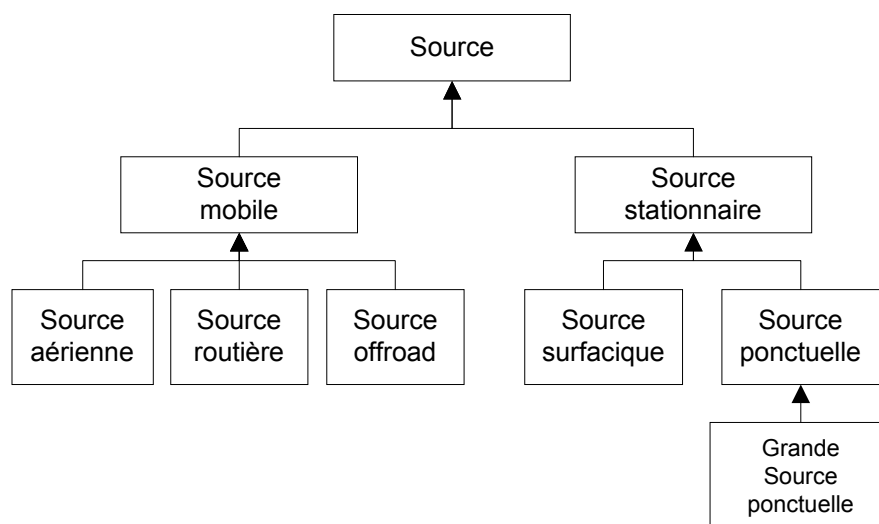


Figure 11: Exemple de hiérarchisation de classes

#### IV.1.2.4 Méthodes "objet"

La modélisation objet consiste à créer une représentation informatique des éléments (ou objets) du monde réel auxquels on s'intéresse, sans se préoccuper de l'implémentation, ce qui signifie indépendamment d'un langage de programmation. Il s'agit donc de déterminer les objets présents et d'isoler leurs attributs et les méthodes qui les utilisent. Pour cela des méthodes ont été mises au point : entre 1970 et 1990, de nombreux analystes ont élaboré des approches orientées objets, si bien qu'en 1994 il existait plus de 50 méthodes "objet" différentes. Toutefois seules 3 méthodes ont véritablement émergé :

- La méthode OMT de Rumbaugh (Rumbaugh, 1993)
- La méthode BOOCH'93 de Booch (Booch, 1993)
- La méthode OOSE de Jacobson (Jacobson, 1992)

A partir de 1994, Rumbaugh et Booch (rejoints en 1995 par Jacobson) ont uni leurs efforts pour mettre au point le langage de description UML (Unified Modeling Language), qui a permis de définir un langage standard en incorporant les avantages des différentes méthodes précédentes (ainsi que celles d'autres analystes). Il permet notamment de planifier entièrement la partie programmation (écriture de code) d'une application avec un langage qui modélise tous les composants du futur programme sans être dépendant du langage employé (OMG, 2003).

#### **IV.1.2.5 Concept d'encapsulation**

L'encapsulation est un mécanisme consistant à rassembler les données et les méthodes au sein d'une structure en cachant l'implémentation de l'objet, c'est-à-dire en empêchant l'accès aux données par un autre moyen que les services proposés. L'encapsulation permet donc de garantir l'intégrité des données contenues dans l'objet.

#### **IV.1.2.6 Masquage des informations**

L'utilisateur d'une classe n'a pas forcément à savoir de quelle façon sont structurées les données dans l'objet, autrement dit, un utilisateur n'a pas à connaître l'implémentation. Ainsi, en interdisant à l'utilisateur de modifier directement les attributs, et en l'obligeant à utiliser les fonctions définies pour les modifier (appelées interfaces), on est capable de s'assurer de l'intégrité des données (on pourra par exemple s'assurer que le type des données fournies est conforme à nos attentes, ou encore que les données se trouvent bien dans la plage de valeurs attendue).

L'encapsulation permet de définir des niveaux de visibilité des éléments de la classe. Ces niveaux de visibilité définissent les droits d'accès aux données selon que l'on y accède par une méthode de la classe elle-même, d'une classe héritière, ou bien d'une classe quelconque. Il existe trois niveaux de visibilité

- publique: les fonctions de toutes les classes peuvent accéder aux données ou aux méthodes d'une classe définie avec ce niveau de visibilité. Il s'agit du plus bas niveau de protection des données;
- protégée: l'accès aux données est réservé aux fonctions des classes héritières, c'est-à-dire par les fonctions membres de la classe ainsi que des classes dérivées;
- privée: l'accès aux données est limité aux méthodes de la classe elle-même. Il s'agit du niveau de protection des données le plus élevé.

### ***IV.2 Mise en place d'un modèle de données***

Cette partie traite uniquement des aspects de structuration des données pour les inventaires (EPA, 1999), dans le cadre de systèmes utilisant la programmation orientée objet et un système de gestion de base de données. Nous nous efforçons de décrire d'un point de vue théorique les objets tels qu'il serait préférable de les

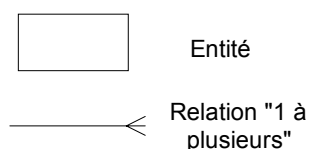
implanter selon les principes de bonne pratique en modélisation des émissions. Néanmoins, comme tout système de modélisation connaît ses limites, nous pouvons être amenés à remettre en cause les schémas de données pour adapter l'application du modèle (et les logiciels en découlant) à des conditions d'études particulières.

Les principales caractéristiques recherchées pour un modèle de données sont généralement :

- la robustesse : le modèle de données doit pouvoir être facilement adaptable à de nouvelles applications, qu'elles soient différentes ou plus complexes, et ceci par extension du modèle et non en modifiant la partie existante;
- la flexibilité : le modèle doit être compatible avec le nombre maximum d'applications;
- la cohérence : les composants formant le modèle sont mis en place en respectant des conventions homogènes de structure et de format;
- la compatibilité : le modèle doit permettre d'intégrer les données existantes de la manière la plus simple possible;
- la simplicité de mise en œuvre : les utilisateurs du modèle de données ne doivent pas avoir à mémoriser de grandes quantités de structures de données complexes.

Pour illustrer de manière visuelle et accessible cette notion de modèle de données, nous allons utiliser des diagrammes entité/relation (de l'Anglais *Entity Relationship Diagram* ou *ERD*) et que l'on nommera de manière abrégée diagrammes ER. Il est au préalable nécessaire de préciser la signification des notations utilisées ainsi que la symbolique utilisée dans les diagrammes (voir figure 12):

- les traits éclatés (1 trait devient 3 traits) représentent des relations "1 à plusieurs" (*one to many*),
- une entité, c'est-à-dire une classe d'objets, est représentée par un rectangle,
- quand cela est possible, on donnera un schéma exemple en parallèle qui représente un des cheminements possibles dans l'arbre formé par les connections "1 à plusieurs".



**Figure 12 : symbolique utilisée dans les diagrammes**

Ces diagrammes permettent de représenter les arborescences et relations entre les diverses entités (données) que l'on utilise pour la réalisation de l'inventaire. Cette méthode de modélisation est adaptée à l'établissement de schémas relationnels de données pour la création de bases de données. Nous allons expliciter ici les prototypes<sup>36</sup> pour diverses classes d'objets. Pour des raisons de lisibilité, ces définitions ne correspondent pas à un schéma de données complet pour la définition d'une base de données (avec l'ensemble des définitions de champs de chaque table) mais présenteront une structure plus globale.

Un diagramme ER est une généralisation et pourra ne pas être apte à décrire des situations extrêmement particulières représentant les exceptions par rapport au cas général de traitement. C'est une des limitations inhérentes à toute modélisation et il est nécessaire, afin d'obtenir une structure que l'on peut pérenniser au maximum et dans laquelle il est possible d'économiser les unités d'œuvre, de faire des compromis entre le traitement manuel des cas particuliers et l'automatisation de l'intégration de la plus grande partie de la masse de données (en volume).

### **IV.2.1 Sources d'émissions**

La définition des sources constitue l'une des premières briques de la construction. La hiérarchie proposée a déjà été présentée dans la figure 11. La présentation va se restreindre également aux sources stationnaires (surfaciques ou ponctuelles) et mobiles (linéaires ou surfaciques) qui suffisent à donner une vue d'ensemble des schémas typiques de données.

#### **IV.2.1.1 Sources stationnaires**

Les sources stationnaires sont définies comme étant des émetteurs dont les coordonnées spatiales définissant la géométrie de la source sont statiques dans le temps. On distingue les sources surfaciques et les sources ponctuelles, les

premières étant décrites par un polygone (ou un ensemble de polygones) et les secondes étant considérées comme un rejet canalisé ou diffus localisé en un point défini.

#### **IV.2.1.1.1 Sources ponctuelles**

De par leur définition géométrique simple, les sources ponctuelles ne posent pas de problème de traitement géométrique et sont facilement détachées de la structure de données utilisées par les SIG. On peut les définir par un triplet de coordonnées (x,y,z) et un triplet de paramètres dans le cas d'un rejet canalisé (température, vitesse, diamètre). L'attribution de la source à une entité (maille ou contour administratif) se fait de manière triviale via un code indicateur de maille (pour le maillage) ou d'unité administrative (Ilot, IRIS<sup>37</sup> ou par défaut commune).

La figure 13 présente la structure principale d'entité/relation dans le cas d'une source ponctuelle. Ce schéma peut aussi bien représenter une petite source ponctuelle<sup>38</sup> qu'une grande source ponctuelle, la différence se faisant au niveau des données disponibles en général, notamment grâce à l'auto surveillance existant sur les grands émetteurs.

Le schéma introduit les entités suivantes:

- Entreprise: c'est le niveau supérieur dans notre modèle de gestion, l'entreprise étant l'entité administrative gérant les divers sites (ou usines) et n'étant pas forcément localisée (du moins pour sa raison sociale) dans la zone d'étude.
- Site: un site correspond à un ensemble d'installations ayant une localisation déterminée, formant un ensemble d'installations contiguës. On peut considérer une usine comme un site mais parfois un site peut comporter plusieurs usines dans le cas de grands ensembles. On peut citer en exemple le cas du site de production de PSA à Sochaux (265 hectares) qui est composé de près d'une douzaine d'usines séparées au niveau administratif (statistiques et indicateurs d'activités).

---

<sup>36</sup> Nous parlons de prototype au sens informatique, soit en tant que schéma directeur servant à la construction d'une structure de données et de son interface avec l'extérieur si elle est encapsulée. Le terme prototype ne sous entend donc pas "travail en cour et non validé".

<sup>37</sup> Les Ilots et IRIS sont des découpages utilisés dans les statistiques INSEE.

<sup>38</sup> Source de nature ponctuelle qui n'est pas forcément un émetteur majoritaire.



- Unité de production: c'est un ensemble d'équipements à l'intérieur d'un site qui effectue un ensemble de tâches correspondant à une activité de production bien définie.
- Processus: c'est une tâche unitaire de traitement dans une unité de production
- Activité: c'est l'indicateur d'activité affecté au processus considéré dans la méthodologie et pour lequel on calcule les émissions
- Émissions: ce sont les émissions résultantes du processus avec l'indicateur d'activité donné.

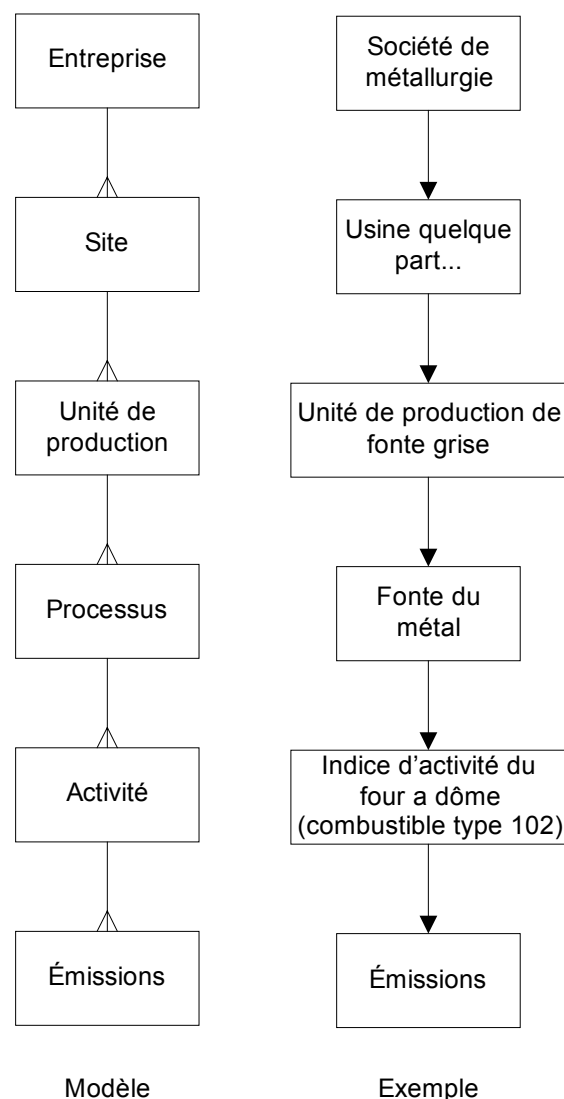


Figure 13 : Diagramme ER pour une source ponctuelle stationnaire

Lorsque l'on intègre ce schéma de base dans le reste du processus de création d'inventaire, on complète avec les entités servant de support (tant tabulaires que géographiques) à la définition de sources et de leurs activités. La figure 14 présente le diagramme plus complet et la complexification rapide du processus de création de la base de données. Les ajouts d'entités sont de deux types:

- des informations concernant la gestion d'un inventaire: contacts, sources de données, informations sur les équipements de réduction des émissions, ...
- des raffinements qui précisent certaines parties du processus. Par exemple, on fait la distinction entre la définition de la cheminée et le point effectif d'émission tenant compte de la hauteur de la cheminée. On peut également insérer dans le modèle les dispositifs de retraitement des effluents.

Les entités ajoutées sont pour cette étape :

- Sources de données: ce sont les sources d'informations qui renseignent sur l'activité de l'entreprise considérée et permettent de construire les indicateurs d'activités pertinents pour calculer les émissions. Cette entité regroupera l'ensemble des données construisant le ou les indices d'activités utilisés dans le calcul des émissions (volume d'activité global). Elle peut également comprendre les données servant à l'allocation temporelle des émissions (variation de l'activité dans le temps) dans le cas où l'on réalise un ensemble de cadastres horaires.
- Contacts: ce sont les contacts dans l'entreprise ou dans l'entité fournissant les données utilisées. Dans de grands émetteurs, ces contacts peuvent être internes (ex: service environnement d'une raffinerie, données d'auto surveillance). Dans le cas le plus général, cette entité permet de retrouver la source d'information utilisée pour la construction de l'inventaire. Cette information est importante car elle permet de faciliter le suivi et intégration des données dans le temps lors d'une mise à jour de l'inventaire.
- Support SIG des objets émetteurs: ce sont les entités permettant de positionner la source et de la décrire (coordonnées, définition géométrique, références du système de coordonnées utilisées). Dans le cas d'une source ponctuelle, cela correspond aux simples coordonnées (x, y, z) de la source. On pourra stocker dans le même fichier des informations complémentaires

décrivant la géométrie de la source (ex.: hauteur du point d'émission, diamètre de la cheminée) ou ses caractéristiques (ex: température et vitesse des gaz à la sortie de la cheminée).

- Stratégie de réduction des émissions et mesures de réductions des émissions: cette entité représente le choix de mesures réelles ou futures (scénario) de réductions des émissions qui peuvent s'appliquer au niveau du traitement des effluents gazeux. Cette entité aurait pu être intégrée directement au niveau du calcul des émissions mais son implémentation dans la plupart des méthodologies se fait après calcul des émissions, permettant de reproduire ainsi séparément les deux procédés distincts de réduction des émissions par amélioration du procédé (nouveau facteur d'émissions) et par retraitement des effluents gazeux (lavage, captage, ...).
- Facteur d'émission: cette entité représente les facteurs d'émissions et éventuels paramètres de l'équation servant au calcul des émissions, associés à l'activité modélisée.

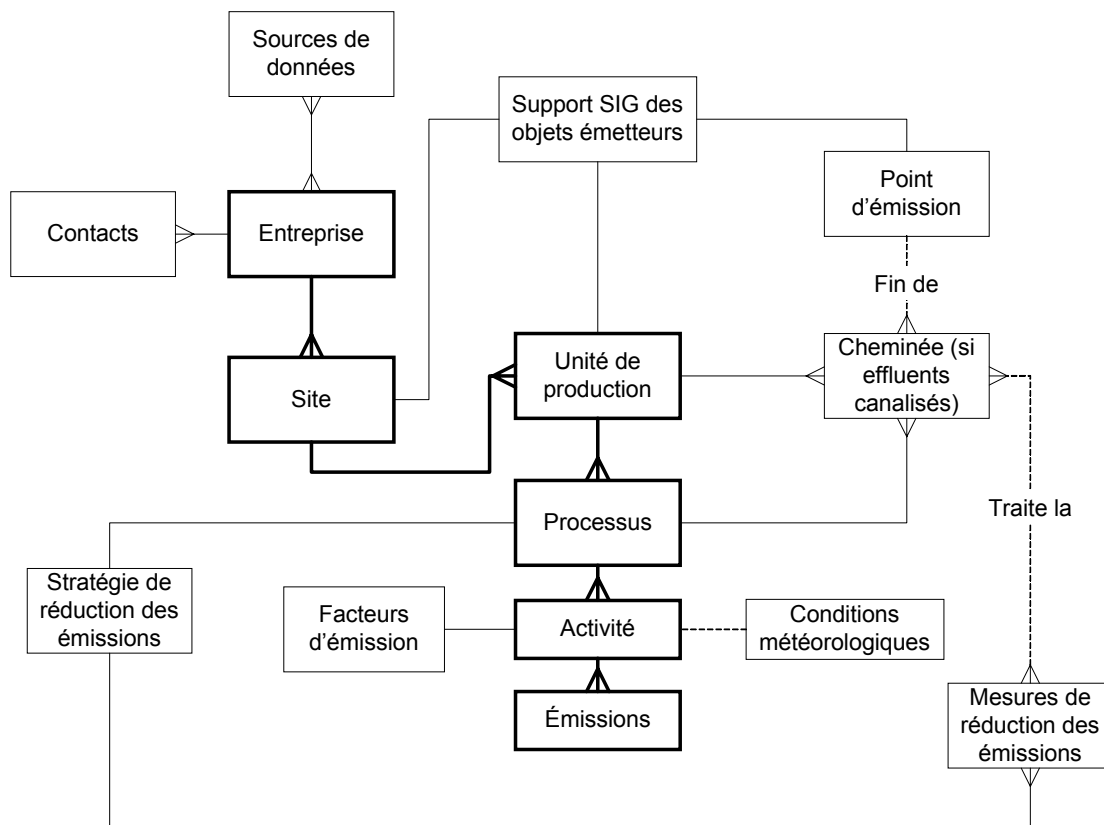


Figure 14 : Diagramme ER élargi pour les sources ponctuelles stationnaires

#### **IV.2.1.1.2 Sources stationnaires surfaciques**

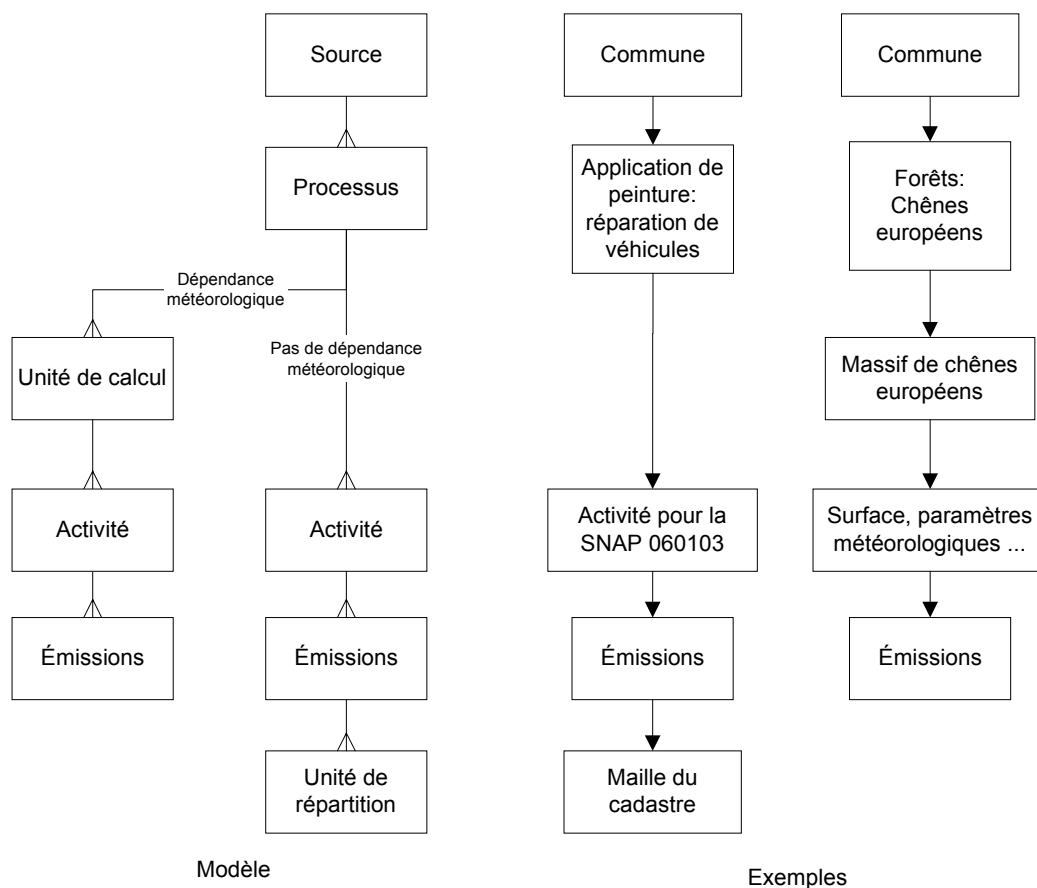
La définition des sources surfaciques est basée sur celle d'un polygone ou un ensemble de polygones, ce qui rend leur traitement sous SIG plus problématique. De plus si on introduit la possibilité d'une dépendance supplémentaire du modèle d'émissions par rapport à des paramètres météorologiques, donc dépendant de la localisation géographique, cela revient à dédoubler le diagramme ER comme illustré dans la figure 15.

On introduit à ce moment deux nouvelles entités qui sont inhérentes à la méthode de spatialisation des émissions de la source surfacique:

- L'unité de calcul qui représente une unité fractionnaire d'une source sur laquelle on effectue un calcul d'émission.
- L'unité de répartition qui se définit comme unité fractionnaire d'une source à laquelle on affecte une partie des émissions calculées au niveau de la source

Ces deux entités résultent de l'intersection de la définition géométrique de la source (Arrondissement, Commune, parcelle...) avec un autre thème de découpage (grille cadastrale, occupation du sol, découpage d'unités statistiques fines, ...) servant à l'attribution de l'activité ou à la localisation des sources lors de la spatialisation des émissions.

Le diagramme étendu avec les entités de support de la source n'introduit pas de nouvelles entités par rapport au diagramme simplifié. Il conserve la séparation des deux cas de dépendance ou d'indépendance vis-à-vis de paramètres météorologiques ayant une variation spatiale. Une relation fondamentale représentant la spatialisation est introduite entre le support SIG des objets émetteurs et l'unité de répartition ou de calcul. Il faut garder à l'esprit que cette relation masque l'étape complexe de travail géomatique avec de multiples croisements et intersections de couches de données géographiques.



**Figure 15 : Diagramme ER pour une source surfacique stationnaire**

Cette étape permet de générer les éléments suivants, qui sont nécessaires pour préciser la description des sources :

- les parcelles élémentaires de sources lors de l'intersection avec le maillage,
- l'attribution des fractions d'activité aux fractions de sources,
- une spatialisation plus pertinente en enrichissant l'information de base fournie par le découpage statistique fin (IRIS, Îlots, ...) avec une occupation du sol pour attribuer les émissions à des positions plus pertinentes,
- un retraitement des données météorologiques nécessaire à l'obtention des paramètres adaptés aux modèles d'émissions (ex: calcul du PAR<sup>39</sup>, températures, interpolation de données,...).

Dans l'optique de conserver, autant que possible, les tâches de géomatique et de calcul d'émissions séparés, toutes les tables de correspondances et d'attributions correspondant à cette étape doivent être calculées lors de la préparation des

<sup>39</sup> PAR: Photo-synthetically Active Radiation

données d'entrées du modèle. Cette étape d'intersection et croisement géométriques étant particulièrement coûteuse en mémoire et en temps de calcul, la logique d'optimisation nous pousse également à limiter au maximum le nombre de traitements unitaires de ce type.

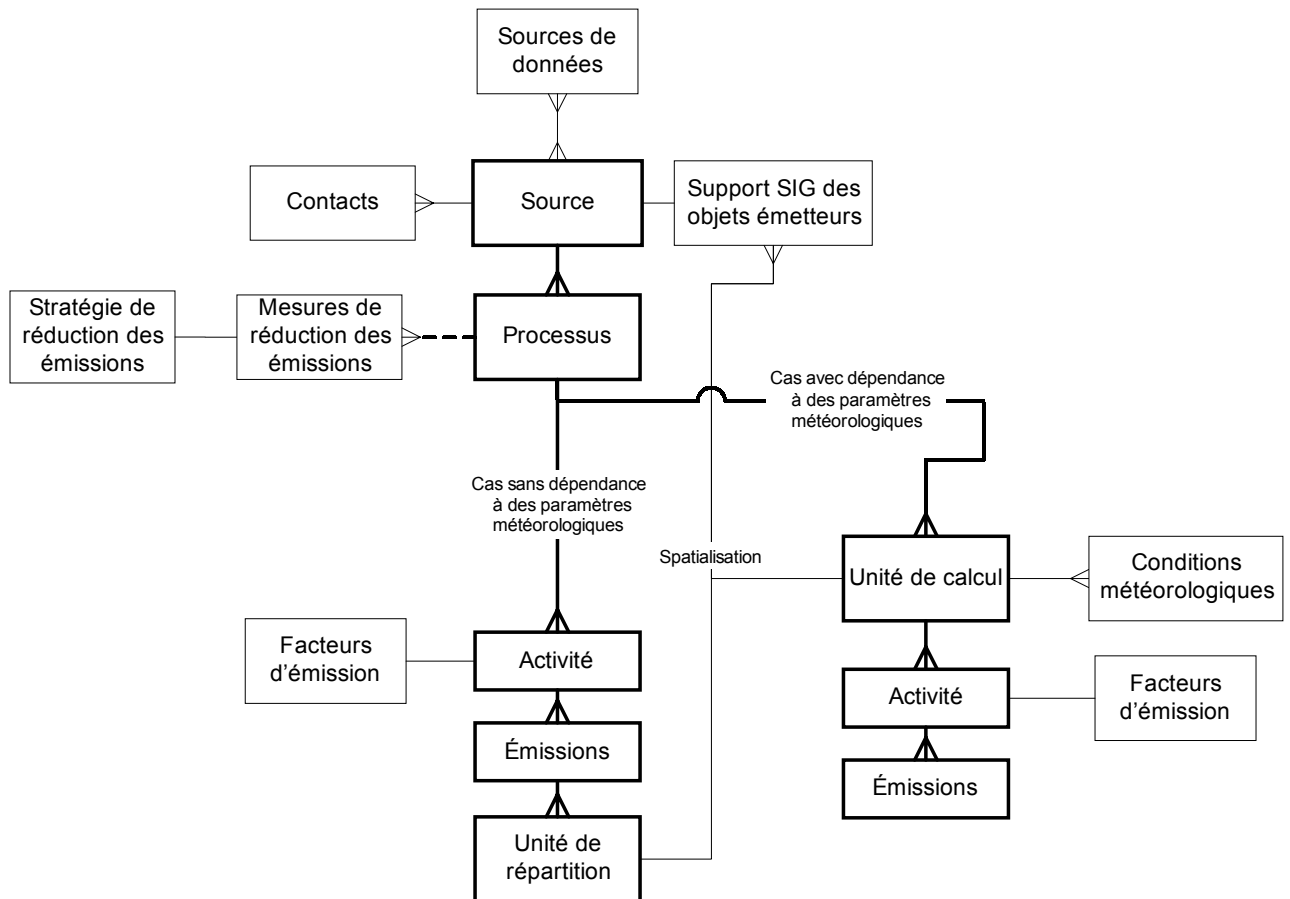


Figure 16 : Diagramme ER élargi pour les sources surfaciques stationnaires

#### IV.2.1.2 Sources mobiles

Les sources mobiles regroupent celles qui par définition ne sont pas fixes dans l'espace. Cette catégorie de source comprend le trafic routier, hors-route (engins agricoles, ferroviaires, trafic fluvial et maritime, ...) et aérien. La nature intrinsèque de ces sources mobiles est linéique, la définition géométrique de la source étant confondue avec la trajectoire, à condition que le nombre de sources mobiles unitaires

soit suffisamment important pour que les émissions puissent être considérées comme continues au pas de temps utilisé<sup>40</sup>.

Pour des raisons de non-disponibilité de la donnée d'activité, de complexité trop élevée pour les modèles de trafic, il est à l'heure actuelle encore impossible de créer des modèles de trafic globaux à l'échelle régionale prenant en compte de manière globale les voies de circulation. Pour cette raison, on utilise une approximation qui décrit le tissu routier en deux catégories distinctes:

- les grands axes routiers: ils sont considérés en tant que réelles sources linéaires qui seront utilisées dans le modèle de trafic et pour lesquelles on dispose en général d'informations détaillées telles que des comptages routiers réguliers. On retrouvera dans cette catégorie toutes les autoroutes, routes nationales interconnectant les villes, boulevards périphériques etc.,
- la voirie de desserte locale: ne servant qu'à la desserte locale et ayant un trafic moindre, on les assimile à un tissu continu traité comme une source surfacique à laquelle on affecte le trafic de déserte.

Ce traitement n'affecte pas le modèle ER de la figure 17 qui ne comprend qu'une branche car il n'y a pas de différence entre les deux types de traitement, données et procédures de calcul étant identiques dans ce cas. En effet, que l'on considère les sources mobiles comme un flux continu (source linéaire) pour les grands axes ou une source diffuse (source surfacique) pour le tissu urbain de rues, la méthodologie reste la même (sauf exception) pour le calcul des émissions, dépendant des vitesses moyennes de parcours et de la composition du parc principalement. La particularité de ce modèle réside dans l'intervention à deux niveaux de la géométrie de la source: d'une part lors de la définition de l'unité de calcul pour des raisons de modèle (prise en compte des voies par tronçons) et d'autre part au niveau de répartition des émissions sur l'unité de répartition à la fin du calcul. On notera aussi l'inversion entre activité et processus par rapport au modèle de source stationnaire qui se justifie par la décomposition d'un flux de trafic (activité globale) en processus (type de véhicule) via l'application d'une décomposition avec un parc de véhicules (statistique).

---

<sup>40</sup> Remarque: la notion de densité de trafic suffisante pour considérer une source linéaire conduit naturellement au cas opposé où la densité est plus faible. Dans ce cas, le traitement du trafic est effectué en terme de source surfacique (exemple: cas du réseau urbain de rues).

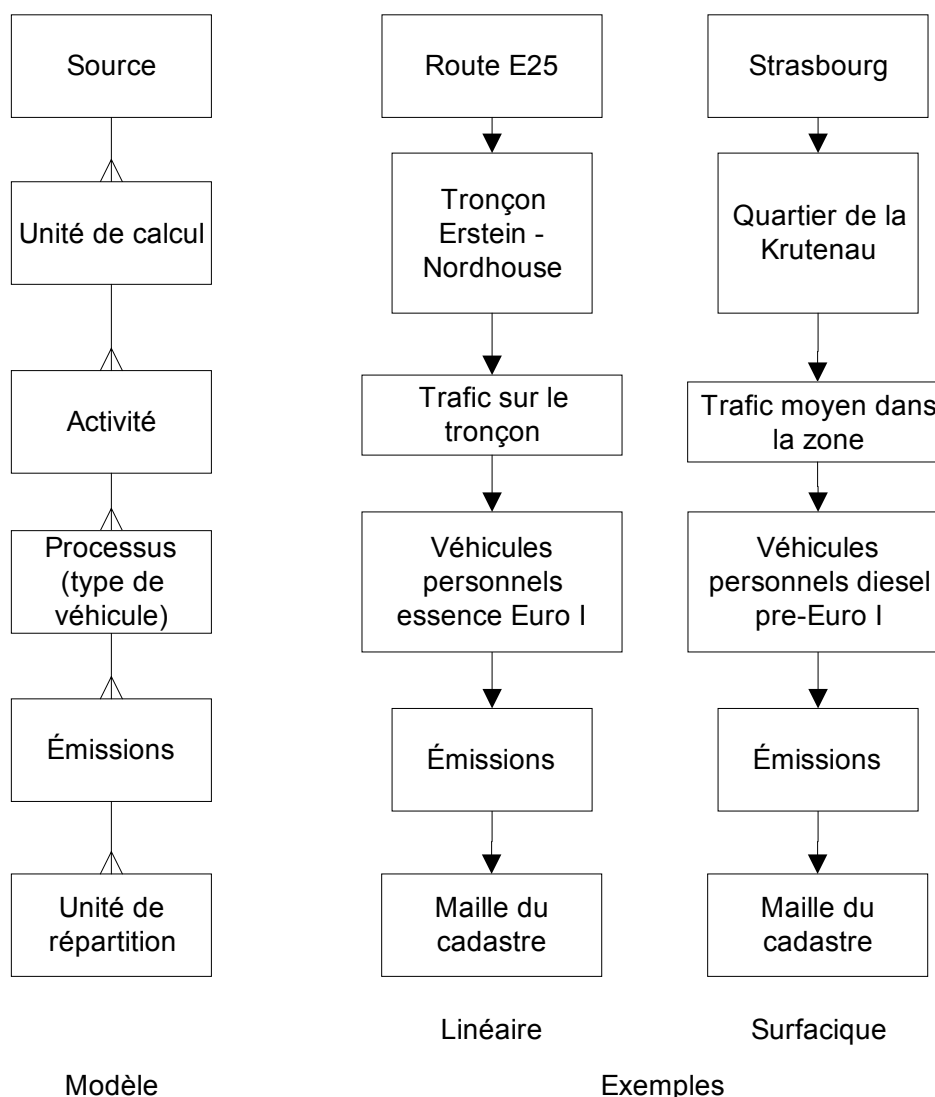


Figure 17 : Diagramme ER pour les sources mobiles

On retrouve les mêmes particularismes sur le diagramme élargi qui n'introduit pas de nouvelles entités de support. On notera que la dépendance vis-à-vis des paramètres météorologiques dans le cas de sources mobiles concerne principalement les processus d'évaporation par respiration des réservoirs (SNAP 0706). Même si ces émissions ne sont pas uniquement des sources mobiles (notamment dans le cas des évaporations des véhicules en stationnement), pour des raisons de commodité (dépendance au trafic et stationnement) et de nomenclature SNAP (classées dans la même catégorie SNAP que les sources mobiles), elles sont en général traitées dans cette partie du modèle.



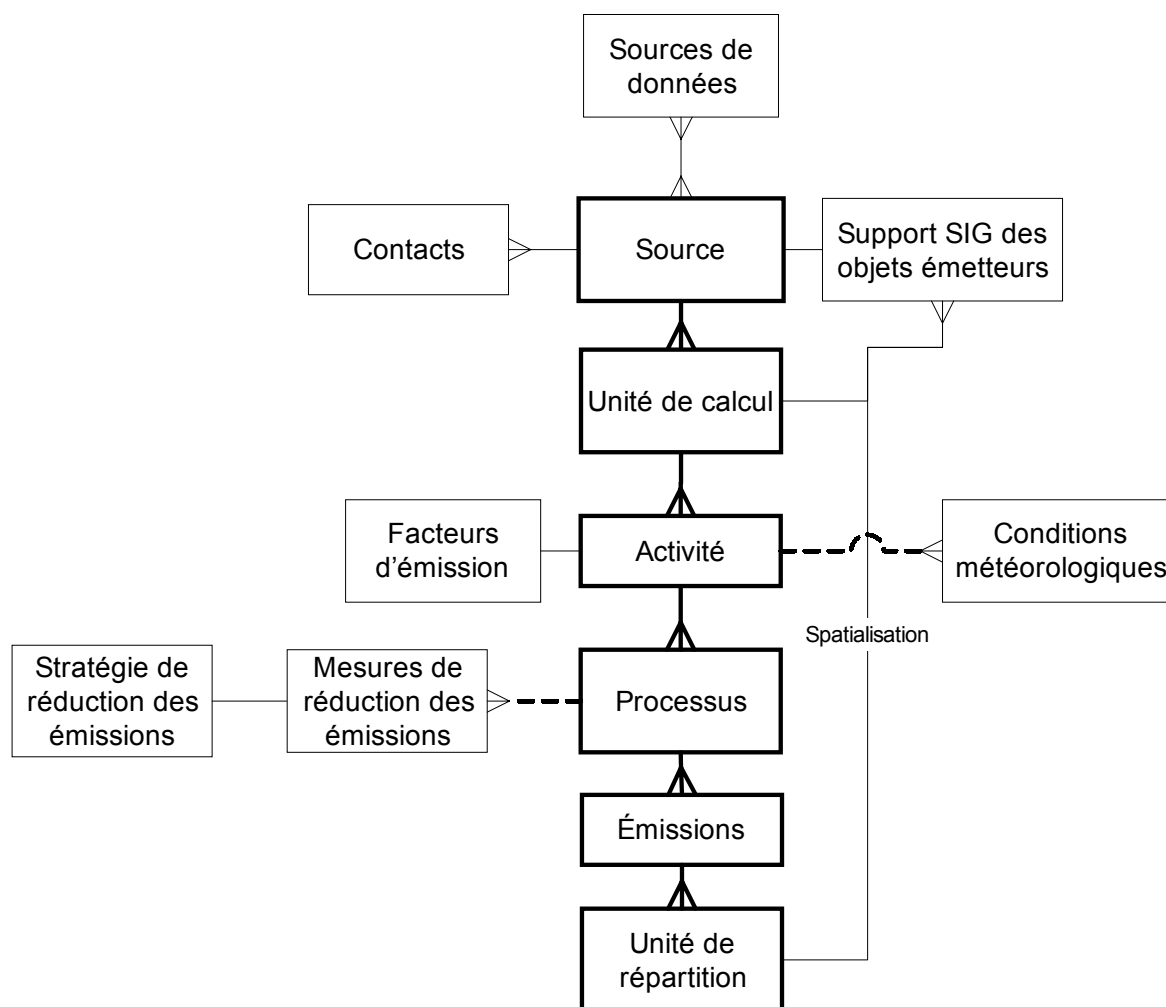


Figure 18 : Diagramme ER élargi pour les sources mobiles

## IV.2.2 Sources de données

Les diagrammes ER n'apportent pas nécessairement de clarification dans notre processus de développement pour le cas général des sources de données. En effet, dans le cas des sources de données primaires, il n'est pas possible de dégager d'information pertinente du fait de la trop grande variabilité des diverses sources de données disponibles. Si nous devons élaborer un modèle général, il n'apporterait aucune information supplémentaire par rapport aux simples entités déjà citées dans les diagrammes des sources du point IV.2.1. Il faut garder à l'esprit que l'on adapte les sources de données non seulement à la résolution spatiale et à la finalité de l'étude mais aussi en fonction des moyens disponibles ainsi que des données effectivement disponibles dans la zone d'étude considérée.

Pour dégager un modèle qui soit pertinent et qui puisse générer de l'information supplémentaire, nous devons nous pencher sur les données telles qu'elles seront utilisées dans notre modèle d'émissions, c'est-à-dire les données déjà retraitées. Cette méthode n'apporte donc pas à priori d'informations complémentaires sur la partie de traitement des données primaires mais fournit plutôt un cadre de travail (de l'Anglais *framework*) pour le retraitement de ces données. Il ne faut pas minimiser pour autant l'intérêt de cette partie car le fait d'utiliser des données retraitées de manière homogène et / ou comparable permet déjà d'obtenir des résultats plus compatibles que dans la plupart des études existantes actuellement. Comme support de discussion et exemple, nous considérerons des aspects mis en avant lors de la réalisation des cadastres du programme ESCOMPTE.

#### **IV.2.2.1 Données météorologiques**

Dans le cas général, deux types de données météorologiques sont disponibles pour la réalisation d'inventaires: des données de mesures (stations météorologiques) et des données de modèles. Dans ces deux cas, Météo-France commercialise ces données. Les réseaux de surveillance de la qualité de l'air peuvent également disposer de stations de mesure (de polluants) qui mesurent aussi par nécessité certains paramètres météorologiques.

Les données "stations" ont l'avantage d'être plus fiables et de disposer d'une résolution temporelle plus fine que celles issues des modèles accessibles (voir tableau 7 et figure 19). Cependant peu de stations sont équipées (environ 10% d'entre elles) pour mesurer le flux solaire et leur disposition est loin d'être régulière: de larges zones étant laissées sans couverture.

Les modèles ont l'avantage de couvrir de manière régulière le territoire mais sont de résolution temporelle plus faible, du moins pour ce qui est des données de Météo-France. Les modèles ont également l'avantage de donner toutes les valeurs des variables météorologiques pour chaque point. On rappellera que les variables utiles pour le calcul des émissions sont principalement la température (sol et air), le flux solaire (nécessaire au calcul du PAR) et la vitesse du vent.

Type	Résolution (UTM 31)	Fréquence des données
Stations	Irrégulière	1 heure
Aladin	8 km (E-O) x 11 km (N-S) ( $\approx 0.2^\circ \times 0.2^\circ$ )	3 heures
Arpège	20 km (E-O) x 28 km (N-S) ( $\approx 0.5^\circ \times 0.5^\circ$ )	6 heures

**Tableau 7 : exemples de caractéristiques de données météorologiques Météo France**

Lors de la réalisation des cadastres pour les programmes ESCOMPTE, nous avons eu à disposition les données des réseaux, des stations de Météo France et les données du modèle Aladin de Météo-France. Ces dernières ne sont en principe disponibles que dans le cas d'un contrat de partenariat avec Météo-France. Elles apportent une amélioration conséquente en ce qui concerne la qualité des données avec une finesse spatiale et un pas de temps raisonnable de trois heures qui décrivent bien l'évolution comme cela est illustré dans la figure 20.

Dans le cas du programme européen BOND<sup>41</sup>, seules les données du modèle Arpège-IFS (Integrated Forecast System) de Météo-France ont pu être utilisées. Les caractéristiques de ce dernier sont bien moins satisfaisantes, tant du point de vue résolution spatiale (plus que deux fois inférieure dans les deux dimensions) que temporelle avec seulement 4 échéances par journée. De plus, le faible nombre d'échéances engendre la présence de flux solaire prédits pendant des périodes nocturnes et nécessitent par conséquent le retraitement d'une partie de ces données.

Météo-France, dans le cadre du partenariat avec le programme ESCOMPTE, nous avait signifié son impossibilité, technique et scientifique, à fournir une donnée spatiale plus fine. Étant donné qu'il ne nous était pas possible d'avoir une maîtrise supérieure à celle de Météo-France concernant les données de son modèle, nous n'avons pas cherché à utiliser une méthode d'interpolation, que ce soit linéaire ou par Krigeage, pour générer les données kilométriques adaptées au modèle d'émissions. Le moyen choisi pour l'attribution de paramètres à la résolution de la grille kilométrique du cadastre dans ce cas a été d'utiliser le point du modèle étant le plus proche voisin du centroïde de la maille considérée (sans interpolation ou correction).

---

<sup>41</sup> BOND: **B**iogenic aerosols and air quality in the **M**editerranean area  
138

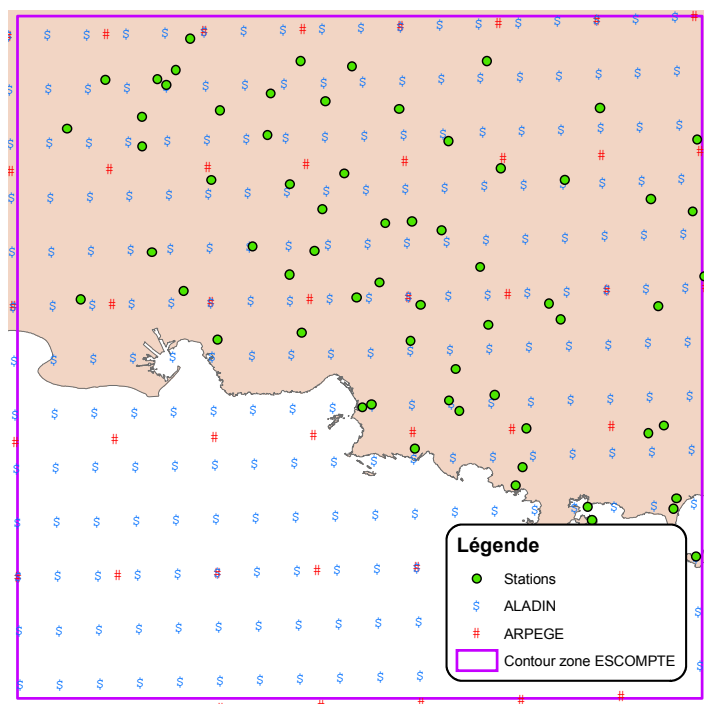


Figure 19 : Différentes résolutions de données météorologiques sur la zone ESCOMPTE (cadre carré en violet)

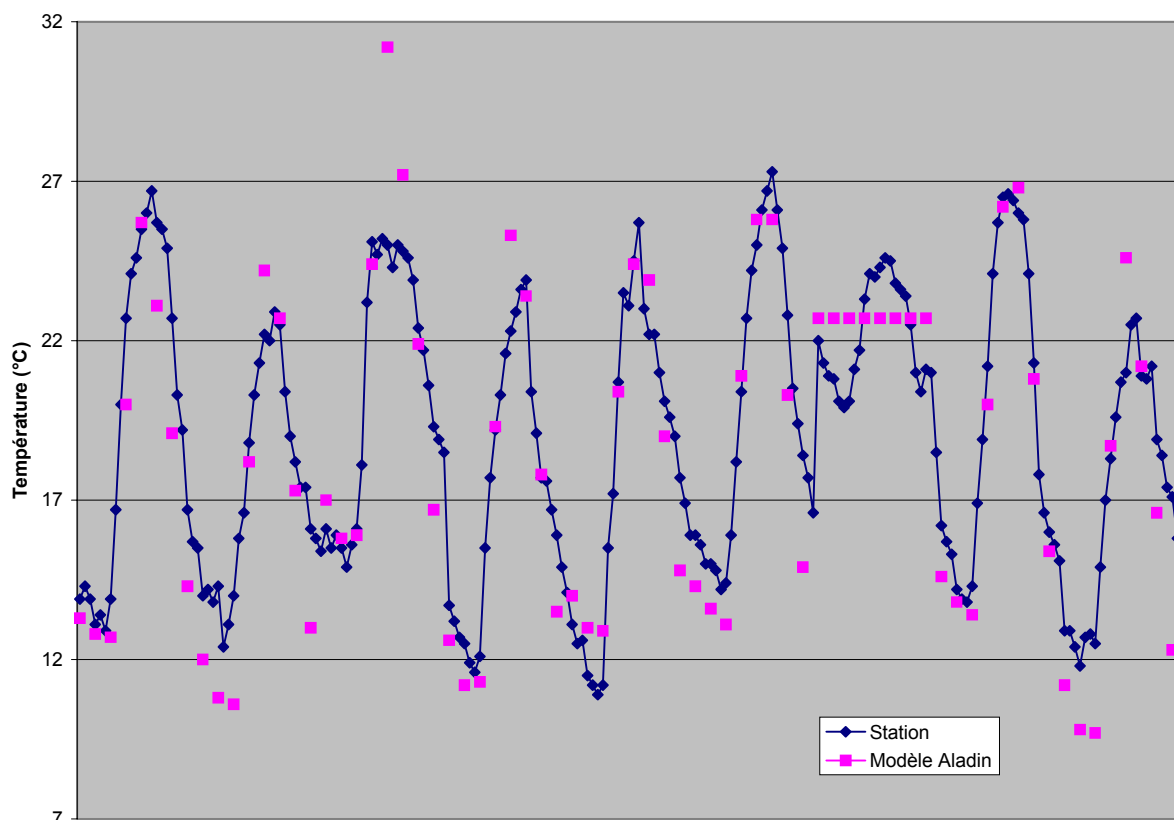


Figure 20 : Comparaison de données de température Aladin et stations Météo-France pour une heure fixée (12h TU 1999/09/04) sur la zone ESCOMPTE (chaque station est comparée à son point de modèle Aladin "plus proche voisin")

Les émissions les plus sensibles aux paramètres météorologiques sont les émissions biogènes et naturelles qui dépendent de la température du sol (émissions dues aux sols), de la température de l'air et du PAR (émissions de la végétation) et de la température de l'eau en surface (émissions de la mer) et de la vitesse du vent (émissions issues de la surface marine).

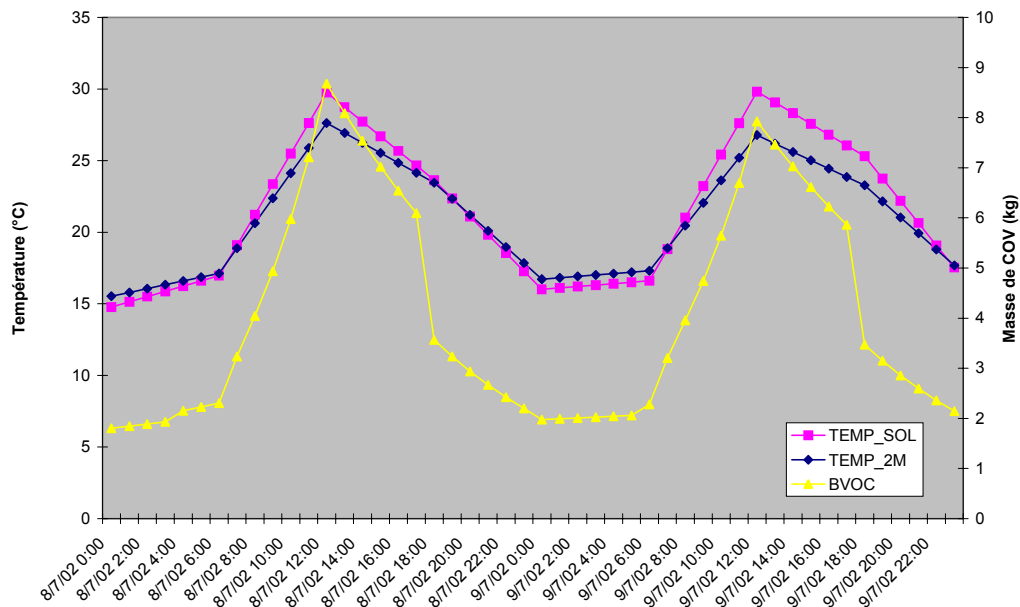


Figure 21 : Évolution de la température et des émissions de COV biogène (Plan d'Aubs) (données BOND fournies par E. Grondin)

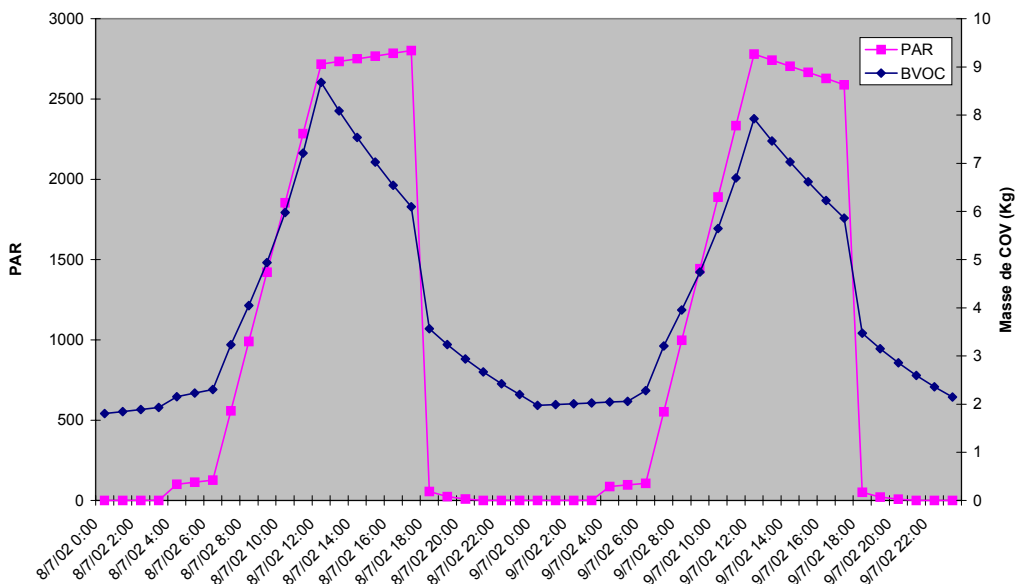
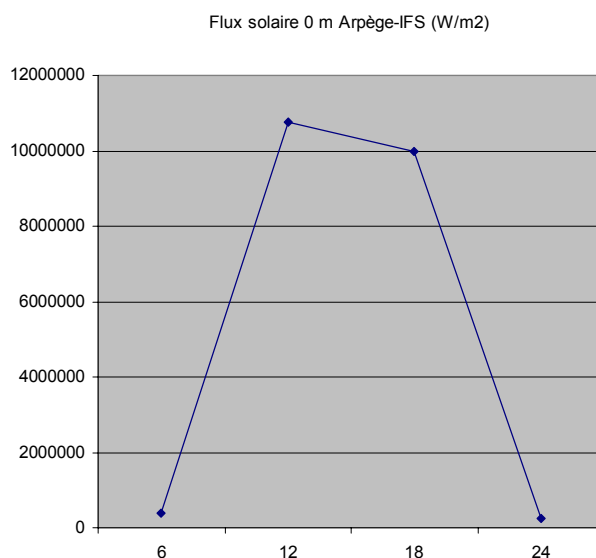


Figure 22 : Évolution du PAR et des émissions de COV biogène (Plan d'Aubs) (données BOND fournies par E. Grondin)

La figure 21 et la figure 22 représentent l'évolution des émissions biogènes de COV totaux (BVOC) calculées pour deux journées dans le cas du programme BOND (méthodologie pour les COV totaux identique à celle du programme ESCOMPTE) avec les données météorologiques du modèle Arpège-IFS de Météo-France. Ces deux graphiques illustrent la dépendance directe entre les paramètres météorologiques et les émissions biogènes. A la vue de ces graphiques, on comprend l'importance du retraitement des données météorologiques brutes fournies par le modèle Arpège-IFS (voir figure 23) pour obtenir des données d'entrée satisfaisantes pour le modèle d'émissions. Les données utilisées ont été retraitées de la manière suivante :

- Une interpolation linéaire a été effectuée entre deux points de données pendant la partie diurne pour les données de PAR et pour toutes les données de température.
- L'apparition du jour est "retardée" à 3h TU pour lisser l'artéfact dû aux données du premier point de données Arpège-IFS, qui correspond à la prédiction à 6h et crée une absence de nuit.
- Une "extinction" forcée du PAR à 18h (TU)<sup>42</sup> est ajoutée pour forcer la nuit absente dans le modèle.



**Figure 23 : Données brutes typique du modèle Arpège-IFS pour le flux solaire**

---

<sup>42</sup> Cela peut sembler tôt car le soleil n'est pas couché à 18h00 TU (soit 20h00 locale en été à Marseille) mais cela n'affecte pas le modèle car le seuil minimal de PAR nécessaire au début de l'activité photosynthétique n'est déjà plus atteint à cette heure.

Dans le cadre d'ESCOMPTE ou de BOND, une interpolation linéaire a été appliquée et donne des résultats satisfaisants que ce soit avec les données Aladin ou Arpège, avec quelques modifications supplémentaires dans le cadre des données Arpège. Les ordres de grandeur des émissions sont satisfaisants et en accord entre les deux jeux de données météorologiques mais l'usage de données Aladin (résolutions plus fines) est toujours préférable.

Une étude complémentaire a été prévue courant 2004, faisant suite à ce travail dans le cadre d'une convention entre AIRMARAIX et le LPCA et dans le cadre du programme européen BOND. Une étude de sensibilité est prévue entre l'usage des données Arpège-IFS et les résultats d'un modèle météorologique de type MM5 (Mesoscale Model 5th generation) (PSU/NCAR, 2003) dans le cas de la zone d'étude de BOND en Grèce et de la zone ESCOMPTE / BOND pour la France. Ceci permettra d'apporter davantage d'éléments pertinents pour comparer ces deux jeux de données météorologiques.

#### **IV.2.2.2 Les données cartographiques et la problématique du format de stockage dans l'applicatif**

Les données cartographiques sont fondamentales pour la spatialisation et le calcul de certaines émissions (agriculture, forêts, ...). Leur format, qu'il soit raster<sup>43</sup> ou vectoriel<sup>44</sup>, est fortement lié au logiciel SIG servant à les manipuler. Il est une fois de plus recommandé de dissocier, comme dans le cas général, au maximum et le plus tôt possible ces données primaires (cartographiques) des données utilisées dans le modèle.

Plus nous pouvons garantir l'indépendance du modèle vis-à-vis des formats propriétaires de données SIG, plus tôt nous écartons les traitements nécessaires mais dépendants du logiciel de SIG. Certes si ces traitements peuvent être automatisés via le scripting (par exemple de type VBA<sup>45</sup>), ils nécessitent cependant

---

<sup>43</sup> Raster: c'est le format de données constitué par une grille de points qui ont pour attribut une variable que l'on veut décrire dans un espace à deux ou trois dimensions. Le fichier raster contient donc des données maillées à deux ou trois dimensions représentées par la valeur du point (ou pixel).

<sup>44</sup> Vectoriel: c'est le format de données dans lequel on représente les objets par leur définition géométrique (à l'aide de points, lignes, arcs, B-splines, ...) à laquelle sont rattachés des attributs permettant de stocker les variables que l'on veut décrire dans un espace à deux ou trois dimensions.

<sup>45</sup> VBA : Visual Basic pour Applications : langage d'écriture de scripts pour l'automatisation dans les logiciels respectant la norme d'automatisation de Microsoft.

un contrôle quasi-manuel, notamment pour la plupart des opérations comportant des intersections géométriques.

En effet, prenons le cas de sources surfaciques qui sont définies par un polygone ou un ensemble de polygones délimitant une étendue spatiale. Leur nature complexe rend l'établissement d'un modèle de données gardant une bonne indépendance vis-à-vis du SIG plus que délicate. A cette fin, nous proposons de généraliser le pré calcul des intersections des polygones de définition des sources avec les diverses grilles ou découpages de restitution.

Ce type de pré-calcul apporte plusieurs avantages à la procédure de traitement des données et de réalisation de l'inventaire, parmi lesquels:

- la limitation des opérations d'intersections à une ou quelques occurrences uniquement, ceci dans un souci de performance de traitement, cette opération étant coûteuse en mémoire et en temps de calcul. Par exemple, une couche d'occupation du sol fine de type Inventaire Forestier National (IFN) peut comporter jusqu'à plusieurs centaines de milliers de polygones et son traitement demande souvent plusieurs dizaines d'heures de calcul.
- ces opérations étant limitées, on peut effectuer de plus nombreux contrôles de qualité (intervention d'un opérateur) pour vérifier le bon déroulement de l'une ou des quelques opérations. Il faut encore garder à l'esprit que même si les SIG sont fiables, les données complexes sont difficiles à manipuler lors des intersections et l'apparition d'effets de bords, lors de découpages ou intersections, ne sont pas rares.

Plusieurs types de découpages/intersections sont à prévoir dans le processus de réalisation de l'inventaire, en fonction bien entendu des données utilisées. D'une manière générale, on peut considérer qu'il est bon de prévoir l'intersection de tous les thèmes de supports utilisés pour les données de calcul par la grille de restitution. Pour cela on peut aisément construire une table de correspondance permettant l'attribution spatiale ou le calcul des émissions sans avoir recours au SIG. La figure 24 illustre le cas de l'intersection entre une grille à 4 éléments (numérotés 1 à 4) d'une couche d'occupation du sol quelconque composée de 4 polygones (numéroté A à D) comprenant 3 catégories représentées par les couleurs (V pour vert, R pour rose et S pour saumon). L'intersection des deux entités géométriques génère un



ensemble de 11 polygones désignés avec la nomenclature  $\alpha.\kappa$  avec  $\alpha \in \{A; B; C; D\}$  et  $\kappa \in \{1; 2; 3; 4\}$ .

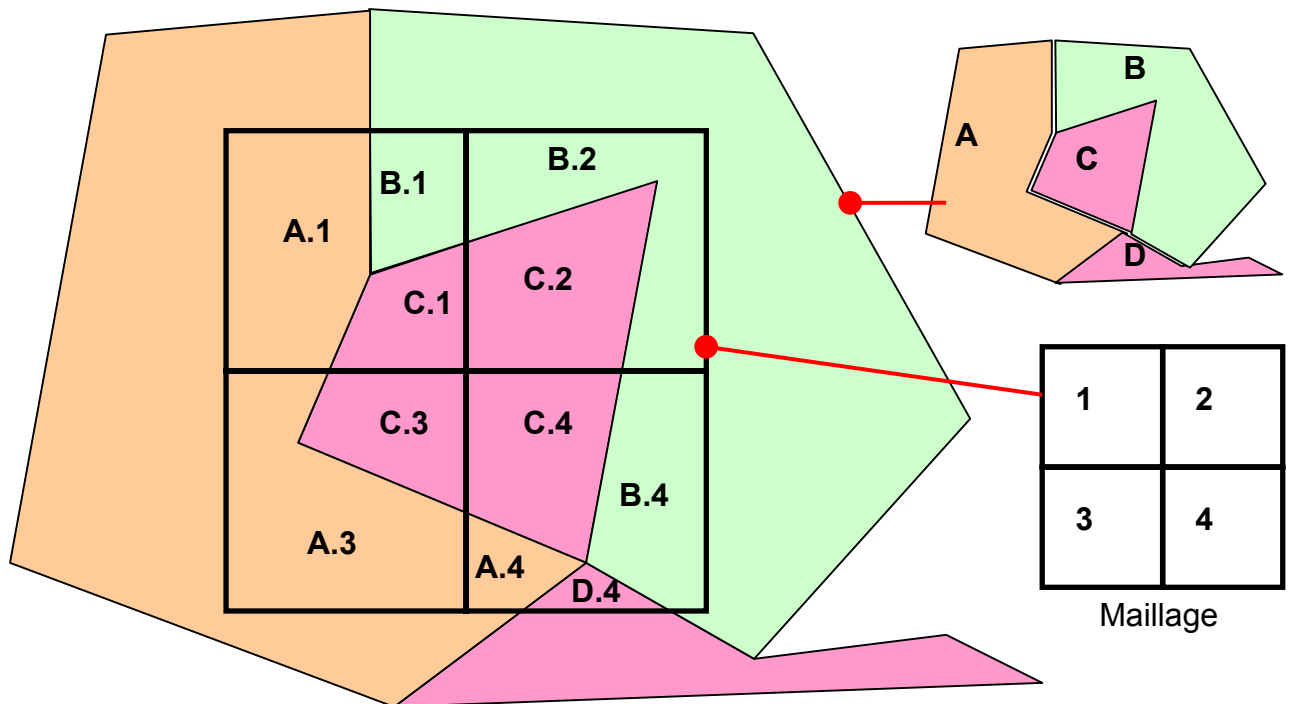


Figure 24 : Exemple d'intersection géométrique

On note  $S_i$  la surface du polygone d'indice  $i$  et l'on peut construire des tables contenant l'information équivalente à celle stockée dans la représentation géométrique. Par exemple, on peut construire une table d'occupation du sol maillée comme illustré dans le tableau 8 en regroupant les surfaces des polygones d'une même classe d'occupation du sol.

Identificateurs		Classes d'occupation du sol		
		V	R	S
Maillage	1	$S_{B.1}$	$S_{C.1}$	$S_{A.1}$
	2	$S_{B.2}$	$S_{C.2}$	0
	3	0	$S_{C.3}$	$S_{A.3}$
	4	$S_{B.4}$	$S_{C.4}+S_{D.4}$	$S_{A.4}$

**Tableau 8 : exemple de table de correspondance de découpage géométrique : une occupation du sol sur un maillage**

On peut également considérer chaque polygone comme une source surfacique et utiliser l'indice  $\alpha.k$  définit pour stocker l'information complète sur chaque entité générée lors de l'intersection comme illustré dans le tableau 9. Ce tableau permet d'effectuer l'attribution correcte des émissions aux mailles {1; 2; 3; 4} basées sur un calcul effectué sur chaque élément surfacique de {A; B; C; D}.

Identificateurs	Ratio	Classe
A.1	$S_{A,1}/S_A$	S
B.1	$S_{B,1}/S_B$	V
C.1	$S_{C,1}/S_C$	R
B.2	$S_{B,2}/S_B$	V
C.2	$S_{C,1}/S_C$	R
A.3	$S_{A,3}/S_A$	S
C.3	$S_{C,3}/S_C$	R
A.4	$S_{A,4}/S_A$	S
B.4	$S_{B,4}/S_B$	V
C.4	$S_{C,4}/S_C$	R
D.4	$S_{D,4}/S_D$	R

**Tableau 9: exemple de table de correspondance de découpage géométrique : un ensemble de sources surfaciques sur un maillage**

Dans le cas "usuel", on aura plutôt affaire au cas inverse, c'est-à-dire des sources plus grandes que la maille de restitution et couvrant complètement plusieurs mailles, mais la construction des tables est strictement identique.

En construisant de manière similaire les tableaux de découpe et d'intersection avec les thèmes utilisés (découpages administratifs, Îlots et Iris INSEE, régions agricoles, etc.) on obtient un ensemble de tables qui contiennent toute l'information utile pour la réalisation de l'inventaire et sont utilisables par n'importe quel système de gestion de données, en particulier un système de gestion de bases de données bureautique tel que Microsoft Access ou un serveur de bases de données tel que Microsoft SQL Server.

Avec cette méthode, le nombre de tables de correspondances à construire est élevé mais reste raisonnable et offre de nombreux avantages pour la conception et le déploiement d'applications nécessaires pour la réalisation d'inventaires.

Le premier avantage est de ne manipuler que des entités tabulaires, soit la forme naturelle de données pour un SGBD, facilitant la mise en place d'outils via les automatismes et bibliothèques de manipulation d'objets. Ceux-ci sont intégrés aux environnements de développement intégrés (EDI<sup>46</sup>) contemporains, que l'on utilise un langage de style Microsoft Visual Basic ou tout autre langage RAD<sup>47</sup>.

La gestion dans un SGBD permet de faciliter les échanges et les transferts de données d'un système de gestion à un autre. Cela peut se faire soit directement via l'importation de données (format courants xls, dbf, mdb, .xml, etc.) ou par des interrogations directes entre deux systèmes, via des requêtes SQL<sup>48</sup> ou un driver "ODBC"<sup>49</sup> auquel est adjoit un moteur de gestion de données de type "Jet Database Engine" qui sont les composants utilisés dans l'environnement Windows pour assurer la connectivité avec des bases de données d'autres fabricants de logiciels. Cette gestion permet de prévoir la possibilité de transferts simples et efficaces entre deux entités calculant des inventaires, procurant ainsi une solution aisée à notre objectif d'amélioration des transpositions des travaux et du partage des données.

Dans le cas de notre étude, la structure légère de type de base de données bureautique que représente Access est épaulée par la possibilité de migrer nos développements et données vers un serveur SQL Server, assurant ainsi une bonne possibilité de "*scalability*" (qualifie le bon comportement d'une solution, méthode ou logiciel, à traiter correctement un problème quand la taille du problème augmente). On peut ainsi concevoir une implantation légère sur une base bureautique pour démarrer la construction d'un cadastre et suivant les besoins, évoluer vers un système plus lourd permettant de gérer correctement les accès concurrentiels (accès simultanés de plusieurs utilisateurs dans un SGBD) ou de produire des données pour

---

<sup>46</sup> On trouve souvent l'acronyme dans sa version anglaise IDE pour Integrated Development Environment. Désigne un environnement de développement comprenant de nombreuses bibliothèques facilitant l'intégration de l'application au système d'exploitation ou aux autres applications.

<sup>47</sup> RAD: Rapid Application Development : se dit d'un langage de haut niveau qui comporte de nombreux assistants et bibliothèques permettant de gérer de manière simple les sources de données et interfaces graphiques via un haut niveau d'encapsulation des données d'échange entre les divers composants

<sup>48</sup> SQL : Structured Query Language : c'est le langage standard permettant de formuler des requêtes dans un SGBD pour créer, mettre à jour et consulter les données.

<sup>49</sup> ODBC: Open Data Base Connectivity: standard de développement de drivers permettant d'accéder à des SGBD via une interface unifiée (méthode et objets standardisés) et indépendante du type de base de données et du système d'exploitation l'hébergeant.

la modélisation dans un mode "online" (ex: sorties automatisées de données d'émissions qui sont utilisables directement dans un modèle de chimie transport).

Le dernier point dans cette partie concerne l'uniformisation des bibliothèques de développement dans le cas de l'environnement choisi (MS Access / SQL Server / VB) avec notamment la librairie ADO<sup>50</sup>. Ceci permet de développer une partie applicative qui peut s'appuyer aussi bien sur un moteur SGBD bureautique ou serveur, permettant d'accéder à un niveau de flexibilité plus important pour l'applicatif, sans occasionner de surcoût conséquent dans l'étape de développement. De plus, cela garantit de bonnes performances pour les parties du logiciel travaillant avec les objets natifs car on minimise les couches d'abstraction logicielle. Par exemple, dans le cas du logiciel de SIG ArcGIS, lorsque l'on accède aux données d'une base Access, les données étant lues via le moteur Microsoft Jet et non directement, on ajoute une couche logicielle qui diminue sévèrement les performances du fait des besoins très élevés en ressources (espace mémoire et bande passante en accès séquentiel aux disques) pour ce genre d'application de visualisation. Un développement raisonné utilisera un format lu de manière native par ArcGIS comme par exemple le format générique dbase 4.0, via un fichier temporaire (généré et détruit après usage), afin de préserver la performance lors d'une visualisation de résultats.

### **IV.2.2.3 Données tabulaires**

L'intégration des données tabulaires ne constitue pas un problème car elles sont des données typiquement natives dans notre cas de système de gestion intégré à un SGBD. Comme cela a été précédemment décrit, la plupart du temps il n'y a qu'une conversion de fichier à effectuer (importation) afin de les intégrer dans le système où l'on peut alors procéder à des transferts directs (ODBC, SQL, etc). Notre propos ici sera de présenter quelques exemples de types de données impliquées dans la construction d'un inventaire.

#### ***IV.2.2.3.1 Identificateurs géographique (ou de surface)***

---

<sup>50</sup> ADO: ActiveX Data Object : c'est la librairie principale de manipulation d'objets provenant de bases de données dans l'environnement microsoftien. Via le couplage avec le moteur Jet et les driver ODBC, l'accès est possible à virtuellement toute source de données mais pour les sources externes, la performance et les fonctionnalités maximales ne sont pas forcément garanties et sont fonction de la qualité du driver utilisé.

En général la notion de spatialisation géographique implique nécessairement celle de la définition d'identificateurs géographiques. Il s'agit du code qui permet la reconnaissance d'un élément géographique unique. On reprend ici les principes mis en place (AIRMARAIX / LPCA) dans le cas du programme ESCOMPTE.

Dans un souci d'utilisation fonctionnelle à l'issue du projet ESCOMPTE, il a été nécessaire d'adopter une nomenclature commune sur ce point. Nous avons considéré deux types d'éléments géographiques :

- Des éléments issus du découpage administratif (Îlots, IRIS ou quartiers, communes, cantons, arrondissements et arrondissements municipaux, unités urbaines, aires urbaines, départements, régions, ...).
- Des éléments géométriques plus ou moins arbitraires (maillage généralement régulier, polygones regroupant des surfaces comportant un ou plusieurs critères communs, ...).

Le but de l'introduction d'une nomenclature de ce type est de faciliter le regroupement géographique sans avoir à faire des traitements sous SIG, notamment pour des cas de regroupements :

- par source, lorsque celle-ci est identifiée : poly-ligne (transports), points (cheminées) ou polygones (surfaces)
- par élément administratif : regroupement par commune (pour toutes les communes) et par Îlots / IRIS / quartier (pour les communes où ces découpages sont disponibles),
- par éléments géométriques : cellule du maillage kilométrique

Il est donc important de prévoir une nomenclature permettant un traitement automatisé (informatique) et suffisamment flexible pour qu'elle puisse être adaptée lors de l'extension de la zone d'étude. On peut consulter en annexe 3 l'exemple des identificateurs de surface utilisés dans le programme ESCOMPTE.

#### ***IV.2.2.3.2 Données d'activité***

On considère ici la donnée d'activité au degré de représentation le plus fin qui soit pertinent pour le calcul des émissions. Cette donnée doit être naturellement organisée pour répondre au critère d'identificateur géographique précédemment introduit mais aussi respecter le référencement de la SNAP (ou nomenclature

adaptée d'activité) et éventuelle NAPFUE (ou nomenclature de carburant adaptée) nécessaires dans la méthodologie de calcul des émissions.

La variété des formes de données rencontrée ne donne pas lieu à des généralisations très abouties, tant sous forme de modèle de données que de formats génériques de table. Chaque modification des données, en fonction du type d'étude et de sa finalité, affecte en effet très profondément la nature de ces objets. C'est donc principalement la structure du modèle d'émission qui va conditionner la forme qui devra être adoptée pour la donnée. Dans une situation typique, on retrouvera néanmoins en général ces points communs à toutes les données d'activité:

- Un identificateur unique d'activité: un code unique permettant de relier l'activité génératrice d'émission à l'entreprise, la statistique ou le phénomène qui en est la source.
- Un code d'activité (SNAP ou autre): une donnée d'activité traitée doit nécessairement être directement rattachée à une classification d'activité. Cette classification peut en général s'exprimer en tant que combinaison d'une classification d'activité (SNAP, NAF, ...) combinée éventuellement avec une classification de carburants (NAPFUE) dans le cas d'activités impliquant une combustion.
- Un type de source: pour identifier sous quelle forme on modélise les émissions dans le cadastre.
- L'activité: la valeur de l'activité considérée qui est utilisée pour le calcul.
- L'unité: l'unité attachée à la valeur donnée pour l'activité (unité d'énergie, quantité de carburant, tep<sup>51</sup>, effectif, ...).

---

<sup>51</sup> Tep: tonne équivalent pétrole (1 tep = 46 GJ)

### **IV.3 Organisation générique du progiciel**

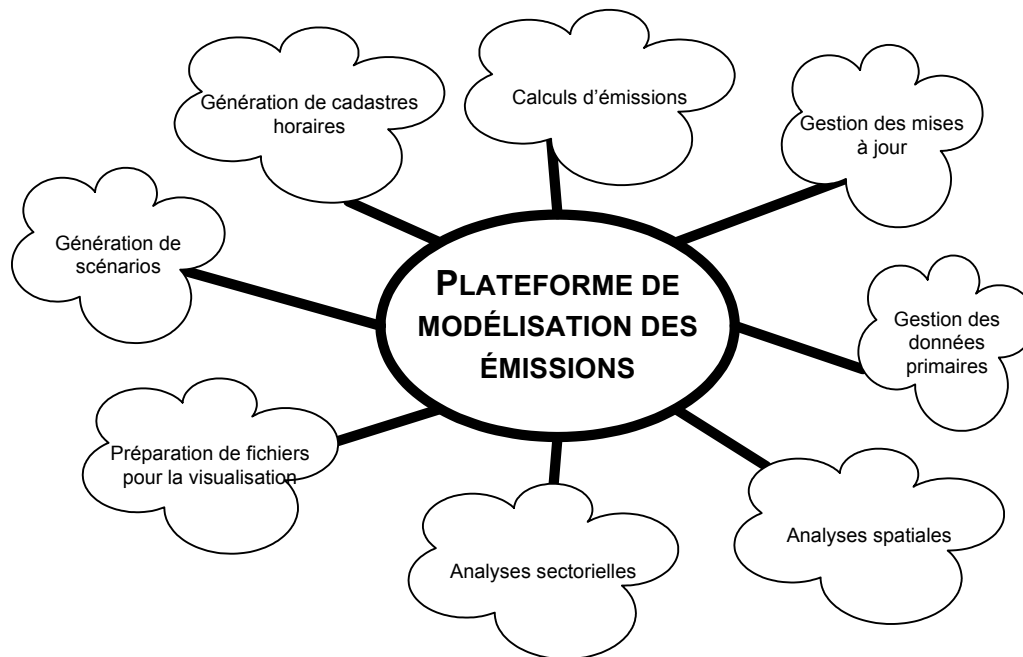
Cette partie présente les recommandations issues de notre étude sur les bonnes pratiques de développement de logiciel pour le calcul d'émissions. On rappellera que nos objectifs principaux à travers ces recommandations :

- Pérenniser le travail investi dans les travaux de réalisation d'inventaires régionaux,
- augmenter la productivité et la fiabilité des traitements en promouvant l'automatisation des tâches de traitement des données (diminution des erreurs humaines),
- permettre une meilleure collaboration inter-régionale voir trans-frontalière pour faciliter la complétion des bases de données via des échanges.

Les descriptions resteront très générales dans ce paragraphe afin d'éviter de poser des contraintes sur la manière de concevoir l'implémentation fonctionnelle des objets décrits. Notre but n'est pas de donner l'organigramme strict d'un logiciel mais de présenter des recommandations permettant de créer une structure flexible pouvant s'intégrer avec les réalisations effectuées dans ESCOMPTE et lors des développements complémentaires en particulier pour l'extension régionale PACA des cadastres ESCOMPTE.

#### **IV.3.1 Structure générale**

La première phase de la conception consiste à définir ce que l'on désire faire avec le logiciel. Les émissions pouvant servir dans un grand nombre d'études de qualité de l'air, les besoins en sont variés. Que l'on considère une perspective de modélisation de la qualité de l'air (ex: photochimie et ozone troposphérique), d'étude d'impacts (ex: incinérateurs d'ordure, émissions de métaux lourds, ...) ou des tâches plus spécifiques aux réseaux de surveillance de la qualité de l'air comme la participation au PPA (Plan de Protection de l'Atmosphère) ou PRQA (Plan Régional de Qualité de l'Air), on retrouve les mêmes besoins qui sont schématisés dans la figure 25. Certaines tâches sont seulement dédiées au calcul ou à la mise à jour de l'inventaire, d'autres à la génération de scénarios ou de cadastres horaires ou encore à des études sectorielles ou spatiales (y compris la préparation de fichiers SIG pour la cartographie des émissions).



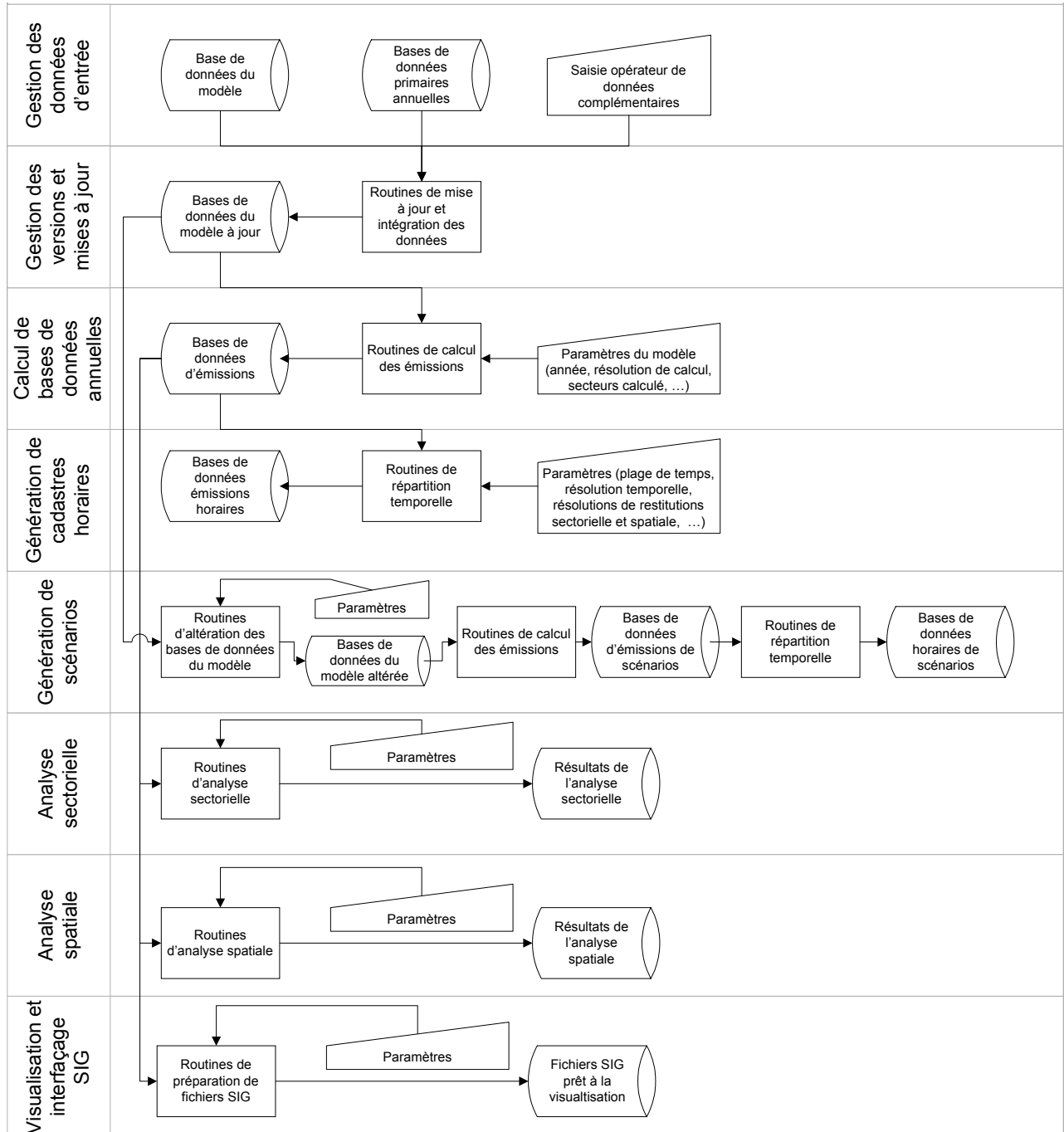
**Figure 25 : Fonctions principales considérées pour une plateforme de modélisation des émissions**

En première analyse, lors de l'évaluation et de la définition des objectifs, les tâches sont positionnées de manière disjointe et on doit ensuite mettre en évidence l'imbrication de ces divers composants pour commencer à dégager la structure de la plateforme comme sur la figure 26. Ce diagramme de flux fonctionnel situe les principaux groupes de données et routines de calcul en fonction de leurs usages, chaque ligne représentant une tâche de travail.

L'analyse de ce diagramme permet de classer les diverses bases de données et les routines suivant leur fréquence d'utilisation et de commencer la planification du temps de développement de manière à optimiser les composants qui seront le plus sollicités. Par exemple, les routines de mise à jour de la base de données du modèle seront en général sollicitées une fois par an pour une mise à jour annuelle de cette base de données: on peut accepter un temps de calcul long pour ces opérations et privilégier les aspects de fonctionnalité au détriment de la performance. Au contraire, les routines de répartitions temporelles et de calculs des émissions seront sollicitées quasiment à chaque étude de scénario ou de modélisation de qualité de l'air: dans ce cas, il est impératif d'alléger au maximum ces fonctions pour garder la meilleure performance possible en ne gardant que les fonctions indispensables. Il sera



également profitable de prévoir un logiciel fonctionnant automatiquement (timer, batch, ...) pour préparer des cadastres horaires par exemple dans le cas de modélisations prédictives de la qualité de l'air qui seraient effectuées quotidiennement.



**Figure 26: Diagramme de flux : flux représentés en fonction des classes de fonctionnalités générales d'un outil de calcul d'émissions**

(les symboles sont à prendre au sens classiques pour un diagramme de flux: rectangles pour les processus, trapèzes pour les paramètres et entrées manuelles de données et cylindres pour les stockages physiques de données)

Pour les objectifs de fonctions d'analyses, sectorielles ou spatiales, nous devons également considérer le nombre d'unités d'œuvre nécessaires pour réaliser le travail. Dans un traitement manuel, l'opérateur doit effectuer manuellement les requêtes SQL sous SGBD, les traitements spatiaux sous SIG ou les sommes à l'aide d'un tableur permettant de générer le résultat désiré. Il doit ensuite éventuellement exporter ses résultats, effectuer une jointure avec un thème de support géographique dans le SIG pour obtenir une cartographie des émissions. Dans cette situation, nous avons affaire principalement à des tâches répétitives sur des séries de données qui peuvent être facilement automatisées. Le caractère à privilégier est alors l'interface et la flexibilité fonctionnelle, le temps de calcul étant de toute façon négligeable en comparaison du coût représenté par les unités d'œuvre.

Ces exemples de fonctions et priorités (optimisation, fonctionnalité, ...) à affecter aux divers composants du programme font partie de la deuxième phase de conception du logiciel où l'on fixe la structure générale et où l'on commence à prévoir le diagramme de flux comme il est présenté sur la figure 27. Cela permet de structurer correctement le cahier des charges de développement de l'outil. Ce travail s'accompagne ensuite de la définition des interfaces des diverses routines de calcul. Il apparaît immédiatement que si ce schéma est plus parlant d'un point de vue structure et enchaînements des divers modules en fonction des tâches, il est également bien moins lisible du point de vue fonctionnel. On retrouvera ce problème lorsque l'on augmentera encore le niveau de détail des organigrammes.

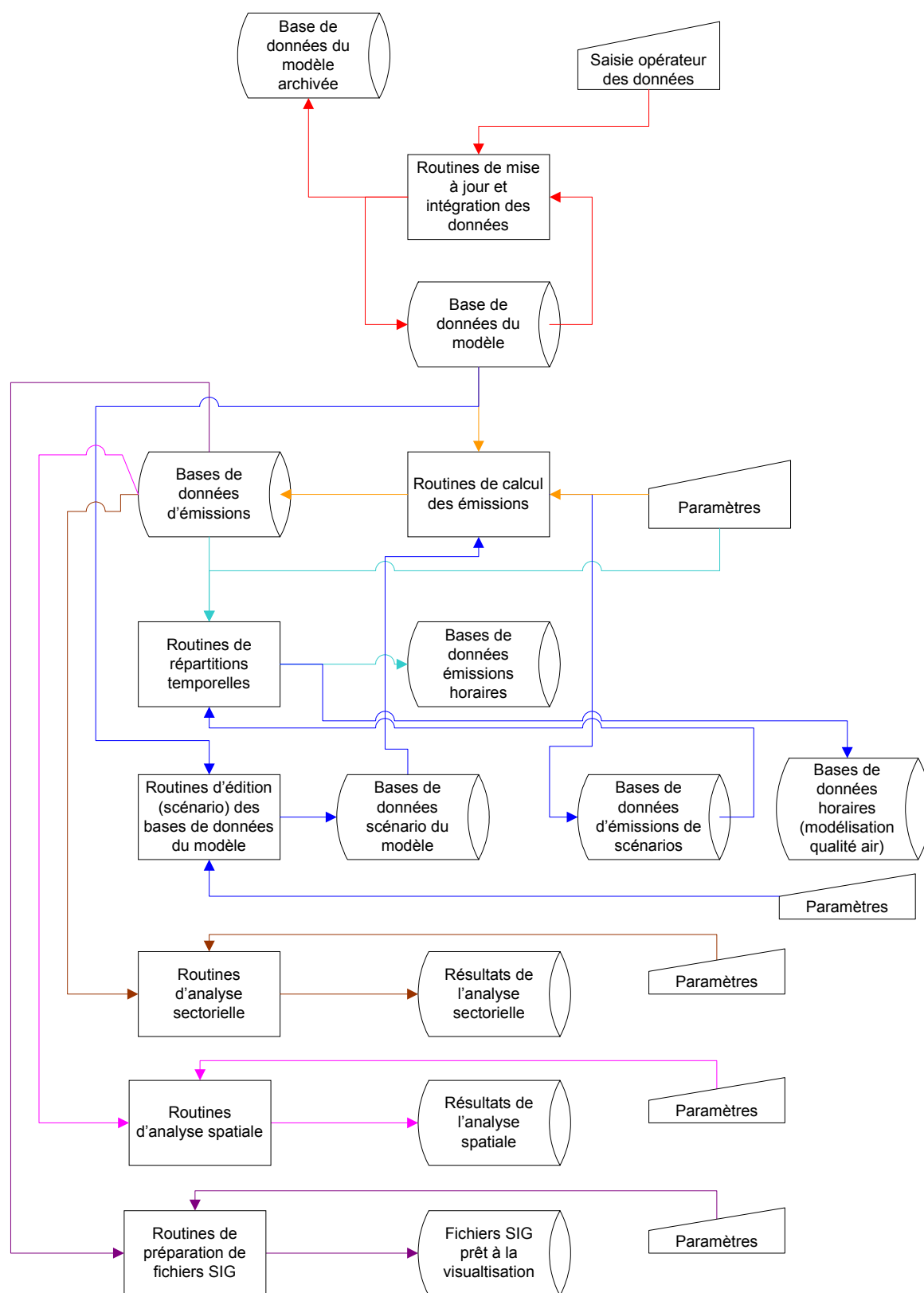


Figure 27 : Diagramme de flux: vue simplifiée de l'outil

(les couleurs n'ont pas de signification intrinsèque et ne servent qu'à faciliter la lecture)

### IV.3.2 Calcul d'émission (générique)

La procédure de calcul des émissions à partir de données d'activité ayant la formulation appropriée ne pose aucun problème algorithmique. Elle se réduit souvent à une simple règle de trois comme précédemment exposé. Il en découle une organisation qui n'est pas forcément aussi simple qu'il n'y paraît (voir figure 28).

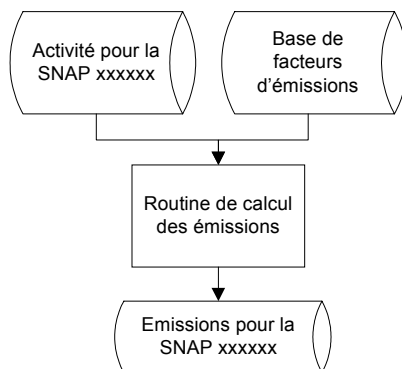


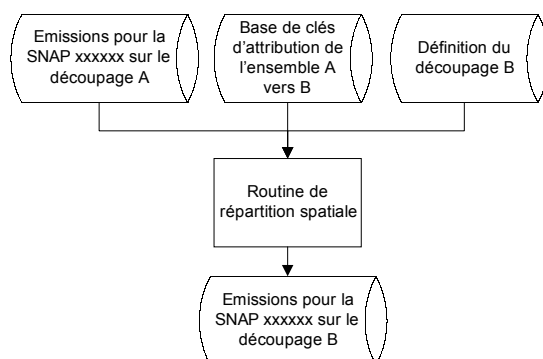
Figure 28: diagramme de flux d'un calcul d'émissions

Les cas présentant une structure plus complexe concernent en général les modèles pour le trafic routier (dépendance non linéaire au volume de trafic avec effets possibles de saturation des réseaux) ou encore les émissions biotiques (dépendances non linéaires aux paramètres météorologiques). Dans ces cas, il est nécessaire de scinder la partie "données d'activité" en plusieurs tables ou bases de données distinctes pour plus de flexibilité, ce qui permet de séparer les définitions statiques à l'échelle de temps du cadastre (ex : définition du réseau routier, occupation du sol, ...) des données variant dans le temps (ex : volumes de trafic routier, paramètres météorologiques). Cette séparation permet également de minimiser les redondances dans les données stockées.

### IV.3.3 Traitement d'attribution spatiale

Le traitement d'attribution spatiale (voir figure 29) n'est pas plus compliqué lorsqu'on le considère comme étant une application de clés prédéfinies servant à l'allocation des émissions d'un découpage A (en général le découpage administratif sur lequel les données d'émissions sont calculées) vers un découpage B (en général le maillage de représentation du cadastre). La partie complexe réside dans la génération des clés de transfert de A vers B et fait appel en général à de nombreux calculs d'intersections géométriques. Cette partie est gérée de manière native et efficace dans les logiciels SIG et il nous semble logique à ce moment de l'exclure du

logiciel de calcul afin de ne s'occuper que de la partie concernant l'application de ces clés.

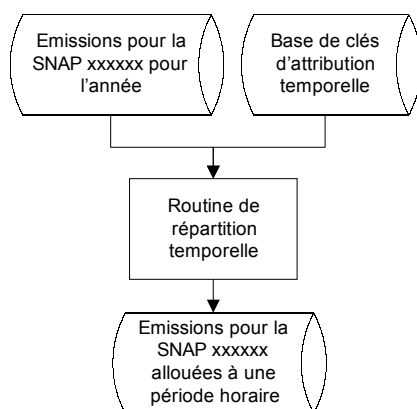


**Figure 29: diagramme de flux d'une opération de spatialisation d'un découpage A vers un découpage B**

Il est d'autant plus utile de séparer la génération des clés de leur application que lesdites opérations d'intersections géométriques sont extrêmement coûteuses en temps de calcul. Refaire ces intersections à chaque calcul d'émissions maillées occasionnerait un bien trop grand temps de calcul et rendrait le logiciel effectivement inutilisable, en particulier dans le cas d'inventaires d'émissions de sources de type biotique, qui doivent être calculés à une résolution horaire ou équivalente y compris lorsque l'on veut obtenir un inventaire uniquement annuel.

#### IV.3.4 Traitement de modulation temporelle

L'application de modulations temporelles (figure 30) ne diffère pas des procédures de calcul, l'application de clés se faisant en fonction de l'activité et de la typologie de jour (ex : jour de semaine, samedi, dimanche, jour férié) ou en utilisant des données d'activités réelles (ex : données d'auto surveillance).



**Figure 30: diagramme de flux d'une opération d'attribution temporelle des émissions**

#### **IV.4 Conclusion**

La plupart des cas exposés dans ce chapitre mettent en avant que l'apparente simplicité des algorithmes de calcul rencontrés dans la réalisation d'un inventaire cache en réalité la complexité de la mise en adéquation des données nécessaires aux calculs effectués dans les méthodologies disponibles. Il s'agit de tâches relativement simples mais très répétitives (les étapes de calcul, la spatialisation, la répartition temporelle et les autres manipulations des données) qui sont trop coûteuses en regard des crédits, tant humains que financiers, souvent accordés à la réalisation de telles études.

Nous allons voir dans les deux chapitres suivants différents exemples d'applications informatiques que nous avons développés dans l'optique de réduire les coûts de ces opérations pour lesquelles l'automatisation peut être mise en œuvre. L'objectif de cette automatisation est double: dans un premier temps, elle permet des économies de temps sur des réalisations maîtrisées (ex : méthodologie validée sur un programme comme dans le cas du programme ESCOMPTE) et dans un second temps, les économies de temps peuvent être mises à profit pour explorer des voies complémentaires d'amélioration des cadastres, comme c'est le cas dans l'extension régionale du cadastre ESCOMPTE à la région PACA ou comme ce le sera dans les futurs scénarios d'émissions du programme PRIMEQUAL 2.



### ***Références bibliographiques***

Booch, G. (1993) : Object – Oriented Analysis and Design with Applications. Addison-Wesley Pub Co

EPA (1999) : EIIP Volume VII, Chapter 1: Phase I Data Model. EPA.

Jacobson, I.; Christerson, M.; Jonsson, P.; Overgaard, G. (1992) : Object-Oriented Software Engineering – A Use Case Driven Approach. ACM Press/Addison Wesley.

OMG (2003): Unified Modeling Language Specification Version 1.5. Object Management Group ([www.uml.org](http://www.uml.org) / [www.omg.org](http://www.omg.org))

PSU/NCAR (2003) (Pennsylvania State University / National Center for Atmospheric Research) Mesoscale Model : [www.mmm.ucar.edu/mm5](http://www.mmm.ucar.edu/mm5)

Rumbaugh, J. R.; Blaha, M. R.; Eddy, F.; Lorensen, W.; Premerlani, W. (1990): Object – Oriented Modeling and Design. Prentice Hall.





## **Chapitre 5: Outils de réalisation d'inventaires d'émissions biotiques**

Dans le cadre du programme ESCOMPTE, comme précédemment évoqué au chapitre II, une des contributions de la modélisation des émissions pour la zone d'étude ESCOMPTE comprenait l'ensemble des émissions biotiques, qu'elles soient d'origine anthropique (culture, élevage, forêts exploitées, ...) ou naturelle (forêts non exploitées, faune et flore sauvage, ...). Suite à une restructuration de la réalisation des contributions lors de la réalisation, le LPCA, déjà en charge de la coordination de l'ensemble de la partie émissions du programme, a dû reprendre en charge la partie concernant la réalisation de l'outil de calcul et de mise à jour des émissions de cette contribution. Avec comme point de départ l'étude méthodologique approfondie réalisée par l'ENSIACET et les données disponibles, nous avons déterminé le cahier des charges de l'outil, la structure du logiciel et effectué son développement. Cet outil a bénéficié par ailleurs de développements internes complémentaires dans le cadre du programme BOND et de collaborations (avec AIRMARAIX). Il a été validé et optimisé sur ces deux programmes et une version dédiée a été réalisée pour l'intégration dans la chaîne de modélisation pronostique de la qualité de l'air utilisée en région PACA.



## V.1 Méthodologie de calcul des émissions biogéniques pour la végétation

Cette partie n'a pas pour finalité d'exposer l'intégralité de la méthodologie de calcul des émissions utilisée dans l'outil mais de présenter les éléments pertinents pour la compréhension de la mise en œuvre du modèle informatique d'émissions. La méthodologie complète peut être consultée dans le rapport final d'étude de l'ENSIACET (ENSIACET, 2003) portant sur la réalisation des cadastres d'émissions biotiques du programme ESCOMPTE.

Cette composante des modèles de calcul d'émissions est la plus dépendante des données météorologiques. Ceci justifie le soin particulier apporté au traitement de ces données, comme cela a été précédemment illustré dans le chapitre 3. Les émissions biotiques sont dépendantes de plusieurs paramètres météorologiques qui varient suivant la nature des sources considérées.

Prenons l'exemple de l'équation ci-dessous utilisée pour le calcul des monoterpènes et autres COV, issue de la méthodologie de calcul élaborée par l'ENSIACET:

$$E = \left[ (Es_{\max}) \cdot \%pool \cdot C_{\theta} + (Es_{\max}) \cdot \%bio \cdot C_T \cdot \sum_i^{1 \rightarrow 3} C_{Li} \cdot X_{Di} \right] \cdot C_A \cdot C_D \cdot D \cdot r_0 \quad (1)$$

Où:

- E est l'émission (en  $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ) du COV considéré pour l'espèce considérée,
- $E_{s\max}$  est le taux d'émission normalisé maximal de l'espèce végétale considérée en  $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}_{\text{poid sec}} \cdot \text{h}^{-1}$  à une température de 30°C et éventuellement un PAR de référence de 1000  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  photons (400-700 nm),
- D est la densité de biomasse foliaire (en  $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ ),
- $C_T$ ,  $C_{\theta}$  et  $C_L$  sont des facteurs environnementaux correctifs représentant l'influence de la température et de la radiation solaire sur les émissions (sans dimension),
- $X_{Di}$  est la fraction de biomasse de la couche considérée dans le modèle de canopée tricouche,
- $C_A$  est le facteur correctif de variation saisonnière du taux d'émission  $E_S$  (sans dimension),

- $C_D$  est le facteur correctif de variation de biomasse foliaire (sans dimension),
- $r_0$  est l'efficacité de fuite terpénique (sans dimension): ce paramètre correspond à la fraction de COV qui sort effectivement de la canopée, une fraction des COV émis étant captée par la canopée,
- %bio est le pourcentage d'émission monoterpénique d'origine photosynthétique,
- %pool est le pourcentage d'émission monoterpénique provenant des réservoirs de stockage : l'émission de monoterpène peut se faire à partir du stockage de monoterpènes existant dans le feuillage. Cette émission, uniquement conditionnée par la température, a lieu même en l'absence de rayonnement solaire (Lindfors *et al*, 2000).

En résumé, dans l'équation 1, il y a trois catégories de paramètres:

- les termes  $E_{max}$ ,  $X_{Di}$ ,  $D$ ,  $r_0$ , %pool, %bio qui sont des paramètres dépendant uniquement de l'essence d'arbres considérée,
- les termes  $C_A$  et  $C_D$  qui sont des paramètres de correction de la densité de biomasse et qui sont dépendant du jour julien considéré pour le calcul
- les facteurs correctifs  $C_T$ ,  $C_{Li}$  et  $C_\theta$  (sans dimensions) qui sont fonctions des conditions météorologiques.

Nous allons nous intéresser en particulier aux paramètres dépendants des conditions météorologiques, qu'il convient de définir plus particulièrement. Le paramètre  $C_T$  (équation 2) (ENSIACET, 2003) caractérise la dépendance des émissions à la température foliaire ( $T$  dans l'équation 2) qui est considérée égale à la température de l'air (dans la couche 2 m d'un modèle météorologique comme ALADIN ou ARPEGE-IFS), la différence de température étant considérée comme minimale (Pier *et al.*, 1997).

$$C_T = \frac{\exp\left(\frac{95000 \cdot (T - 303)}{8.314 \cdot T \cdot 303}\right)}{0.961 + \exp\left(\frac{230000 \cdot (T - 314)}{8.314 \cdot T \cdot 303}\right)} \quad (2)$$

Où  $T$  représente la température foliaire (en °K).

Le paramètre  $C_\theta$  (équation 3) (ENSIACET, 2003) caractérise une dépendance à la température foliaire, pour la prise en compte des effets d'émissions de monoterpènes stockés dans les feuilles. La situation est similaire au cas de  $C_T$ . Dans les deux cas, l'algorithme utilisé est valable pour les températures supérieures à 15° C. Dans le cas de températures inférieures, les émissions sont considérées comme nulles.

$$C_\theta = \exp(\beta \cdot (T - 303)) \quad (3)$$

Où  $\beta$  est un coefficient du modèle dépendant de l'espèce (en  $K^{-1}$ ).

Ces deux paramètres ne dépendant pas de l'espèce de végétation, il est nécessaire de les calculer une seule fois pour chaque échéance horaire. Le temps de calcul sera par conséquent directement proportionnel à la taille du maillage du cadastre, car l'information est calculée pour chaque maille et pour chaque échéance horaire.

Les paramètres  $CL_i$  (équation 4) (ENSIACET, 2003) représentent la dépendance des émissions au PAR (Photosynthetically Active Radiation) qui représente la partie "ondes courtes" du rayonnement solaire qui irradie le feuillage. Le PAR peut être évalué (équation 5) (ENSIACET, 2003) à partir du flux solaire incident (fourni par un modèle météorologique de type ALADIN ou ARPEGE-IFS) et de l'albédo.

$$C_{Li} = \frac{0.0027 \cdot 1.066 \cdot PAR_i}{\sqrt{1 + 0.0027^2 \cdot PAR_i^2}} \quad (4)$$

Où  $PAR_i$  représente le PAR (en  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  de photons) pour la couche de canopée d'indice  $i$ .

$$PAR = 2 \cdot \frac{10000}{3600} \cdot \frac{FS}{100 - a} \quad (5)$$

Où:

- FS représente le flux solaire incident (en  $\text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ )
- $a$  représente l'albédo en % (sans unité)

Le modèle utilise trois paramètres  $C_{Li}$  qui représentent les trois couches du modèle de canopée (voir figure 31). La canopée est modélisée sous forme de trois

couches successives soumises à un rayonnement solaire décroissant quand on progresse du haut de la canopée vers sa base. Le modèle utilisé pour ESCOMPTE différencie les feuillus des conifères (voir tableau 10) mais n'introduit pas de différences plus fines entre les essences, la littérature ne fournissant pas encore assez d'information pour introduire ce niveau de détail. Les émissions sont considérées comme nulles pour un PAR inférieur à 100  $\mu\text{mole}$  de photons par  $\text{m}^2$  et par seconde.

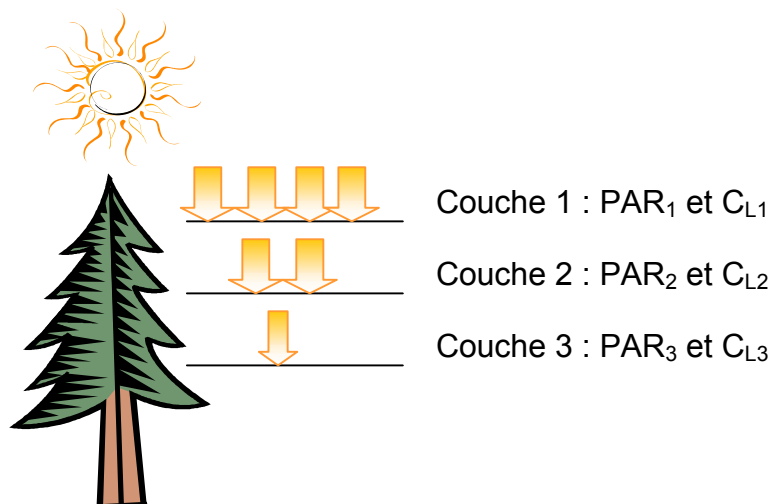


Figure 31: schématisation du modèle de canopée à trois couches

Dans ces conditions, les paramètres  $C_{Li}$  peuvent être évalués une fois par calcul horaire, pour les 3 niveaux de PAR considérés, pour chaque point du modèle fournissant les données météorologiques.

Indice de la couche	Fraction résiduelle du PAR dans la couche de canopée	
	Feuillus	Conifères
1	1.00	1.00
2	0.55	0.70
3	0.10	0.35

Tableau 10: paramètres du modèle de canopée (d'après ENSIACET, 2003)

L'analyse de la méthodologie de calcul de l'ENSIACET a permis de préciser les autres facteurs correctifs (concernant les autres sources biotiques) dépendant des variables météorologiques. On se limitera ici à énumérer ces dépendances, sans

exposer l'intégralité et le détail des équations qui peut être consulté dans le document de référence ESCOMPTE (ENSIACET, 2003):

- Les émissions d'isoprène, mono terpènes et autres COV pour les forêts, végétation basses et cultures dépendent de la température et du PAR.
- Les émissions de NO par les sols sans engrais et les zones humides dépendent de la température du sol.
- Les émissions de DMS issu de la mer dépendent de la concentration en DMS dans l'eau, de la vitesse du vent et de la température de l'eau de mer en surface.

Les émissions de tous les autres polluants ne seront fonction que de :

- l'espèce considérée,
- la surface occupée par l'espèce ou de l'effectif dans le cas des cheptels et populations d'animaux sauvages,
- l'usage ou le non-usage d'engrais.

Le tableau 11 présente les composés pris en compte en fonction des grandes familles d'émetteurs.

Composés	Isoprène	Mono terpènes	Autres COV	CO	CH <sub>4</sub>	NO <sub>x</sub>	N <sub>2</sub> O	NO	NH <sub>3</sub>	SO <sub>x</sub>	COVNM	Ethane	n-butane	Iso-butane	Propane	Ethène	Propène	1-butène	Acétylène	Composés soufrés	DMS
Forêts	M	M	M																		
Végétations basses et cultures	M	M	M																		
Feux				P	P	P			P	P		P	P		P		P		P		
Sols					P		P	M	P												
Zones humides					P			M			P										P
Eau de mer	P								P			P	P	P	P	P	P	P	P		M
Animaux					P		P	P	P												
Foudre						P	P	P													

Tableau 11: composés pris en compte par grandes catégories de sources

(P signifie que le composé est pris en compte, M indique qu'il est pris en compte et dépend des paramètres météorologiques)



Remarque :

A cause de la nature particulière des données utilisées pour leur calcul et de leur nature épisodique, les feux de forêts et la foudre doivent être traités à part et n'ont pas été inclus dans les procédures automatisées de calcul.

## V.2 Réalisation de l'outil

### V.2.1 Structure globale

Les données météorologiques étant critiques dans la réalisation d'inventaires d'émissions biotiques, nous avons choisi de séparer le fonctionnement de l'outil en deux étapes principales (voir figure 32) :

- le prétraitement des données météorologiques c'est-à-dire leur adaptation à la résolution temporelle nécessaire au calcul des émissions (interpolation, corrections), à la grille du cadastre (mappage) et à la nature des données nécessaires (calcul du PAR à partir du flux solaire, corrections éventuelles de température, ...). Ce prétraitement nécessite en général une vérification et une validation approfondie du fait de l'existence d'artefacts assez courants dans ce type de base de données.
- le calcul des émissions en lui-même, utilisant l'ensemble des données météorologiques, d'occupation des sols, d'activités, etc. pour la génération de cadastres annuels ou horaires.

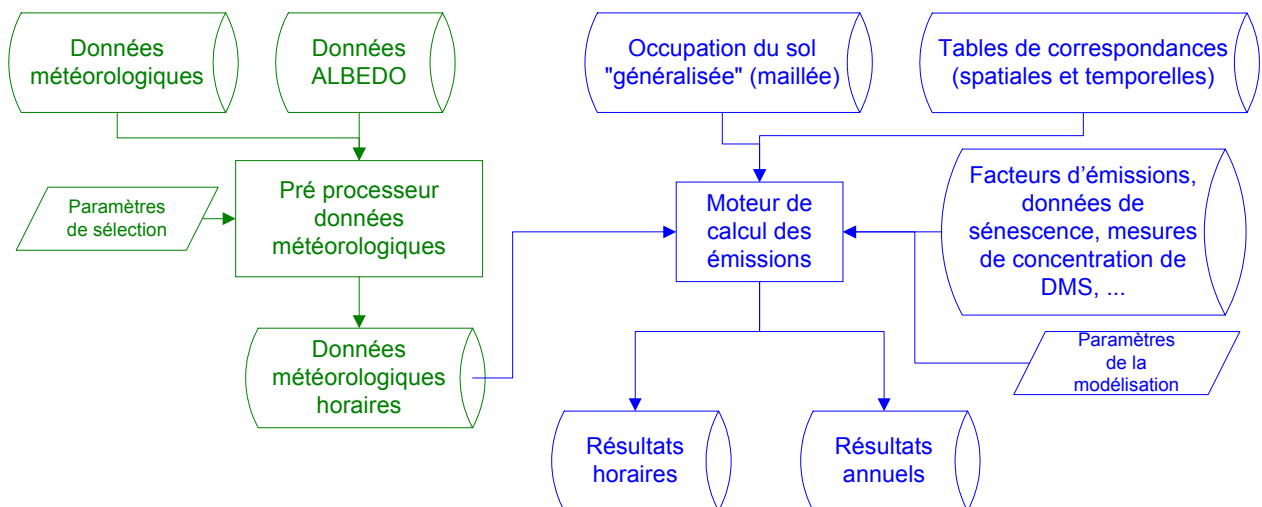


Figure 32: Structure globale de l'outil de calcul

Il faut également garder à l'esprit que le format et la nature des données météorologiques disponibles varient fortement en fonction de l'étude (objectifs, domaine, résolution) et que l'on peut être amené à modifier et adapter le processeur de traitement des données météorologiques selon le type de données utilisées pour la modélisation. En prévoyant la dissociation en deux étapes, on minimise la maintenance éventuelle nécessaire pour adapter le programme à de nouvelles sources de données et l'on augmente la facilité d'intégration dans une structure autre.

### **V.2.2 Choix du cadre de développement**

Dans le cadre du programme ESCOMPTE, certaines conditions avaient été fixées pour le développement des outils de modélisation des émissions dans une note technique (AIRMARIAX/LPCA, 2001) afin d'assurer la compatibilité (ou interopérabilité) minimale entre les diverses contributions logicielles et de permettre l'intégration correcte de leurs fichiers de sorties. Ce document précise que :

- les diverses bases de données doivent être gérées dans Microsoft Access 2000,
- le langage de programmation à privilégier est le Visual Basic (pour Application ou Professionnel),
- les données SIG doivent être au format utilisé par ArcView 8.x de la société ESRI (et de préférence sous forme de Géodatabase).

Nous avons choisi de développer l'application de calcul et de mise à jour de cadastres biotiques directement sous Microsoft Access 2000 avec le langage de Visual Basic pour Application (VBA). Cette forme d'application intégrée, VBA dans une base de données Access, permet de gérer l'intégralité des données dans le format demandé et minimise les conversions nécessaires pour les fichiers de sortie. Le programme, nommé BIOGENIX, a été donc écrit pour ESCOMPTE en VBA en utilisant les extensions standard pour Access (Microsoft Access Object Library) et la bibliothèque Data Access Objects<sup>52</sup> version 3.6 pour la gestion des données. Ceci permet à l'application d'être compatible avec les versions 2000, XP et 2003 de Microsoft Access.

---

<sup>52</sup> Bibliothèque de fonction de manipulation de données contenues dans des bases de données.

L'application a été conçue pour utiliser la flexibilité offerte par le SGBD même si elle n'exploite pas les aspects relationnels du fait de la faible structuration existante entre les catégories de sources.

### V.2.3 Schéma de bloc global du traitement des données météorologiques

Le prétraitement des données météorologiques dépend bien évidemment des données utilisées et nous prendront l'exemple des données ALADIN utilisées pour le programme ESCOMPTE. Ces données sont tri-horaires mais présentent 9 échéances par journée. La première échéance ne comporte que les informations de température et la dernière ne reprend que les informations de flux solaire et thermique (cf. tableau 12). Le flux solaire est le flux moyen cumulé pour chaque échéance tri-horaire : il s'agit du cumul de la valeur moyenne du flux sur chaque période de trois heures, la différence entre deux échéances donne donc le flux solaire utilisé dans l'équation 5 pour le calcul du PAR.

DATE HEURE (AAAAMMJJHHHH)	TEMPERATURE SOL (°C)	FLUX SOLAIRE (J.m <sup>-2</sup> )	FLUX THERMIQUE (J.m <sup>-2</sup> )	TEMPERATURE 2M (° C)	HUMIDITE RELATIVE 2M (%)	VENT DIRECTION (degrés <sup>53</sup> )	VENT VITESSE (m.s <sup>-1</sup> )
199901010000	10,2	-999999,9	-999999,9	10,2	73,2	208,8	5,3
199901010003	6,9	0	-758611	8,2	74,2	215,4	5,5
199901010006	5,5	0	-1411958	6,9	88,8	235,5	3,2
199901010009	5,8	218592	-2093100	7,5	80,1	205,8	4,4
199901010012	9,8	1730516	-2934857	10,5	74	218,1	3,9
199901010015	9,6	3023044	-3880806	10,5	76,5	228	2,8
199901010018	5,5	3113608	-4686142	6,8	85,5	180,3	2,5
199901010021	4,2	3113608	-5312344	5,3	91,1	175,2	2,1
199901010024	-99,9	3113608	-5901661	-99,9	-99,9	-99,9	-99,9

**Tableau 12: exemple de données ALADIN:**

**les valeurs négatives(-99.9 et -999999.9 correspondent à des valeurs non renseignées dans l'échéance considérée, le flux thermique est toujours négatif car il est considéré du point de vue du sol)**

Suite aux décisions prises par le groupe de gestion des émissions (ADEME / LPCA / AIRMARAIX) nous avons traité les données de la manière suivante :

- le PAR est considéré constant sur la plage de 3 heures considérée,

<sup>53</sup> Le nord est à 0° et l'est à 90°.

- les températures (sol et air à 2 m) sont interpolées entre deux points de manière linéaire,
- la vitesse du vent est considérée constante sur chaque plage de 3 heures considérée,
- aucune interpolation spatiale des variables n'est effectuée, ni aucune correction de température en fonction de l'altitude : les données sont sélectionnées en utilisant le point de modèle étant le plus proche voisin du centroïde de la maille considérée.

Le schéma de bloc de la figure 33 présente la structure du traitement des données ALADIN implantée. Conformément aux recommandations, le traitement peut s'appliquer de manière automatisée à une séquence de jours (définie par une collection).

Le traitement des données s'effectue également sur un ensemble de points défini, ce qui permet de travailler sur un sous-domaine spatial si nécessaire. L'emploi de requêtes SQL pour la sélection des données brutes attachées à un point donné permet de générer la séquence de données qui est dans la forme souhaitée pour le traitement. Cette opération est répétée pour chaque journée à traiter, pour chaque point sélectionné pour le traitement. Le mappage<sup>54</sup> entre la grille de définition des données météorologiques et la grille de calcul des émissions peut se faire juste avant le calcul des émissions, ce qui évite le stockage de ces données redondantes. On notera que la structure utilisée pour le mappage, qui est incluse au niveau du module de calcul d'émission, permet également de travailler de manière transparente avec des données météorologiques ayant la même résolution que la grille de restitution du cadastre.

---

<sup>54</sup> Mappage: n.m., action de mapper (qui vient du vieux Français *mappe*): établir une correspondance entre deux objets de même nature mais pas de même forme.

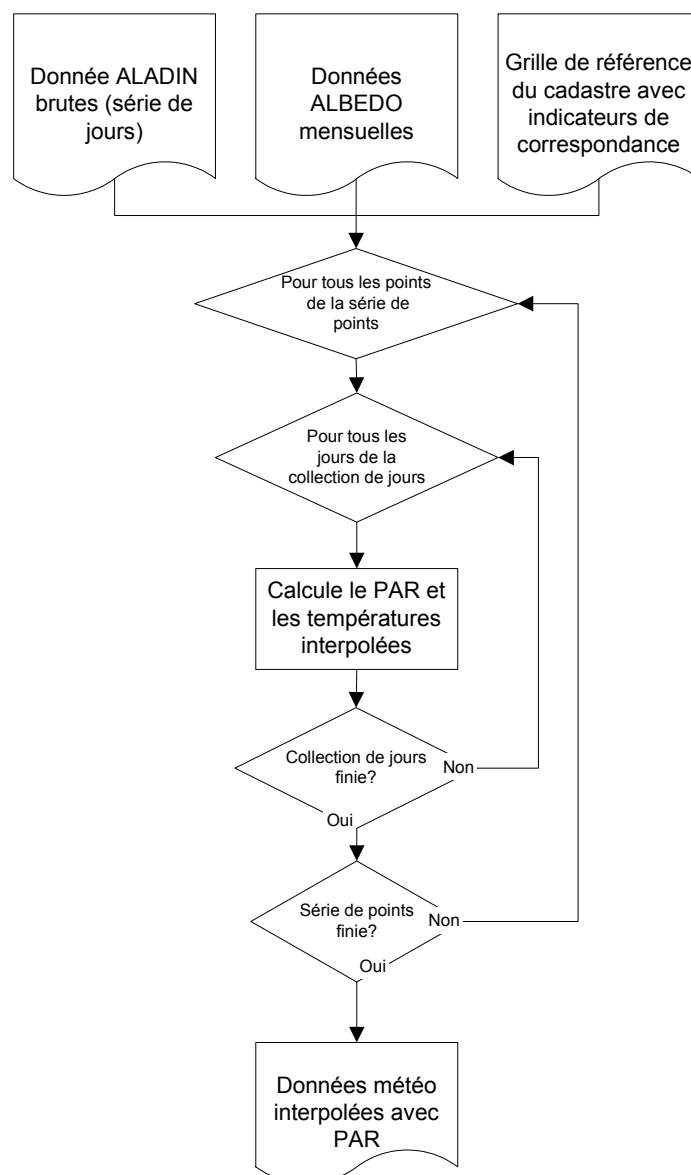


Figure 33: Schéma de bloc du traitement des données météorologiques

### V.2.4 Schéma de bloc global du traitement de calcul des émissions

Le calcul des émissions est relativement simple dans son schéma global. La figure 34 illustre le schéma de bloc simplifié de cette partie de l'outil. La partie "procédure d'initialisation" utilise les informations stockées dans les tables de paramètres par l'utilisateur et lors de l'exécution du programme. Elle permet de :

- Générer dynamiquement les collections de SNAPs traitées.
- Appliquer le choix de la résolution temporelle : le programme peut, au choix, calculer sur une base horaire ou une base trihoraire en utilisant les données natives de météorologie. Une étude de sensibilité de l'ENSIACET

(ENSIACET, 2003) a montré que la différence entre ces deux modes de calcul n'était pas importante en regard des incertitudes (inhérentes aux modèles d'émissions biotiques) et cela permet de réduire le temps de calcul d'un facteur trois.

- Créer les tables appropriées pour le stockage des résultats suivant le niveau d'agrégation utilisé en sortie. Plusieurs niveaux sont disponibles pour le calcul dont :
  - Niveau le plus bas: on obtient une seule table de résultats contenant toutes les contributions sommées.
  - Niveau intermédiaire: on obtient une table par module de calcul des émissions soit l'ensemble des émissions des feuillus, des conifères, des végétations basses et cultures, des sols, des zones humides, des animaux et de la mer.
  - Niveau fin: on garde le détail fin des contributions soit environ 160 tables de résultats.
  - Niveau fin et lacunaire: on garde le détail fin des contributions soit environ 160 tables de résultats mais chaque table est lacunaire et ne comprend que les mailles qui contiennent effectivement des émissions.

Le dernier niveau (fin et lacunaire) a été implanté pour permettre à l'outil de calculer sur des tables lacunaires en ne prenant en compte que les mailles pour lesquelles l'activité n'est pas nulle. Pour cela, une requête SQL sélectionne les mailles dont l'activité n'est pas nulle pour la SNAP considérée et cela permet de n'effectuer le calcul que sur cet ensemble réduit de mailles.

L'itération principale du programme s'effectue sur la série temporelle sur laquelle la modélisation est effectuée (boucle et test sur la série de jours définie pour la modélisation). La structure reste invariante, que l'on calcule un cadastre annuel ou un cadastre cumulé, la différence résidant dans la gestion du (ou des) fichier(s) de sortie(s), dans le(s)quel(s) sont écrits les résultats pour chaque heure (fichiers horaires) ou uniquement le résultat sommé annuellement (fichier cumulé).

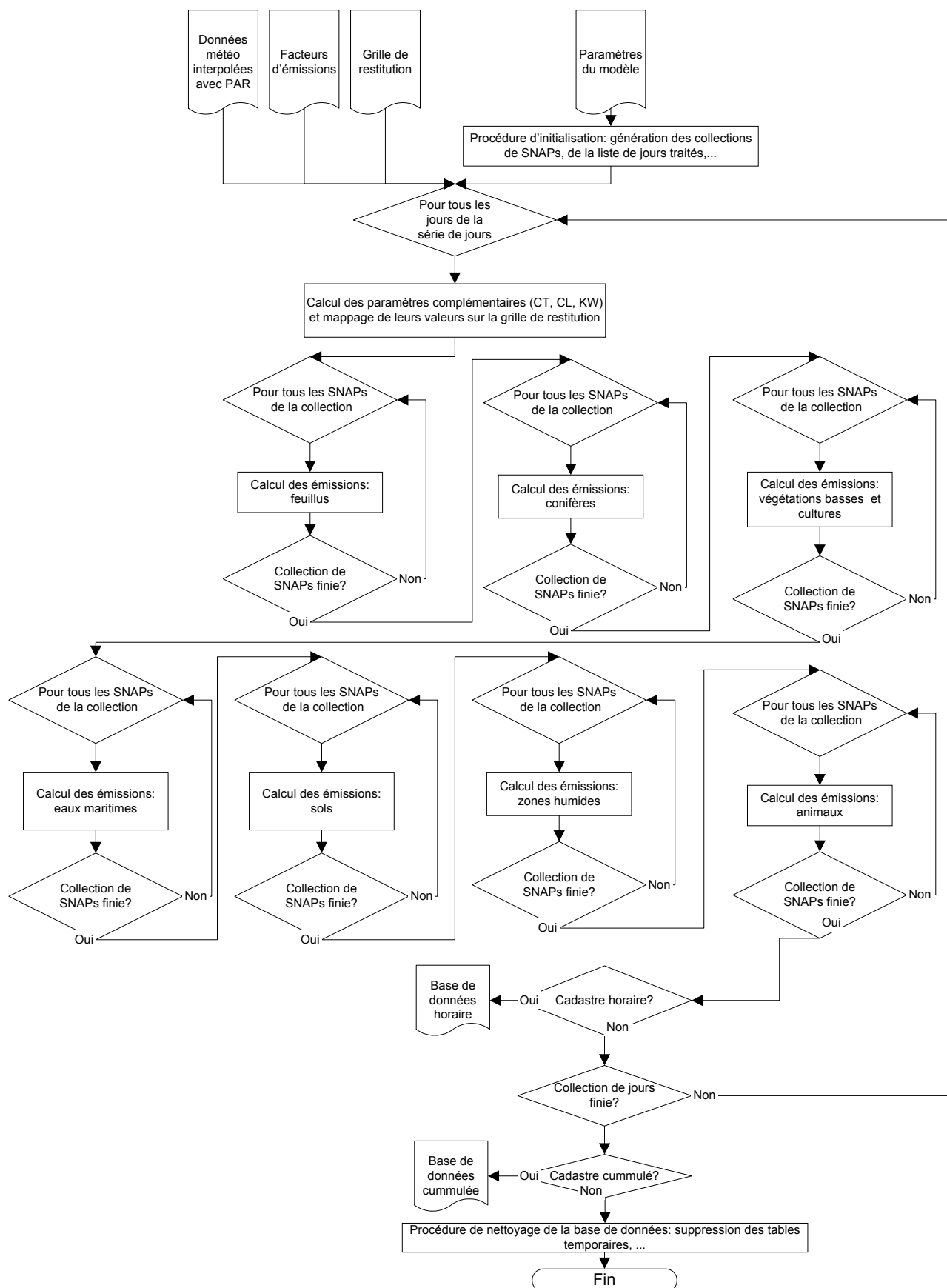


Figure 34 : schéma de bloc global du calcul d'émissions

La table nommée "grille de restitution" est le pivot de l'ensemble. Un extrait de cette table est présenté dans le tableau 13. Chaque maille est référencée par un identificateur (IDSURF) en face duquel sont renseignées les correspondances nécessaires au calcul avec les autres données spatiales :

- ID\_BDCARTO donne la référence du département qui permet de choisir les facteurs d'émissions adaptés pour les cultures et sols avec engrais,
- REF\_ALA donne la référence du point du modèle météo le plus proche qui est utilisé pour cette maille,
- REF\_DMS donne la référence du point de mesure de la concentration en DMS le plus proche de la maille sur laquelle est effectué le calcul (pour les émissions issues de la surface maritime),
- 100103 et 110715 sont des exemples des champs contenant les informations d'occupation du sol, de cheptel ou d'activité pour la cellule du maillage décrite par l'enregistrement,
- TEMPERATURE\_SOL et TEMPERATURE\_2M sont les données de température obtenue après retraitement des données du modèle météorologique (en °C),
- PAR est le "photosynthetically active radiation" en (en  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  de photons),
- KW est le coefficient d'échange de DMS à l'interface eau/air pour l'eau de mer ( $\text{m.h}^{-1}$ ) (ENSIACET, 2003),
- CT est le paramètre caractérisant la dépendance des émissions à la température foliaire (sans dimension),
- CL est le paramètre caractérisant la dépendance des émissions au PAR (sans dimension) pour la première couche de canopée ( $\text{CL} = \text{C}_{\text{L1}}$  de l'équation 4). FCL2 et FCL3 sont respectivement les paramètres  $\text{C}_{\text{Li}}$  pour les couches 2 et 3 du modèle de canopée d'un feuillu. CCL2 et CCL3 correspondent aux mêmes paramètres pour le modèle de canopée d'un conifère.



IDSURF	ID_BDCARTO	REF_ALA	REF_DMS	100103	...	110715	TEMPERATURE_SOL		
40000745486600	4	476	38	0	...	0,7727	18,1		
40000745486700	4	476	38	0	...	0,637	18,1		
...	...	...	...	...	...	...	...		
TEMPERATURE_2M	VENT_VITESSE	PAR	KW	CT	CL	FCL2	FCL3	CCL2	CCL3
19,5	2,4	0	0,288997	0,268763	0	0	0	0	0
19,5	2,4	0	0,288997	0,268763	0	0	0	0	0
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

**Tableau 13: extrait de la table "occupation du sol" et paramètres associés**

La surface d'occupation de chaque espèce de végétation ou bien l'effectif pour les animaux sont renseignés pour chaque catégorie SNAP considérée dans le modèle. Finalement, les paramètres météorologiques et facteurs correctifs utilisés dans les modèles d'émissions sont renseignés pour chaque maille. Le calcul des facteurs a été effectué précédemment dans le module de traitement météorologique et ces facteurs sont simplement mappés dans cette étape.

Un des avantages obtenu avec le choix de structure effectué pour le programme (et l'emploi d'un SGBD) est d'offrir la possibilité à l'utilisateur de modifier les catégories SNAP prises en compte dans le modèle, d'ajouter ou de supprimer de nouvelles classes de végétation ou de sol sans avoir à retoucher une ligne de code.

Si cette structure est efficace pour sa flexibilité et pour l'écriture des modules de calcul d'émissions, elle comporte cependant une limitation importante: le nombre maximum de champ dans une table étant limité à 255, seul 240 types d'activités peuvent être pris en compte sans avoir à diviser le calcul en deux étapes.

### V.2.5 Détail d'un des modules de calcul des émissions

Nous commentons ici la structure de l'un des modules nommés "calcul des émissions" de la figure 34. A titre d'illustration, la figure 35 permet de représenter schématiquement la procédure de calcul d'émissions pour les COV forestiers. Le calcul en lui-même est immédiat, n'étant qu'une application directe de formules simples comme celle donnée dans l'équation 1 et la majeure partie du code gère la sélection des paramètres de modèle appropriés pour le code SNAP considéré. Une autre partie importante du code sert à la gestion des tables en fonction des options de calcul proposées à l'utilisateur (résultats agrégés ou non, tables lacunaires ou

non). La seule itération présente dans le module porte sur l'ensemble de mailles considérées dans le calcul, qui est physiquement représenté par un ensemble d'enregistrements sélectionnés et ordonnés provenant de la table présentée dans le tableau 13. La gestion de la taille de ce jeu d'enregistrements se fait naturellement via une boucle de type "while"<sup>55</sup>, boucle n'ayant pas de longueur prédéfinie.

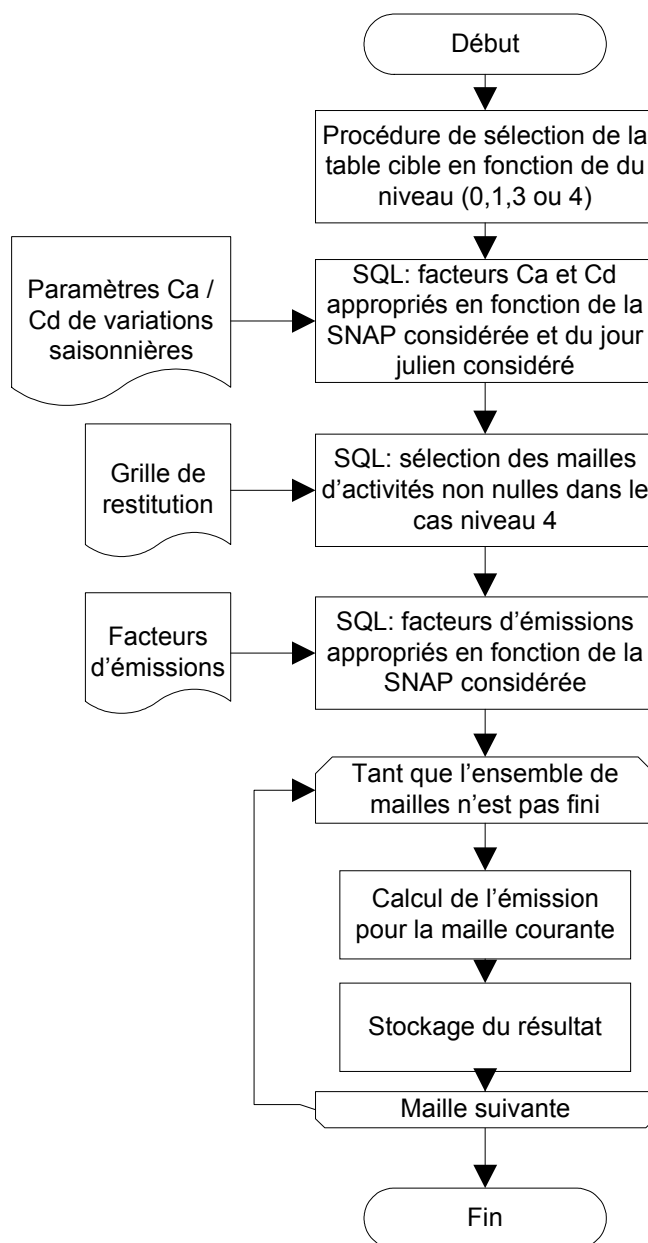


Figure 35: Exemple de diagramme de bloc d'un module "calcul des émissions"

<sup>55</sup> Une boucle de type "while...do..." est effectuée tant que la condition évaluée au début de la boucle est remplie.

### **V.3 Validation et applications : programmes ESCOMPTE et BOND**

#### **V.3.1 Cadastres annuel et horaires durant les POI du programme ESCOMPTE**

Dans la suite du développement de l'outil, la contribution biotique aux cadastres ESCOMPTE a été calculée au LPCA, en collaboration avec l'ENSIACET pour la validation des résultats. La génération des 23 journées de POIs nécessaires à l'exercice de modélisation ESCOMPTE et du cadastre annuel finalisé a été assurée avec l'outil BIOGENIX (version 1.0). Lors de ces modélisations, l'ENSIACET a procédé à des validations quantitatives des résultats (vérification et comparaison des totaux, des émissions maximales théoriques et observées et tests sur différentes mailles du cadastre incluant une vérification complète par calcul manuel des émissions) (ENSIACET, 2003). Ceci a permis une validation de l'outil en même temps que la réalisation de sa première application.

On notera que si le calcul des POIs a été effectué sur une base horaire, pour le calcul du cadastre annuel nous nous sommes vus restreints à une base de temps tri-horaire (résolution native des données ALADIN). L'ENSIACET, de son côté, a complété cette partie en effectuant une étude de sensibilité entre le calcul utilisant 24 échéances horaires et celui basé sur 8 échéances tri-horaires. Il a été ainsi démontré que la variation des émissions totales sur la journée était faible (de l'ordre de 5%) en regard des autres incertitudes du modèle (tant au niveau des données que du calcul). Ceci permet l'application d'une résolution tri horaire pour le calcul du cadastre annuel, aboutissant à une importante économie de temps, la simulation d'un mois réel s'effectuant en environ 120 heures de temps CPU<sup>56</sup> dans la version initiale du logiciel. Le tableau 14 présente les résultats globaux de l'inventaire annuel par polluant et par source principale d'émission.

Nous ne développerons pas dans cet exposé la partie "résultats", cette analyse ayant déjà été faite dans les rapports ENSIACET-LPCA cités précédemment dans le cadre du programme ESCOMPTE. Nous donnons cependant à titre d'exemple une

---

<sup>56</sup> Plateforme Intel Pentium 4 2.8 Ghz, 1 Go de RAM, 1 disque système et 1 disque données (disques standart ATA 100 / 7200 rpm / 8 Mo de cache)

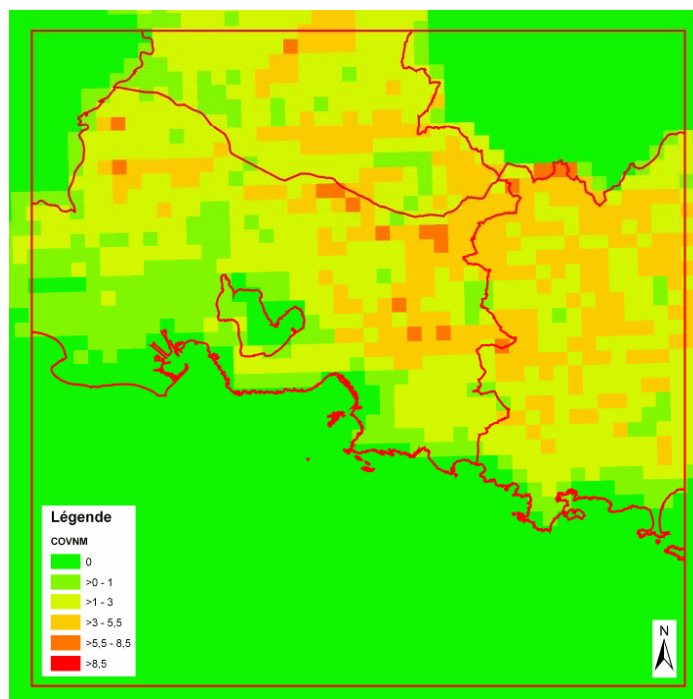
comparaison cartographique (cas des COVNM totaux d'origine biogène) entre les travaux préliminaires effectués par l'IFU<sup>57</sup> (figure 36) dans le cadre du programme ESCOMPTE (pour les besoins de la modélisation avant la campagne de mesure, destinée à positionner une partie des dispositifs de mesures) et les résultats finaux obtenus dans le cadre d'ESCOMPTE (figure 37).

	Feuillus	Conifères	Végétation basse	Cultures	Sol et zones humides	Animaux (total)	Sols avec apport d'engrais	Sols sans apport d'engrais	Eclairs	Incendies	Mer
isoprène	11,70	0,04	7,69	1,18							0,45
mono terpènes	22,30	1,75	10,40	4,45							
autres COV	1,90	2,61	7,56	1,18							
NO					3,48	0,08	0,08		0,07		
NO <sub>2</sub>									0,03		
NOx									0,14	0,28	
NH <sub>3</sub>						2,46	2,00	1,55		0,06	-0,50
N <sub>2</sub> O						0,55	0,69			0,01	
CH <sub>4</sub>					4,71	5,11		-0,97		0,52	
COVNM					0,65						
composés soufrés					0,78						
éthane										0,22	0,47
éthène											1,03
propane										0,10	0,25
propène										0,25	0,75
n-butane										0,04	0,19
iso-butane											0,03
butène											0,62
acétylène										0,12	0,02
CO										7,95	
CO <sub>2</sub>										126,73	
SO <sub>2</sub>										0,06	
DMS											193,27

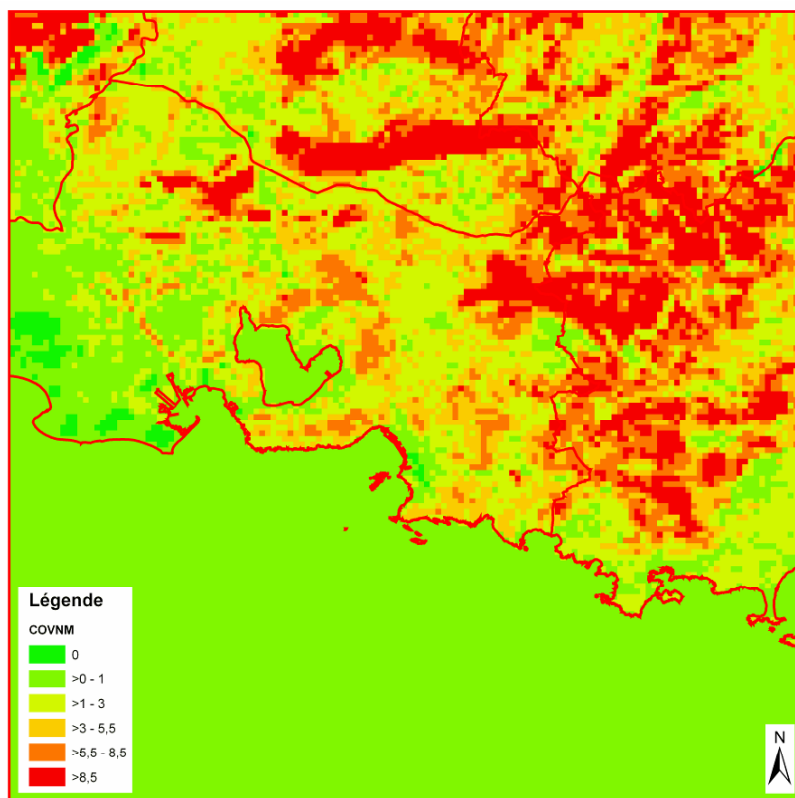
**Tableau 14: résultats de l'estimation des émissions annuelles (en Gg) pour la zone ESCOMPTE**

(année de référence 1999) (cellules grisées: pas d'émissions pour le composé dans l'activité considérée) (valeurs négatives: puits)

<sup>57</sup> Fraunhofer-Institut für Atmosphärische Umweltforschung



**Figure 36: cartographie IFU des émissions totales de COVNM biotiques (en kg.km<sup>-2</sup>) pour un jour de juillet représentatif de ce mois (année de référence 1999) issue de la base de données fournie (créneau horaire: 10-11h TU)**



**Figure 37: cartographie ESCOMPTE des émissions totales de COVNM biotiques (en kg.km<sup>-2</sup>) pour la journée du 10 juillet 2001 (créneau horaire: 10-11h TU)**

La représentation spatiale des émissions est semblable entre les deux inventaires, les grands massifs forestiers (principaux émetteurs) étant clairement visibles sur les deux cadastres mais la valeur des émissions, même si elle reste du même ordre de grandeur, est bien supérieure dans les cadastres obtenus pour ESCOMPTE (+126 % en moyenne). Ceci s'explique selon l'ENSIACET par l'utilisation d'une occupation du sol plus exhaustive et précise (CRIGE PACA pour ESCOMPTE et Corine LandCover pour l'IFU) comprenant 24% de couverture en plus et par une méthodologie spécialement étudiée et adaptée (y compris pour les facteurs d'émissions) au contexte de la zone d'étude.

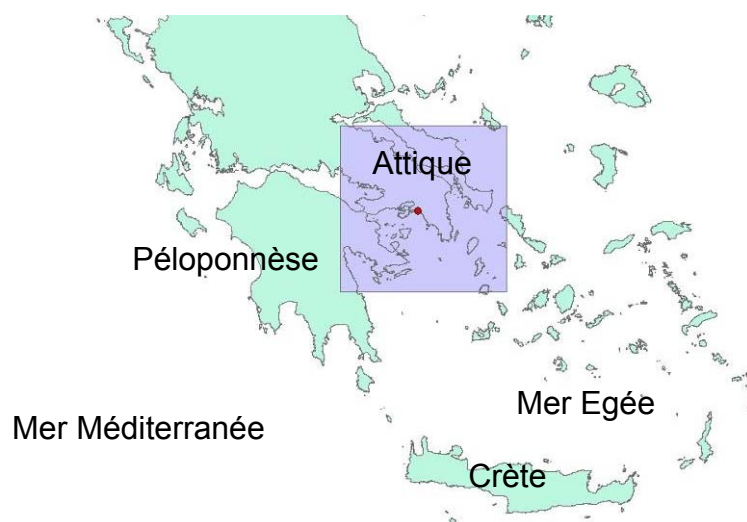
### **V.3.2 Cadastres biotiques BOND :**

L'outil développé pour ESCOMPTE a été adapté pour servir également à la réalisation des cadastres du programme BOND (Biogenic Aerosols And Air Quality In The Mediterranean Area<sup>58</sup>). Son objectif principal est d'améliorer la compréhension des mécanismes de formation de la contribution biogène des aérosols dans la zone méditerranéenne et de valider un modèle 3D couplant aérosol et photochimie afin de déterminer la contribution biogène aux aérosols. La participation du LPCA dans ce programme se fait dans le cadre d'une thèse effectuée actuellement par M. Emmanuel Grondin.

Le programme porte sur deux zones d'étude qui sont la zone de Marseille - Étang de Berre pour la partie française (zone identique à la zone d'étude ESCOMPTE) et une zone d'étude centrée sur Athènes (voir figure 38). La résolution pour la zone d'Athènes est légèrement inférieure à celle de Marseille avec un maillage 2x2 km<sup>2</sup> pour une zone plus grande (184x184 km<sup>2</sup>) et comportant une population double de celle de la zone ESCOMPTE soit 4 millions d'habitants. La couverture végétale y est moins importante et la mer occupe une part plus importante dans cette zone (52 % du domaine).

---

<sup>58</sup> <http://milos.ipta.demokritos.gr/bond/>



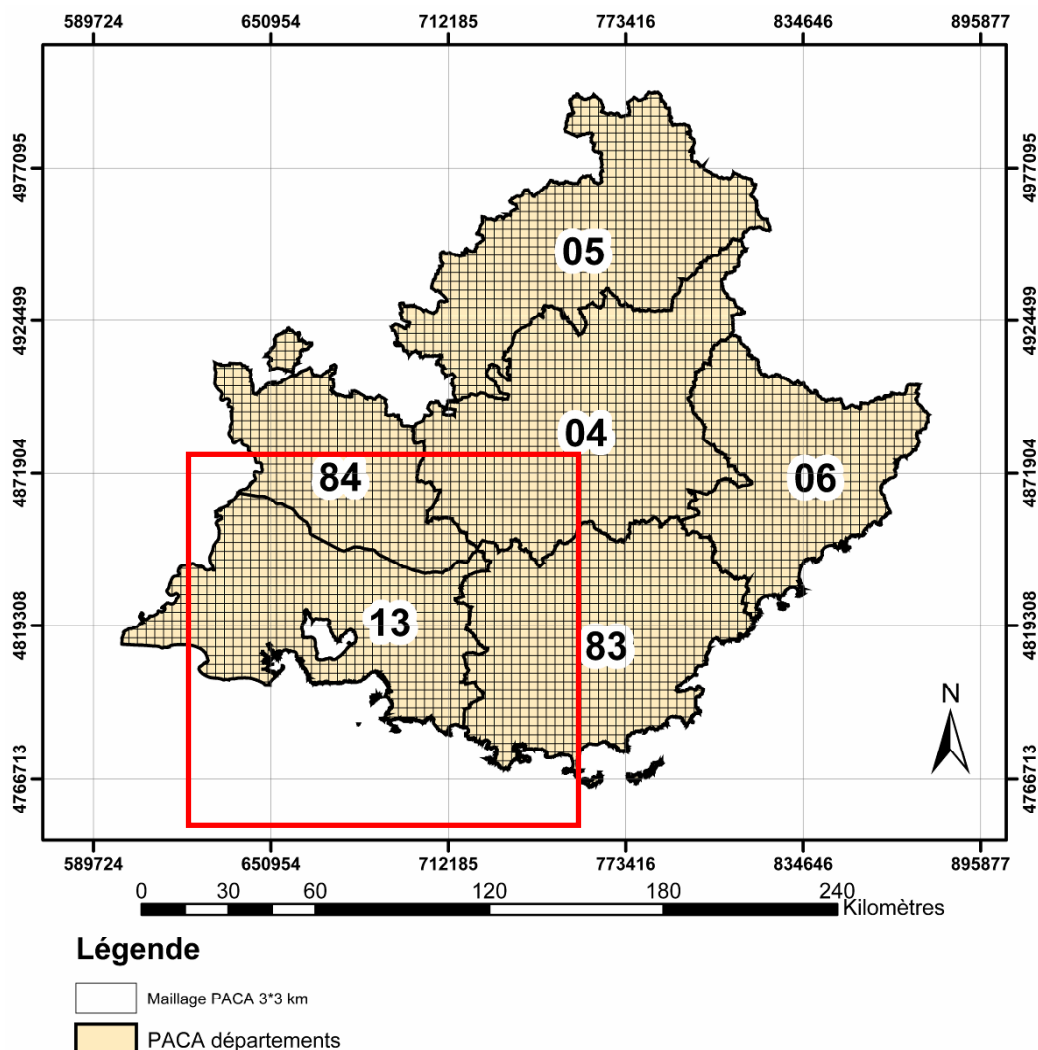
**Figure 38: zone d'étude (184x184 km<sup>2</sup>) centrée sur Athènes (point rouge)**

Pour les besoins du programme BOND, l'outil a dû être modifié pour prendre en compte la spéciation des monoterpènes en  $\alpha$ -pinène,  $\beta$ -pinène et  $\delta$ -limonène. Les modifications opérées touchent trois modules de calcul (conifères, feuillus et végétations basses et cultures). Cette modification introduit pour chaque émetteur de monoterpène un profil de spéciation qui est appliqué lors du calcul des émissions. L'impact sur le temps de calcul est cependant négligeable.

## ***V.4 Programmes en cours et perspectives***

### **V.4.1 Extension à la région PACA**

Dans le cadre de la pérennisation des travaux effectués pour le programme ESCOMPTE, l'intégralité des bases de données a été transférée, avec les outils de mise à jour, à l'association de surveillance de la qualité de l'air AIRMARAIX. Pour leurs besoins propres, il s'est avéré nécessaire d'étendre ce cadastre à l'intégralité de la région PACA. Cette extension avait été prévue dès le début du programme, en utilisant la méthodologie et les outils informatiques développés dans le cadre d'ESCOMPTE. La figure 39 présente la zone d'étude étendue à la région PACA et le maillage utilisé pour cette étude.



**Figure 39: zone de modélisation pour le cadastre région PACA (résolution 3x3 km<sup>2</sup>)  
(le carré rouge représente la zone d'étude du programme ESCOMPTE)**

Un partenariat AIRMARAIX-LPCA a été établi pour cette étude pour la partie concernant le cadastre d'émissions biotiques. Des compléments méthodologiques (nouvelles espèces prises en compte, traitement des données cartographiques IFN) ont été fournis par le LPCA ainsi qu'une version révisée de l'outil BIOGENIX (version 1.4) correspondant aux besoins de l'étude.

#### **V.4.2 Considérations de performance et adéquation de l'outil développé au LPCA**

Le logiciel développé initialement dans le cadre du programme ESCOMPTE présentait (version 1.0) un niveau de performance "acceptable" compte tenu du temps alloué à sa réalisation. Sur notre plateforme de référence, qui ne représente actuellement qu'un PC "standard", le logiciel calculait 24 échéances horaires de



cadastre en 12 heures, aucune optimisation particulière n'ayant pu être appliquée dans le temps imparti. L'introduction du mode de calcul utilisant les tables lacunaires (nommé niveau 4) et de diverses optimisations a permis de diviser ce temps par un facteur 2.5, le calcul s'effectuant en moins de 5 heures. Ce temps de calcul reste néanmoins relativement rédhibitoire lorsque l'on considère un calcul annuel qui représente, même sur une résolution tri-horaire, environ 25 jours de calcul sur notre plateforme de référence.

Si les besoins en mémoire vive sont minimes (environ 40 Mo pour le traitement de la zone d'étude du programme ESCOMPTE comportant 19600 mailles), la vitesse disque est un élément aussi critique que la puissance brute de calcul. Cette dernière reste la plus limitante et représente le goulot d'étranglement pour plus de 90% du temps de calcul. Il faut garder à l'esprit que suivant les phases de calcul (ouverture de table / requêtes SQL / calcul arithmétique / stockage des résultats), l'un ou l'autre de ces facteurs sera limitant. Les requêtes étant peu complexes, mais traitant des volumes de données importants (plusieurs milliers d'enregistrements), elles sont principalement limitées par la bande passante du disque. Les étapes de calcul (intérieur des boucles de calcul comme celles représentées sur l'organigramme de la figure 35 par exemple) sont purement limitées par la vitesse du processeur et la latence introduite par le SGBD. Il est à ce niveau intéressant de noter que des tests effectués sous SQL Server ne donnent pas de résultats plus probants pour ce genre d'opérations et peuvent même aboutir à des performances bien moindres lorsque le code ne s'exécute pas sur le serveur hébergeant la base de donnée, du fait de la latence du réseau généralement trop importante. Il est à noter que les performances sont sensiblement variables suivant la plateforme utilisée, le type de manipulation effectuée privilégiant les processeurs dont l'architecture présente une faible profondeur de "pipeline"<sup>59</sup> pour le décodage des instructions et par conséquent une moindre latence.

Dans la perspective de l'extension de la zone d'étude, nous avons continué les optimisations, principalement orientées vers la diminution des cycles de balayages

---

<sup>59</sup> Pipeline: procédé qui permet de rendre indépendantes les différentes étapes de traitement d'une instruction par le processeur.

La profondeur du pipeline correspond aux nombres d'instructions stockées dans le tampon des unités de lecture / décodage / exécution. Une plus grande profondeur permet de mieux gérer les hautes fréquences de fonctionnement interne du CPU mais introduit une latence plus importante de réinitialisation du tampon lors d'une erreur de prédiction de branchement.

séquentiels de la grille de restitution. Nous avons néanmoins été rapidement confrontés aux limites fixées par l'impératif premier, à savoir la flexibilité recherchée dans l'usage de l'outil. Les itérations sont principalement définies sur des listes dynamiques (collections), dans la version actuelle, il est difficile de diminuer le nombre de balayages sans reprendre complètement la structure de calcul utilisé. Les dernières optimisations ont abouti à un temps de calcul actuel de l'ordre de 115 minutes pour 24 h modélisées sur notre plateforme de référence, ce qui permet d'élaborer un cadastre annuel (en mode tri horaire) en moins de 10 jours de calcul, ce qui représente une durée acceptable pour la résolution utilisée dans le cadre de l'extension à la région PACA. Pour le calcul de l'inventaire d'émissions biogéniques sur cette région, la résolution arrêtée est de 3x3 km<sup>2</sup> et le maillage comporte, pour sa partie terrestre, 3991 mailles (complètes ou non) soit une surface de 31400 km<sup>2</sup>. Cette étude, toujours en cours, sera achevée fin juin 2004.

## V.5 Interfaçage avec le modèle CHIMERE

Dans sa mission régionale de modélisation, l'association de surveillance de la qualité de l'air AIRMARAIX a prévu de se doter d'un modèle prévisionnel à 72 h pour la pollution photochimique par l'ozone. Le modèle choisi est le modèle CHIMERE (Vautard, 2001) qui est développé au Laboratoire de Météorologie Dynamique (LMD) sous la direction de Robert Vautard. Ce modèle est déjà en place dans plusieurs ASQUA notamment dans les régions Alsace (Strasbourg), Île de France (Paris), Midi-Pyrénées (Toulouse) et Rhône-Alpes (Lyon).

### V.5.1 Problématique de l'utilisation

La structure du modèle CHIMERE est présentée sur la figure 40 avec ses divers ensembles de programmes (bleu), paramètres et fichiers d'entrée (en rose et jaune suivant les sources), de données intermédiaires (en violet) et de résultats (en vert).

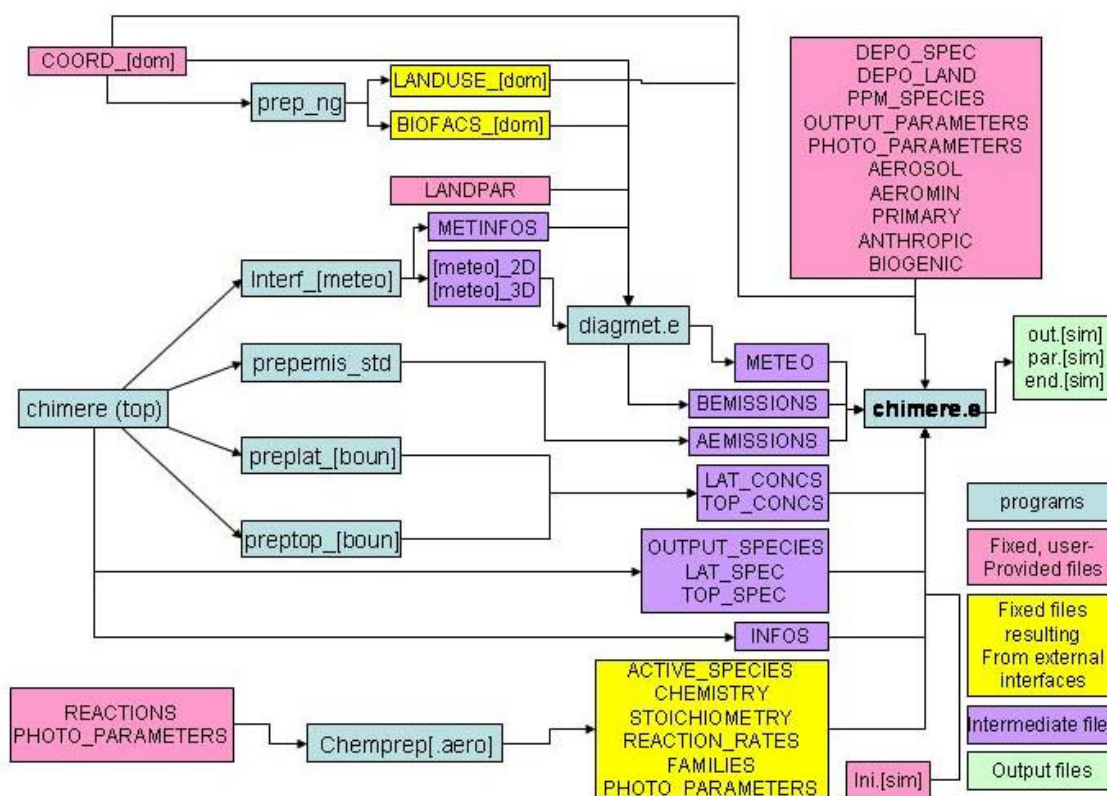
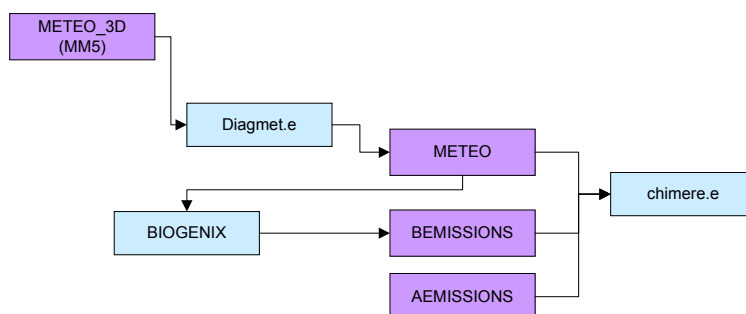


Figure 40: structure du modèle Chimère  
(source LMD: <http://euler.lmd.polytechnique.fr/chimere/>)

Nous n'allons pas discuter ici de la structure du modèle, ce qui dépasse le cadre de notre exposé, mais uniquement du fonctionnement du processeur de données météorologiques intitulé "diagmet.e". Ce module traite les données issues du modèle météorologique et calcule également de manière semi-empirique et simplifiée les émissions de COV biotiques en fonction des paramètres météorologiques (fichier BEMISSIONS).

AIRMARAIX disposant de l'expérience et du modèle d'émissions biotiques bien plus élaborés mis en place durant le programme ESCOMPTE, nous a demandé d'étudier la possibilité de remplacer cette évaluation sommaire par le modèle BIOGENIX comme cela est illustré sur la figure 41. Cette implantation ne concerne que les émissions de COV biogènes qui ont un intérêt pour les mécanismes photochimiques intervenant dans le cycle de l'ozone troposphérique.



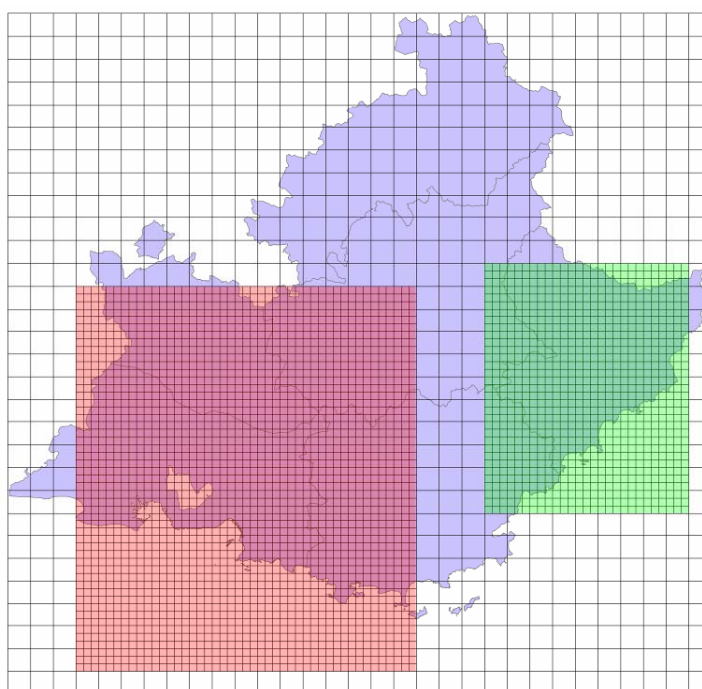
**Figure 41: branchement opéré pour l'insertion du module de calcul BIOGENIX**

Pour des raisons d'efficacité vis-à-vis des formats de fichiers à manipuler, il a été décidé de positionner la dérivation au niveau des données météorologiques traitées par "diagmet.e". Ces données ont pour avantage d'être moins lourdes à manipuler que les sorties du modèle MM5 et la grille pour leur support est celle utilisée pour la partie chimie et donc est identique à celle des émissions. Pour limiter à la fois les versions de logiciels et le temps de développement, l'outil utilisé est une version allégée de BIOGENIX qui est exécutée sous environnement Windows avec les compléments nécessaires pour assurer la bonne interopérabilité entre les deux systèmes.

### **V.5.2 Zone d'étude concernée et considérations de performance**

L'application du modèle CHIMERE en région PACA se fera sur trois zones (figure 42): une zone englobant la totalité de la région et deux zones urbaines centrées sur

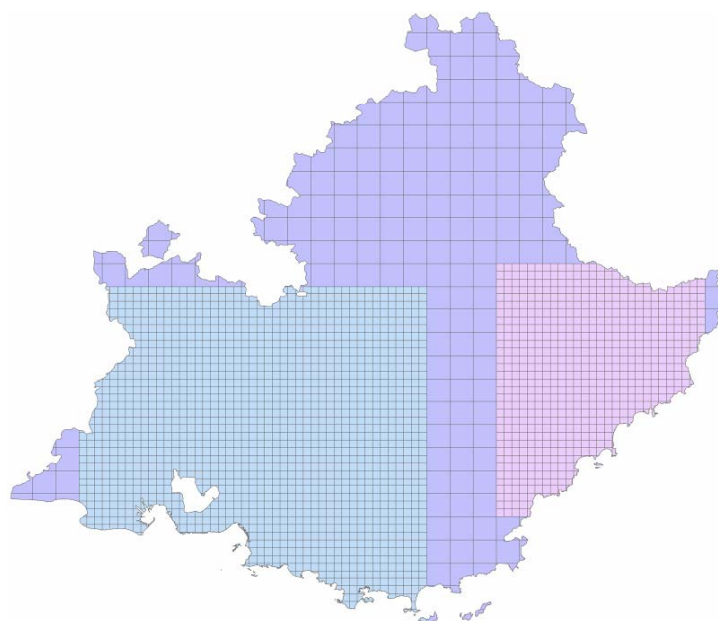
les agglomérations marseillaise et niçoise. En l'absence de cadastres régionaux disponibles pour compléter les émissions en dehors de la région PACA, les cadastres de l'extension régionale permettent de renseigner les zones de calcul effectif représentées sur la figure 43 et sont complétés pour le reste des zones de modélisation avec les données fournies par la base de données EMEP<sup>60</sup>. Ceci diminue beaucoup le nombre de mailles sur lesquelles le calcul fin doit être effectué afin d'alimenter le modèle en valeurs d'émissions de COV biotiques (tableau 15).



**Figure 42: les trois zones de modélisation concernées pour l'application:  
la zone globale PACA (9x9km<sup>2</sup>), en rouge la zone "Bouches du Rhône / Marseille" et en vert la  
zone "Nice" (3x3 km<sup>2</sup>)**

---

<sup>60</sup> Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long-Range Transmission of Air pollutants in Europe



**Figure 43: maillages effectifs sur lesquels sont calculées les contributions de COV biotiques (Marseille: zone bleue / Nice: zone rose)**

	Maillage modèle chimie	Maillage calcul COV biotiques "en ligne"
Régional 9x9 km <sup>2</sup>	931	556
"Marseille" 3x3 km <sup>2</sup>	2295	1662
"Nice" 3x3 km <sup>2</sup>	891	690

**Tableau 15: tailles des divers maillages**

Pour cette application, le temps alloué dans la chaîne de modélisation a été fixé à 30 minutes. Ceci correspond aux durées nécessaires pour:

- l'import et le traitement des données météorologiques: lecture des fichiers, calcul du PAR à partir du flux radiatif incident,
- le calcul des 72 échéances horaires nécessaires à la chimie de CHIMERE,
- l'export des résultats dans un format donné.

En déduisant le temps nécessaire aux procédures d'imports/exports, il reste environ 25 minutes pour 72 heures simulées pour chacune des 3 zones soit une moyenne d'un peu moins de 7 secondes par cadastre horaire simulé. Pour répondre à ces exigences, tout en gardant un niveau de flexibilité acceptable, le programme a été simplifié au maximum de tout code inutile au calcul des COV biotiques pour les seules sources forestières, végétations basses et cultures (émetteurs d'isoprènes et de mono terpènes).

## **V.6 Conclusion**

L'application BIOGENIX du LPCA, créée initialement pour le programme ESCOMPTE dans le cadre d'une collaboration avec l'ENSIACET a été validée de manière extensive sur la réalisation des cadastres ESCOMPTE et BOND. Son emploi en PACA par le réseau AIRMARAIX, pour l'extension des cadastres ESCOMPTE à la région, ainsi que son intégration dans une chaîne de modélisation pronostique (basée sur le modèle CHIMERE) démontre que l'objectif de souplesse de mise en œuvre est relativement bien atteint.

Certains points restent cependant à améliorer afin de rendre l'application encore plus conviviale et efficace. La routine de traitement des données météorologiques peut être améliorée afin de pouvoir permettre la gestion de manière plus interfacée et conviviale du traitement des données météorologiques non prédéfinies dans le code. L'intégration d'un pré-processeur pour le traitement des données de type IFN (prédécoupées sur le maillage) et leur conversion dans un format compatible avec la méthodologie ENSIACET – ESCOMPTE permettrait également un gain de temps appréciable dans la préparation des données d'entrée.

Finalement, le choix privilégiant la flexibilité (Access – scripts VBA) ainsi que le caractère "open-source" et libre du logiciel laissent toute latitude à l'utilisateur pour éditer, modifier ou compléter les fonctions déjà implantées. L'adaptation du modèle (canopée plus complexe, modèle de canopée différenciant les essences, spéciations complémentaires des COVNM...) reste également possible à moindre coût et ne nécessite par ailleurs que des connaissances relativement générales en programmation.

## **Références bibliographiques**

AIRMARAIX/LPCA (2001) : Synthèse et recommandations relatives aux spécifications logiciels et format de fichier, rapport commun AIRMAIRAIX/LPCA, ESCOMPTE/Émissions (version 1.1). Disponible auprès de l'ADEME, 27 rue Louis Vicat, F-75737 Paris (France), 34 p.

ENSIACET (2003): Programme ESCOMPTE / Réalisation de cadastres d'émissions atmosphériques (Lot 5 : sources des secteurs agricole et sylvicole et sources naturelle incluant la surface de la mer) - Rapport final – INP-ENSIACET, LPCA pour l'ADEME (Marché ADEME N°00 62 044). Disponible auprès de l'ADEME, 27 rue Louis Vicat, F-75737 Paris (France), 269 p.

Lindfors, V.; Laurila, T.; Hakola, H.; Steinbrecher, R.; Rinne, J. (2000) : Modeling speciated terpenoid emissions from the European boreal forest. *Atmos. Environ.*, 34, p. 4983.

Pier, P.A.; Duffie, M.C. (1997) : Seasonal isoprene emission rates and model comparisons using whole-tree emissions from white oak, *J. Geophys. Res.*, 102 , p. 23963.

Vautard, R.; Beekmann, M.; Roux, J.; and Gombert, D. (2001): Validation of a hybrid forecasting system for the ozone concentrations over the Paris area. *Atmos. Environ.*, 35, p. 2449.





## **Chapitre 6: Outils de gestions d'émissions : POSTICE**

La partie émissions du programme ESCOMPTE, financée essentiellement par l'ADEME et le MEDD, comprenait non seulement la réalisation des cadastres annuel 1999 et horaires (correspondant aux périodes des campagnes de mesures intensives), mais également la pérennisation des acquis méthodologiques et techniques. L'objectif n'était pas uniquement la réalisation d'un ensemble de cadastres pour une expérience de modélisation mais aussi le développement d'outils logiciels permettant de mettre à jour ces cadastres et d'être à mesure de transposer au besoin cette méthodologie à toute autre zone d'étude.

La gestion de l'appel d'offre européen combinée à la complexité de la tâche ont abouti, malgré les précautions initiales prises au niveau du cahier des charges de cet appel d'offre, à des logiciels partiellement homogènes et qui ne sont ni interconnectés, ni interfaçables, rendant leur intégration problématique dans une réelle chaîne de traitement des émissions.

En particulier pour répondre aux besoins d'AAM (Air Alpes Méditerranée) IRMARAIX, notamment dans le cadre de l'extension régionale du cadastre, une étude (achevée en mai 2004) porte sur le développement d'outils complémentaires qui permettent la jointure entre les éléments développés ou qui remplacent, pour certaines fonctions inadaptées, dans les outils développés dans le cadre d'ESCOMPTE. Ce chapitre présente les différents aspects concernant le développement et les fonctionnalités de ce logiciel, nommé POSTICE, dont le développement a été cofinancé par AAM et l'ADEME.



## **VI.1 Contexte général du développement**

Comme précédemment évoqué, la réalisation des cadastres d'émissions du programme ESCOMPTE a été effectuée par lots, attribués à divers bureaux d'études-organismes suite à un appel d'offre. Un des aspects négatifs de cette gestion a été de morceler le logiciel de calcul et de mise à jour des cadastres qui était demandé dans le cahier des charges. Un document a été élaboré par le CEPE sur les formats de fichiers et la structure globale à utiliser pour les outils, afin de tenter de limiter les problèmes de compatibilité entre les diverses contributions, principalement en ce qui concerne les formats de fichiers de sortie. Malgré ces efforts, ces outils sont difficiles à intégrer dans un ensemble uniforme et cohérent. Les principales limitations viennent de choix structurels et méthodologiques et également de verrous dus à l'aspect commercial des outils, dont l'ADEME n'est pas propriétaire.

L'outil développé par ARIA Technologies est le plus contraignant dans son emploi, avec comme limitation principale son caractère "boîte noire" (pas de visibilité du code et du détail des traitements internes). En effet, il a été développé en partie sur une mise à jour de l'outil CollectER de l'EEA (Pulles *et al*, 1999) qui était déjà lui-même une "boîte noire". Nous n'avons aucune information, y compris dans les rapports finaux, sur le fonctionnement interne détaillé du logiciel et les fonctionnalités implantées souffrent de graves lacunes, notamment dans la définition des profils utilisés pour la répartition temporelle des émissions. Ces profils sont extrêmement basiques, se limitant à l'application de coefficients de répartitions pour les mois et les jours (pondération simple) et d'un profil horaire qui n'est pas modulé en fonction du type de jour. L'impossibilité d'utiliser des coefficients plus spécifiques limite par exemple grandement l'intérêt de cet outil.

L'outil MVA est pour sa part mieux documenté mais fonctionne toujours comme une "boîte noire". Il a été développé intégralement dans le cadre du programme ESCOMPTE et fait preuve d'une flexibilité exemplaire en ce qui concerne la définition des données d'entrée et des profils temporels d'attribution d'activité. Malheureusement, il n'est pas possible, de par les caractéristiques de son interface, de réellement intégrer cet outil dans une structure plus globale. D'autre part, des coefficients de répartitions temporelles d'activité sont utilisés pour recalculer, pour

chaque cadastre horaire, les émissions à partir des activités modulées en tenant compte de la capacité de la voirie pour calculer la vitesse (du trafic routier) utilisées dans le modèle. Si cette méthode est la plus appropriée en regard de la méthodologie employée, elle engendre un coût important en temps de calcul (environ 8h pour 24h simulées) qui n'est en général pas toujours compatible avec les besoins en modélisation diagnostiques, notamment lorsque l'on implante des modèles fonctionnant systématiquement en prévision tous les jours.

L'outil concernant la partie biogène étant la propriété de l'EPCA et de l'ENSIACET, il ne s'agit pas d'une boîte noire et il est disponible en version "open source" et personnalisable à volonté. Son intégration ne pose aucun problème d'accès contrairement aux autres outils.

La vocation du logiciel POSTICE est donc d'apporter les compléments en terme de traitements et post-traitements d'inventaires qui n'étaient pas pris en charge par les outils initiaux développés dans le cadre du programme ESCOMPTE. Il se doit donc de combler les lacunes en fournissant les outils nécessaires à la bonne gestion des bases de données dans le cadre d'une utilisation plus ciblée étude que recherche.

## ***VI.2 Réalisation de l'outil***

### **VI.2.1 Préliminaires: précision sur les termes utilisés**

Pour éviter toute ambiguïté, il est préférable de repreciser quelques définitions de notions utilisées dans l'exposé ci-dessous:

- Base d'entrée : la base de données contenant les inventaires d'émissions que l'on veut utiliser ou retraiter
- Base de sortie : la base de données contenant le résultat des traitements effectués par le logiciel.
- Base externe de paramètres : la base de données qui contient des jeux de paramètres définis par l'utilisateur et qui peuvent être chargés et édités dans le logiciel. En exemple, de manière non exhaustive, on peut lister:
  - les collections prédéfinies de polluants suivant les objectifs des études (PRQA, PPA, photochimie, ...),
  - les collections prédéfinies de SNAPs,

- les matrices de définitions (SNAP ; Regroupements) pour les analyses sectorielles,
- les matrices de définitions (IDSURF ; Regroupements) pour les analyses spatiales,
- les coefficients annuels par SNAP (pondération par rapport à l'année de référence),
- la matrice de désagrégation (SNAP; JOUR; Heures) utilisée pour les désagrégations temporelles,
- la matrice d'attribution spatiale (IDSURF 1, IDSURF 2, Clé 1, Clé 2, ...) utilisée pour la spatialisation des émissions.
- Base géographique : la Géodatabase ESRI qui contient les données géographiques nécessaires à la réalisation de cartographie des émissions sous SIG.

### VI.2.2 Préliminaires: information sur quelques techniques utilisées

Il est utile de présenter ici une structure qui sera très utilisée dans les développements. Il s'agit des collections d'objets. Cette structure est classique en programmation orientée objet et permet de regrouper des objets de type identique dans un ensemble qui peut supporter, entre autre, les méthodes d'énumération, de capacité et de dénombrement. La méthode d'énumération nous intéresse particulièrement car elle permet de baser nos itérations non pas sur des boucles fixées mais sur des collections définies de manière dynamique, ce qui permet de supprimer un nombre appréciable de tests. La structure des collections est analogue à celle d'une liste chaînée (voir figure 44): un élément se décompose en une information et un pointeur désignant l'élément suivant. Cette structure permet de gérer des longueurs variables de listes, d'ajouter ou supprimer des éléments de manière souple, quelque soit leur point d'insertion ou de suppression dans la liste et sans que cela ne perturbe l'application des méthodes à la liste.



Figure 44: Structure de liste chaînée

Les collections peuvent être définies aisément par le balayage d'une table contenant la liste des SNAP et un "bit" (ou élément binaire) indicateur de traitement.

Cette structure a l'avantage d'être souple et légère à mettre en œuvre (faible temps CPU et accès disque modérés). L'avantage avec l'utilisation d'un test directement basé sur le bit indicateur est surtout dans la suppression des tests dans les parties répétitives de traitement.

Les collections s'appliquent dans notre outil à plusieurs niveaux. On peut citer de manière non exhaustive :

- la gestion des listes de SNAP
- la gestion des listes de polluants
- la gestion des listes de toute entité qui s'y prête lorsque cela facilite l'écriture flexible de codes (listes de mailles, listes d'entités de sélection géographique, etc)

Lorsqu'une boucle est définie sur une liste dans un organigramme, il faut comprendre que cette boucle s'applique de la première à la dernière entrée de la liste. On utilisera également ces listes dans l'interface graphique pour la génération des menus déroulants ou liste de choix multiples.

L'ensemble de l'outil a été écrit pour utiliser les connecteurs fournis par ADO (version 2.1 et postérieure) pour la manipulation des sources de données en se conformant aux règles d'implantation, afin de minimiser les risques de problèmes lors des futures mises à jour de l'ensemble Office / Windows. Ces bibliothèques étant bien optimisées, le développement d'une application basée sur Access / ADO permet de faciliter grandement l'écriture et la flexibilité du logiciel, sans trop sacrifier la performance par rapport à une application utilisant des fichiers plus statiques. Notre priorité reste toujours de privilégier la flexibilité et de faibles coûts de maintenance du logiciel plutôt que la performance pure.

### **VI.2.3 Limitations connues à ce jour**

De part l'environnement actuel de développement, certaines limitations sont à prendre en compte. Cette liste n'est pas exhaustive mais rappelle certaines limitations qu'il est important de garder à l'esprit :

- Limite des 255 champs : les bases de données Access ne peuvent pas gérer plus de 255 champs de données. Ceci nous impose une limite dans le nombre de polluants pris en compte dans un inventaire. Pour déterminer le nombre de polluants maximum, il faut prendre en compte la table

contenant le plus de champs annexes, en l'occurrence la table contenant les GSP avec 15 champs indicateurs (hors IDSURF). Il nous semble logique d'en réserver 4 de plus pour de futures extensions et/ou le stockage d'informations complémentaires sur les combustibles. Cela laisse un total de 236 champs auxquels on doit retrancher le champ pour l'IDSURF. Nous avons donc une capacité de stockage pour 235 polluants. Il est à noter que sous SQL Server, cette limite est portée à 1024 champs mais avec les contraintes précédemment évoquées (lourdeur de l'implantation, nécessité de disposer d'une personne formée spécifiquement pour la mise en œuvre de telles bases de données).

- Limite des 2 Gigaoctets : cette limite classique est importante si l'on veut travailler avec de vastes zones (comme le cas de l'extension à la région PACA du cadastre annuel ESCOMPTE). Pour les outils stockant exclusivement les résultats dans des bases de données Access, on peut rencontrer le problème. Une approche parcellaire dans le sens d'une division sectorielle nous semble la plus appropriée pour contourner ce problème, plutôt que découper la grille globale en sous grille. Les catégories SNAPs calculées séparément pourront être ensuite retraitées d'une manière plus simple et standardisées dans un environnement SQL Server qui ne présente pas de limite de taille de base de données<sup>61</sup>. Il est également bon de rappeler qu'une base SQL Server est limitée elle aussi à 2 Go si l'on utilise Desktop Engine de SQL Server 2000 ou MSDE 1.0 (Microsoft Data Engine). Ces deux outils ont l'avantage de fournir une interface relativement similaire à celle de Microsoft Access mais en utilisant des bases de données dans le format natif de Microsoft SQL Server. La limitation de taille et les performances (équivalentes à Access) sont néanmoins en défaveur de cette solution qui n'offre pas plus de flexibilité alors que le coût d'implantation reste bien supérieur à celui du SGBD bureautique.

---

<sup>61</sup> Abus de langage : il y a bien sur une limite de taille pour une base de données SQL Server 2000 mais sa limite actuelle n'est pas réalisable physiquement car égale à 1 048 516 Téraoctets = 1 Exaoctets. La taille de chaque fichier de la base de données est limitée à 32 Téraoctets, capacité déjà difficile à atteindre en terme de stockage.



## **VI.2.4 Conditions de licence du logiciel**

En accord avec les commanditaires de l'étude, AIRMARAIX et l'ADEME, il a été décidé d'adopter une licence de type GNU-GLP pour définir les conditions de licence du logiciel POSTICE. Cette licence modifiée a pour but de garantir la gratuité de sa diffusion dans tout organisme à but non lucratif mais de limiter les possibilités d'intégration du code de l'outil dans un outil commercial.

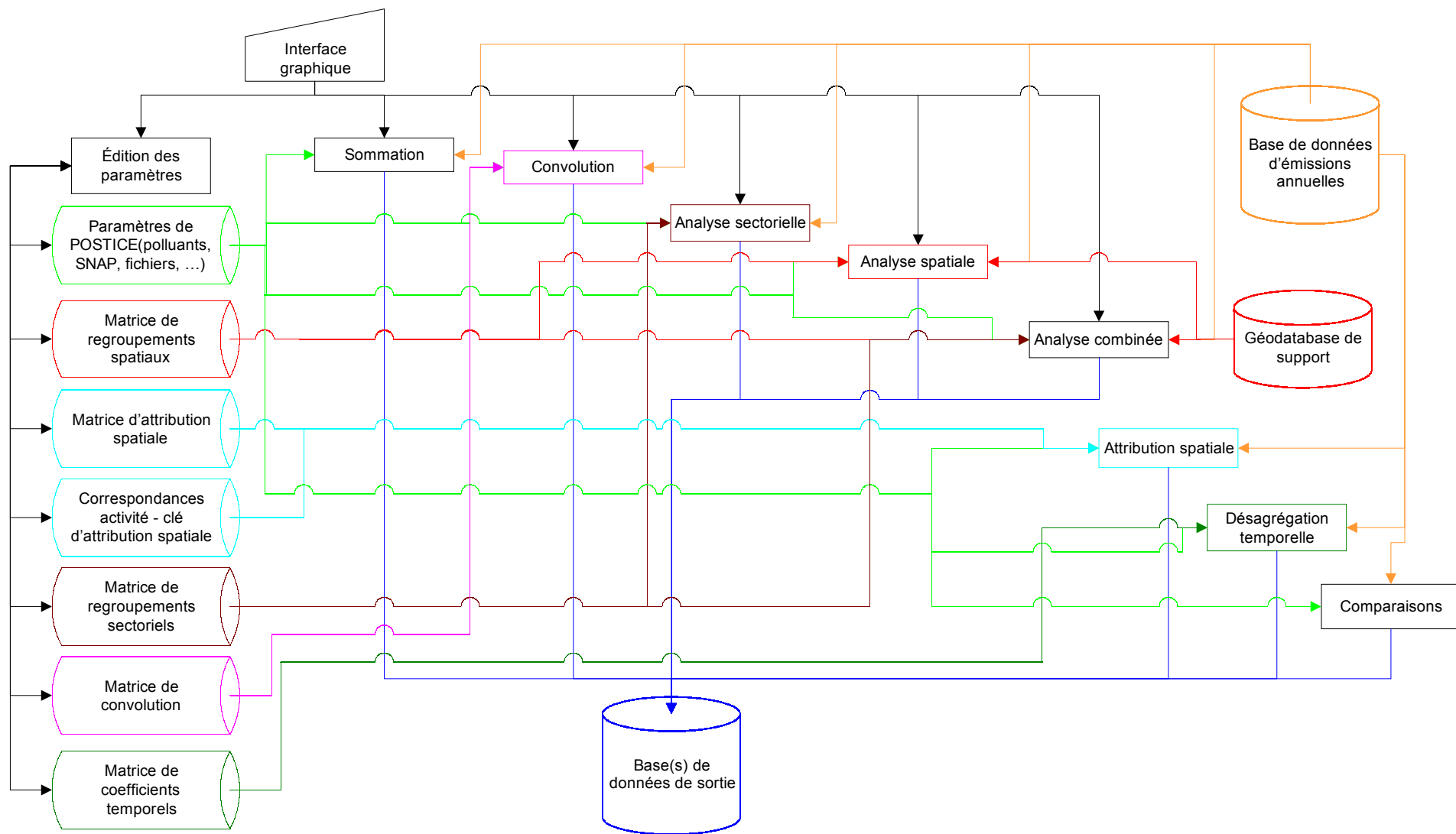
## **VI.3 Structure globale de l'outil**

### **VI.3.1 Organisation globale de l'outil**

L'outil se décompose en modules distincts (voir figure 45) effectuant des tâches définies. Cependant chacun de ces modules partage avec l'ensemble des autres un grand nombre de fonctions élémentaires de traitement. Dans cette optique, nous avons choisi de privilégier la réutilisation et l'encapsulation de fonctions élémentaires basiques mais robustes (ex: sommer un ensemble de matrices dans une nouvelle matrice, sommer les colonnes d'une matrice dans un vecteur de scalaires, etc...) qui sont partagées par les divers modules de traitement. La plupart des modules ne sont alors composés que d'appels de ces fonctions prédéfinies en fonctions des paramètres choisis dans le logiciel. Cette structure minimise la maintenance et permet d'éditer ou d'ajouter facilement de nouveaux modules s'appuyant sur cet ensemble de fonctions basiques, d'une manière similaire à un appel de bibliothèque de programmation, qui dans notre cas est interprétée (bibliothèque de scripts) et non compilée comme au sens classique d'une bibliothèque d'objets (statique ou dynamique).

Le logiciel comprend deux classes principales de fonctions de traitement de bases de données: des fonctions d'analyse et des fonctions de retraitement. Par fonction d'analyse, on entend l'analyse des bases de données d'émissions pour déterminer les tables présentes (une table représentant une catégorie SNAP ou une activité codifiée), les champs de polluants présents dans chacune de ces tables, le type de ces tables (maillage lacunaires ou global) et la grille de restitution qui sera adaptée pour la restitution des traitements. Certaines de ces étapes ne seront peut-être pas entièrement automatisées, en fonction du temps disponible pour la finalisation du développement et en fonction des contrôles manuels qui restent parfois nécessaires. Les fonctions d'analyses fournissent en priorité les informations pertinentes

permettant d'obtenir un gain sensible en terme de nombre d'unités d'œuvre et d'assurance qualité (suivi et traçabilité des analyses qui sont enregistrées dans la base de données de l'application, journal des opérations, etc.). Par fonction de retraitement, on entend toutes les fonctions qui génèrent une nouvelle information à partir de la base de données d'entrée, que ce soit en effectuant des regroupements spatiaux et/ou sectoriels, des comparaisons et des attributions spatiales ou temporelles.



**Figure 45: structure globale de POSTICE**  
 (les couleurs sont arbitraires et servent uniquement à faciliter la lecture)

### **VI.3.2 Interface de l'outil: exemples de boîtes de dialogue**

Une des préoccupations lors du développement d'un outil logiciel qui n'a pour vocation que d'être un simple code de "laboratoire" est de rendre l'apprentissage et l'utilisation de cet outil les moins contraignants possibles. Dans ce domaine, l'usage d'interfaces graphiques facilite grandement la tâche. Le menu d'accueil de POSTICE présenté sur la figure 46, fournit un exemple de l'environnement de travail. Il est divisé en zones de contrôle regroupant les boutons servant à l'appel des diverses fonctions du logiciel.

La zone "Environnement" correspond à la définition des bases de données dans lesquelles l'utilisateur travaille. Elle permet par exemple de définir les bases de données utilisées en entrée et en sortie ainsi que les paramètres conditionnant le format de sortie, que ce soit au niveau du choix de format de fichier (bases Access, fichiers texte, fichiers Excel, Geodatabases, ...) ou de la définition des noms de fichiers et chemins d'accès.

La zone "Paramètres" correspond à la définition ou au chargement depuis une base de données des listes de SNAP et polluants qui sont traités par le logiciel.

La zone "Outils" permet de générer la table de présence de polluants en fonction des tables d'émissions (matrice SNAP / Polluants) servant à générer les collections de polluants traités en fonction de la liste indiquée par l'utilisateur.

L'utilisateur peut visualiser ou créer les divers paramètres de calcul avec les menus définis dans la zone "Paramètres de calcul".

La dernière zone de formulaire ("Lancement calculs") regroupe les boutons servant au lancement des divers calculs (avec une éventuelle vérification ou confirmation complémentaire).

La base de données / logiciel de traitement est prévue pour être dupliquée pour conserver les données de traitement en mémoire (dans des tables). On pourra choisir de stocker les résultats d'analyses (hors données prévues pour une Géodatabase) dans la base de données du logiciel, sous forme de projet de traitement avec résultats intégrés.

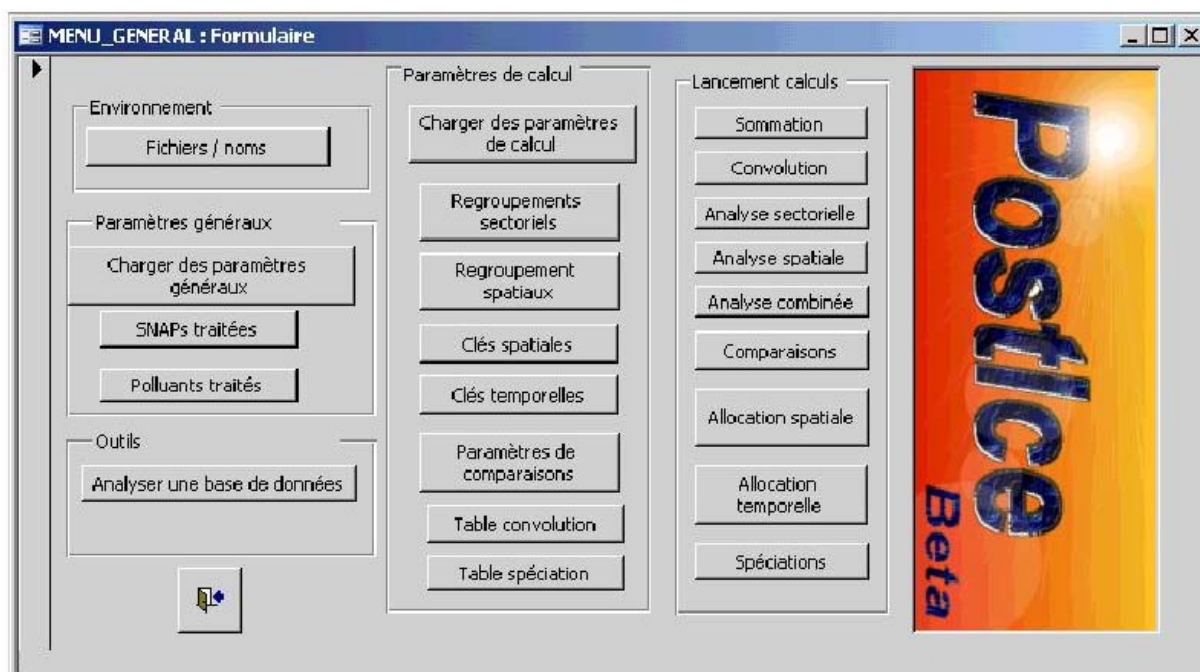


Figure 46: menu général de POSTICE

Des menus guident l'utilisateur dans l'édition des paramètres et les choix entre les diverses options de calcul, comme présenté sur la figure 47 pour le cas de la saisie de profils temporels utilisés pour la génération de cadastres horaires. Le formulaire affiche les 24 fractions horaires définies par l'utilisateur, le total de vérification et une prévisualisation sous forme de graphique permettant une meilleure perception de l'évolution du facteur d'allocation horaire pour la journée modélisée.

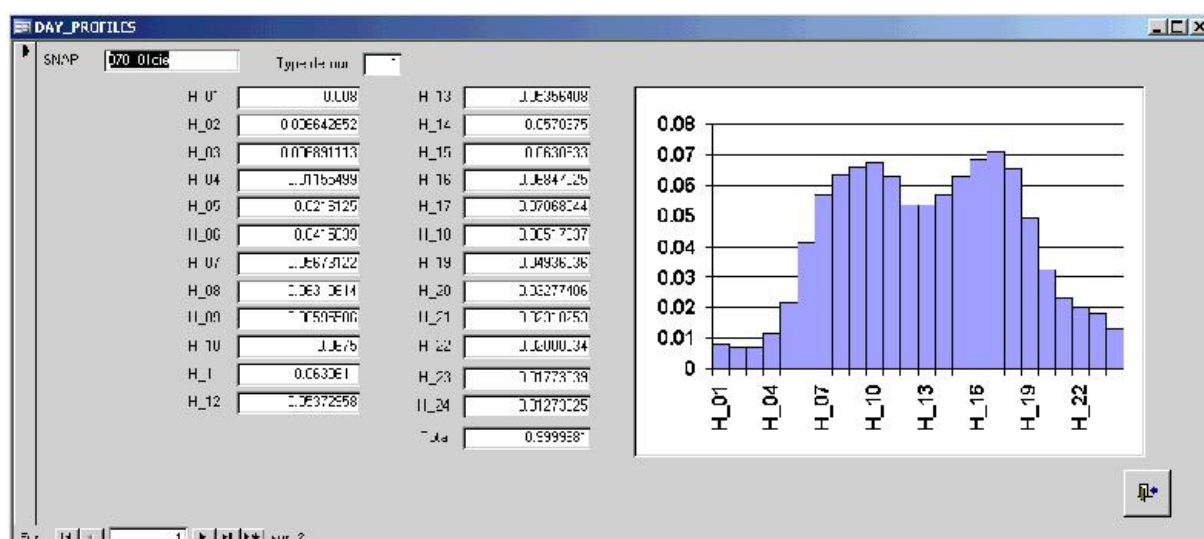


Figure 47: exemple de menu de saisie de profil temporel journalier

Si l'emploi de formulaires et d'interfaces est quasi-systématique dans l'outil, il est bien sûr possible d'accéder directement aux tables, dans l'interface classique

d'Access, pour les éditer ou les remplacer directement par des paramètres définis ou importés.

## **VI.4 Fonctions de sommation et convolution**

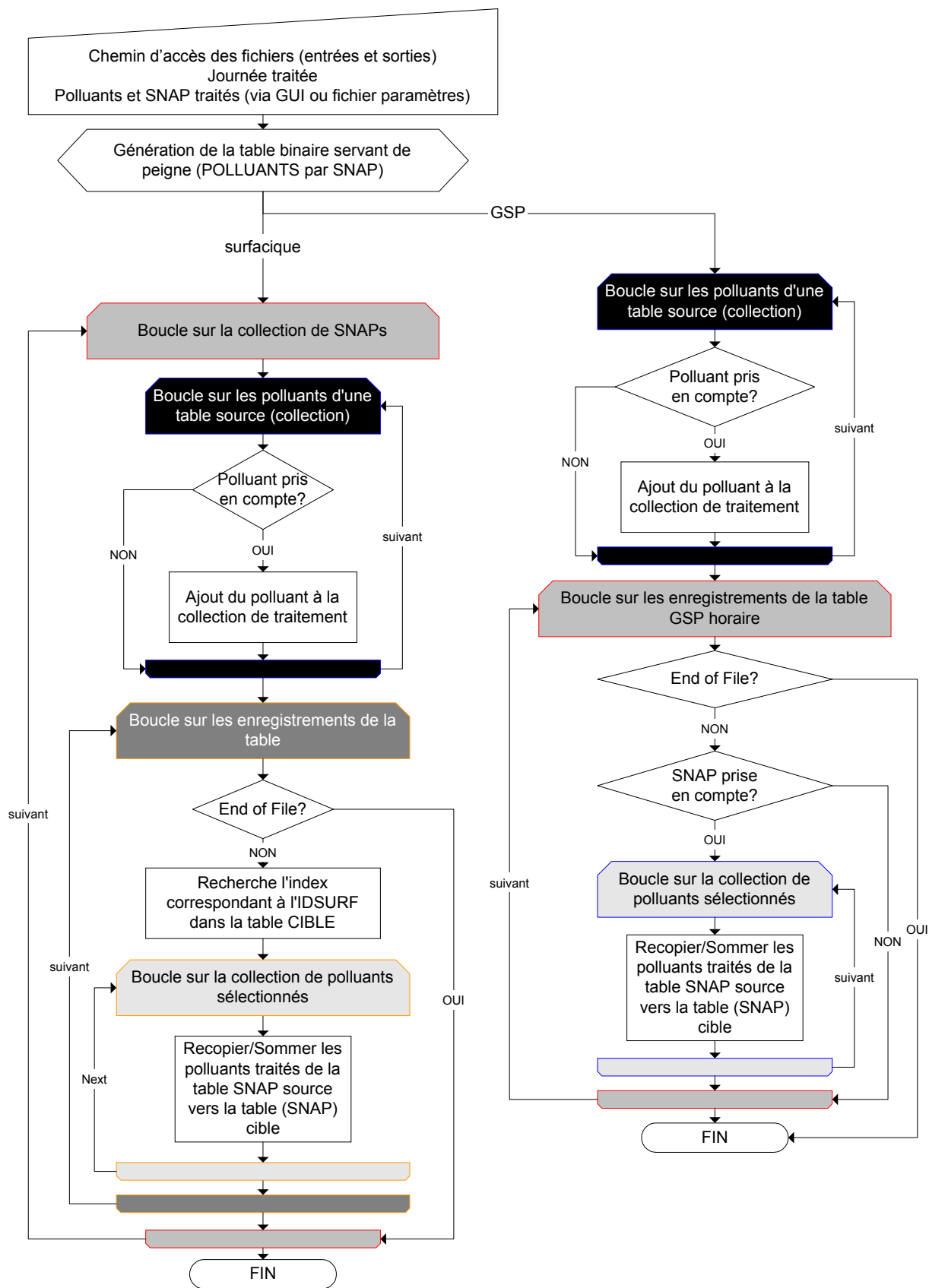
### **VI.4.1 Fonction de sommation**

Cette fonction effectue la sommation de diverses contributions détaillées au niveau sectoriel (niveau quelconque de la SNAP) vers une contribution globale. Cette manipulation de base de données n'a pas vraiment de finalité analytique intrinsèque mais elle sert lors de traitements tels que les analyses sectorielles ou lorsque l'on veut préparer une contribution globale pour un usage en modélisation. Son intérêt pour notre exposé est d'avoir une structure relativement représentative du type de programmation qui est effectuée dans l'outil. Pour cette raison, nous l'utilisons pour présenter et expliciter davantage l'usage qui est fait des collections dans le logiciel.

L'organigramme présenté sur la figure 48 détaille le processus de traitement des émissions surfaciques et GSP (Grandes Sources Ponctuelles) dans une opération de sommation des contributions détaillées vers une contribution unique. A la différence des sources surfaciques, les GSP sont soit "recopiées" vers une table de la base de résultats, soit incorporées dans les émissions surfaciques (en perdant leur identité de sources ponctuelles) suivant l'option choisie par l'utilisateur.

On remarquera que toutes les boucles sont définies sur des structures de type collection ou sur des listes d'enregistrements qui sont elles-mêmes définies de manière dynamique par les requêtes SQL servant à la manipulation des diverses tables de données. Cela autorise une gestion plus souple des définitions (nom de polluant, tables) aussi bien que des contenus (lacunaires ou non) tout en gardant un minimum de tests dans les parties les plus sollicitées du programme afin de garder de bonnes performances. La boucle de niveau intermédiaire, traitant le balayage des tables, ne comporte comme test que la détection de fin de table et le saut des mailles dans le cas de table lacunaires. Ceci est rendu possible par la plus grande flexibilité disponible dans la bibliothèque ADO (ActiveX Data Objects) qui autorise la manipulation des noms de champs via des chaînes de caractères. Ceci n'était pas possible dans l'ancienne bibliothèque DAO (Data Access Objects) qui avait été utilisée pour les retraitements effectués au LPCA (agrégations et rebouclages) sur les cadastres du programme ESCOMPTE. En l'absence de possibilité de manipuler

de manière symbolique les noms de champs, le programme original en DAO avait un niveau de performance et une flexibilité inacceptables, la définition de nouveaux polluants nécessitant une intervention dans le code et des tests pénalisants étaient nécessaires dans les parties les plus sollicitées du programme (boucle de sommation des polluants).



**Figure 48: détail du traitement d'agrégation**  
(les symboles ont le sens usuel utilisé dans un diagramme de flux)



### **VI.4.2 Fonction "Convolution":**

Cette fonction correspond à la multiplication d'une table d'émissions (IDSURF; Polluants) correspondant à une activité SNAP par les coefficients définis dans la matrice de convolution (SNAP; Pondérations des polluants) pour calculer une nouvelle table d'émissions comportant des pondérations définies par l'utilisateur.

Comme la fonction de sommation, son emploi n'est pas forcément de finalité directe mais elle peut aussi être utile pour des tâches diverses telles que :

- Générer une table pondérée de polluant pour tenir compte de leurs effets relatifs : la matrice de convolution peut correspondre aux PCOP (Potentiel de Création d'Ozone Photochimique) des polluants ou à leur potentiel d'effet de serre (GWP: Global Warming Potential),
- Générer une projection rapide de l'effet d'une mesure de réduction des émissions qui est formulée directement sur les émissions (cas courant pour les sources industrielles).

La mise en œuvre est simple, reprenant les mêmes principes de gestion de listes de polluants et SNAP qui ont été présentés dans le cas de la fonction de sommation.

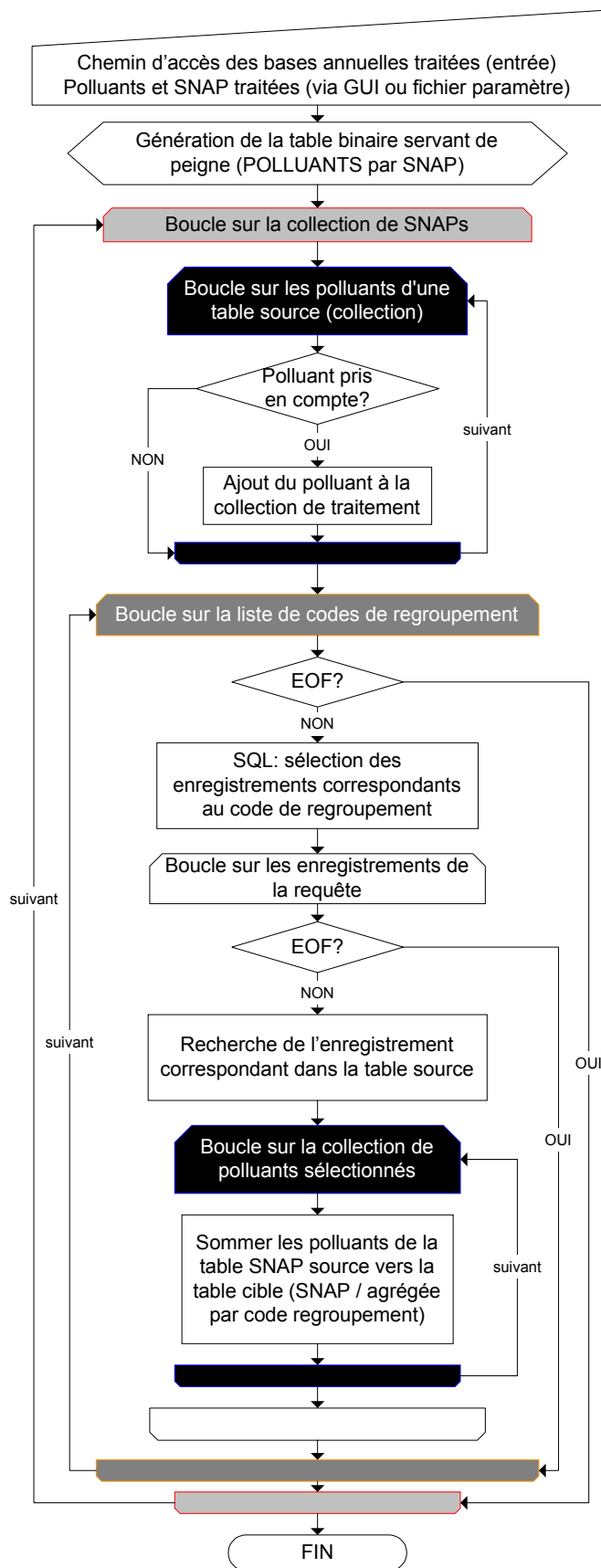
## ***VI.5 Fonction d'analyses sectorielles et spatiales***

### **VI.5.1 Fonction "Analyse sectorielle"**

Cette fonction effectue des regroupements en fonction des secteurs d'activités définis par l'utilisateur. Elle est intrinsèquement une application de la fonction de sommation qui s'applique cette fois à plusieurs listes de SNAP qui sont sommées en plusieurs tables d'émissions, voire en un simple résumé des émissions totales par secteur d'activité. Son implantation ne pose pas de différence notable par rapport à ce qui a été présenté et donc nous ne nous étendrons pas plus sur cette partie de l'application.

### **VI.5.2 Fonction "Analyse spatiale"**

Cette fonction effectue des regroupements en fonctions de critères d'analyse spatiaux. Les fichiers de sortie peuvent être aussi bien des tables de données Access que des tables de données incluses dans une Geodatabase et pouvant être visualisées directement sous SIG.



**Figure 49: organigramme du traitement d'analyse sectorielle et spatiale**  
(les couleurs ne servent qu'à faciliter la lecture et n'ont pas de signification intrinsèque)

L'outil n'a besoin que de deux tables de données (en plus des tables de définition des listes de polluants et SNAP traités) qui fournissent :

- La liste des codes d'agrégation : ce sont les codes selon lesquels on veut effectuer l'agrégation spatiale des émissions. Ils peuvent correspondre à la définition de communes, d'unités urbaines, d'arrondissements, ...
- La correspondance entre IDSURF et code d'agrégation.

Il est à noter que la structure choisie permet de définir une seule table de correspondance entre les IDSURF et codes d'agrégation même si l'on utilise plusieurs définitions d'ensembles d'agrégation : les redondances sont possibles pour les IDSURFS qui peuvent naturellement correspondre simultanément à un code de département, un code d'arrondissement, etc. Lors de sélection SQL qui s'effectue sur un seul code, on retrouvera un ensemble sans doublon d'IDSURF. L'utilisateur peut de manière flexible changer de liste des codes d'agrégation sans avoir à éditer la table de correspondance qui peut être définie une fois pour toute pour l'ensemble des découpages existant sur la zone d'étude.

### **VI.5.3 Fonction "Analyse combinée"**

Cette fonction combine les deux types de regroupements pour obtenir des analyses donnant à la fois un regroupement spatial et sectoriel. Les fichiers de sortie peuvent être aussi bien tabulaires que de type Geodatabase. La partie algorithmique de cette analyse est la combinaison de ce qui a été présenté aux deux points précédents.

## **VI.6 Fonctions de comparaison et visualisation**

### **VI.6.1 Fonctions de comparaison**

Cette fonction effectue la comparaison entre des tables d'émissions, que cela soit basé sur les éléments du maillage (fonction présente dans ArcView) ou sur des entités géométriques quelconques de regroupement (ex : découpage communal, ...), fonction qui est absente du SIG. L'analyse peut également être couplée à une analyse sectorielle. La déviation pourra être exprimée tant en rapport (Quantité A / Quantité B) qu'en pourcentage ( $100 \times (\text{Quantité B} - \text{Quantité A}) / \text{Quantité A}$ ). Le résultat est sous la forme d'un maillage de valeurs de variations par rapport au cadastre d'émissions de référence (en fraction ou pourcent).

## **VI.6.2 Fonction de visualisation**

Cette fonction n'apparaît pas explicitement dans le menu général mais elle est incluse dans la définition des formats de fichiers, avec le choix du format d'exportation des résultats vers un format Geodatabase ESRI. Elle inclut également le support géographique SIG, ce qui permet d'obtenir directement la cartographie des émissions sous SIG.

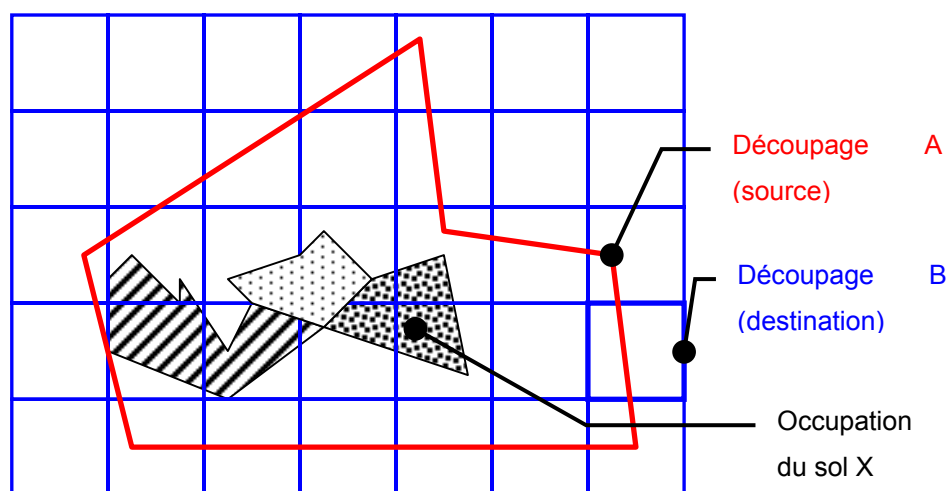
## ***VI.7 Outil d'attribution spatiale des émissions***

### **VI.7.1 Approche choisie pour la spatialisation**

Les outils ARIA et MVA produits dans le cadre du programme ESCOMPTE intègrent les fonctions nécessaires à la spatialisation des émissions mais ces opérations sont basées sur des prétraitements SIG dans les deux cas. Dans notre optique de mise en cohérence des outils, nous avons préféré remplacer les outils utilisés par ARIA pour l'attribution spatiale des émissions pour les sources surfaciques stationnaires.

Sur une proposition d'AIRMARAIX, la méthode exposée ici permet de séparer la partie traitement géométrique (sous SIG) et l'outil de traitement des bases de données (sous SGBD) en créant la matrice de correspondance appropriée. L'idée de base est de considérer la spatialisation des sources surfaciques comme un changement de pavage (voir figure 50). Les émissions sont alors définies sur un pavage du plan projeté A, par exemple le découpage communal, et transférées vers un pavage B représentant notre maillage de destination.

Afin d'illustrer la démarche à travers un exemple concret, considérons une occupation du sol  $X$  à  $v$  classes, nommées  $X_1$  à  $X_v$ . Il s'agit alors de rechercher la répartition sur le pavage B des émissions calculées sur le pavage A. Pour cela on construit une clé de répartition basée sur des combinaisons pondérées, des surfaces de diverses classes d'occupation du sol.



**Figure 50: construction de clé de répartition spatiale pour le passage d'un découpage spatial à un autre**

Activités (α)	Classes d'occupation du sol utilisées pour la répartition (β)	Pondération λ <sub>α,β</sub> en fonction de l'activité α et la classe de sol β
S <sub>i</sub>	X <sub>o</sub>	λ <sub>i,o</sub> = 0.8
S <sub>i</sub>	X <sub>p</sub>	λ <sub>i,p</sub> = 0.2
S <sub>j</sub>	X <sub>q</sub>	λ <sub>j,q</sub> = 1.0
S <sub>k</sub>	X <sub>o</sub>	λ <sub>k,o</sub> = 0.5
S <sub>k</sub>	X <sub>t</sub>	λ <sub>k,t</sub> = 0.3
S <sub>k</sub>	X <sub>v</sub>	λ <sub>k,v</sub> = 0.2

**Tableau 16: exemple de construction des clés de répartitions spatiales (valeurs arbitraires)**

Le tableau 16 et l'équation 1 définissent la fraction des émissions associée à un élément du maillage B comme étant affectée au prorata des ratios de surfaces dans B par rapport aux surfaces dans A, en introduisant en plus une pondération λ<sub>i,j</sub> dépendant de l'activité α et la classe de sol β considérées. La clé de répartition peut donc être basée sur une classe d'occupation du sol ou une combinaison linéaire pondérée de diverses classes dont la formule est donnée par l'équation 1.

$$X'_{\alpha,A,B} = \sum_{\beta} \frac{X_{\beta,B}}{\sum_A X_{\beta,A}} \cdot \lambda_{\alpha,\beta} \quad (1)$$

Où:

- X'<sub>α,A,B</sub> est la fraction des émissions associées à l'activité α définie pour l'élément du pavage A qui est répartie sur l'élément de maillage B

- $X_{\beta,A}$  sont les surfaces des polygones d'occupation du sol de catégorie  $\beta$  présents dans le pavage A
- $X_{\beta,B}$  est la surface dans l'élément de maillage B pour la catégorie d'occupation du sol  $\beta$
- $\lambda_{\alpha,\beta}$  est le coefficient de pondération pour la répartition des émissions de l'activité  $\alpha$  en fonction de la classe d'occupation du sol  $\beta$  (avec  $\sum_{\beta} \lambda_{\alpha,\beta} = 1$ ).

Le résultat de l'équation 1 s'obtient sous SIG par les opérations suivantes:

- La génération de l'intersection géométrique de l'occupation du sol X par A, nommée C.
- Le calcul de la surface pour chaque classe d'occupation du sol ( $\sum_A X_{\beta,A}$ ) pour chaque élément de A.
- La génération de l'intersection géométrique de C par B.
- Le calcul de la surface pour chaque classe d'occupation du sol pour chaque élément de B (éléments  $X_{\beta,B}$ ).
- Le calcul de la somme sur l'indice  $\beta$  défini par l'équation 1.

Dans le cas théorique idéal, on disposerait d'une clé d'attribution pour chaque activité présente dans l'inventaire. Le cas plus réel de spatialisation des émissions, en tenant compte des limites des données et de la méthodologie actuelle (corrélation entre émissions et classes d'occupation du sol) ne va utiliser que quelques combinaisons classiques correspondant aux grandes familles d'activité (résidentiels, tertiaires, zones mixtes, etc) rencontrées dans l'inventaire.

On peut, suivant les situations, avoir à traiter plusieurs pavages source de la zone d'étude (iris, communes, cantons, arrondissement, département, ...), ce qui nécessite la définition de plusieurs matrices de répartition, sans toutefois changer la procédure, la spatialisation pouvant s'effectuer en autant d'étapes que de pavages source à traiter.

### **VI.7.2 Mise en œuvre du calcul**

La partie générant les informations issues de la géométrie est naturellement traitée sous SIG. Le regroupement de ces résultats permet de construire le tableau 17 qui contient dans ses lignes l'ensemble des informations correspondant aux

entités générées par les intersections entre les pavages (A et B) et les classes d'occupation du sol utilisées pour la spatialisation

Le tableau 17 a un nombre de lignes supérieur au nombre de mailles présentes dans le pavage B du fait des redondances introduites au niveau des limites entre les divers éléments du pavage A qui sont partagés entre plusieurs mailles de B. La sélection des lignes correspondant à un élément de A donne une liste d'éléments de B sans redondance, qui permet de faire l'attribution des émissions de manière directe selon l'équation 2.

$$E_{\alpha,i} = E_{\beta,i} \cdot X'_{i,\alpha,\beta} \quad (2)$$

Où:

- $E_{\alpha,i}$  représente les émissions pour l'activité i qui sont affectées à l'élément  $\alpha$  de maillage de A
- $E_{\beta,i}$  représente les émissions pour l'activité i et pour l'élément  $\beta$  du pavage B
- $X'_i$  représente la clé de répartition pour l'activité i de l'élément  $\beta$  vers la maille  $\alpha$

IDSURF (B)	IDSURF (A)	$X'_i$	$X'_j$
$\psi$	$\varepsilon$	$X'_{i,\varepsilon,\psi}$	$X'_{j,\varepsilon,\psi}$
$\varphi$	$\varepsilon$	$X'_{i,\varepsilon,\varphi}$	$X'_{j,\varepsilon,\varphi}$
$\sigma$	$\varepsilon$	$X'_{i,\varepsilon,\sigma}$	$X'_{j,\varepsilon,\sigma}$
$\psi$	$\zeta$	$X'_{i,\zeta,\psi}$	$X'_{j,\zeta,\psi}$
$\varphi$	$\zeta$	$X'_{i,\zeta,\varphi}$	$X'_{j,\zeta,\varphi}$

**Tableau 17: exemple de table de clés de répartitions pour  $\{\varepsilon, \zeta\}$  éléments de A vers  $\{\psi, \varphi, \sigma\}$  éléments du maillage de destination B**

L'application avec les données sous cette forme est relativement rapide et directe comme illustré sur la figure 51 qui présente l'organigramme de cette partie du programme. Pour chaque élément du pavage A, on sélectionne les enregistrements de la table de clés de répartition et on sélectionne les émissions correspondant à l'élément de A dans la table d'émissions correspondant à l'activité i considérée. Une table (non représentée) donne la correspondance entre code d'activité SNAP et la clé appropriée. On balaie le résultat de la requête sur A et pour chaque correspondance avec un élément de B, on effectue l'attribution des émissions avec le coefficient  $X'_{i,\alpha,\beta}$ .

L'algorithme proposé ici n'est probablement pas le plus rapide mais nous avons une fois de plus privilégié l'aspect utilisateur et économie de temps humain qui est le plus important. Cette opération d'attribution spatiale n'est effectuée dans notre outil que pour la génération de cadastres annuels, ne nécessitant donc pas un souci particulier sur l'aspect vitesse de traitement.

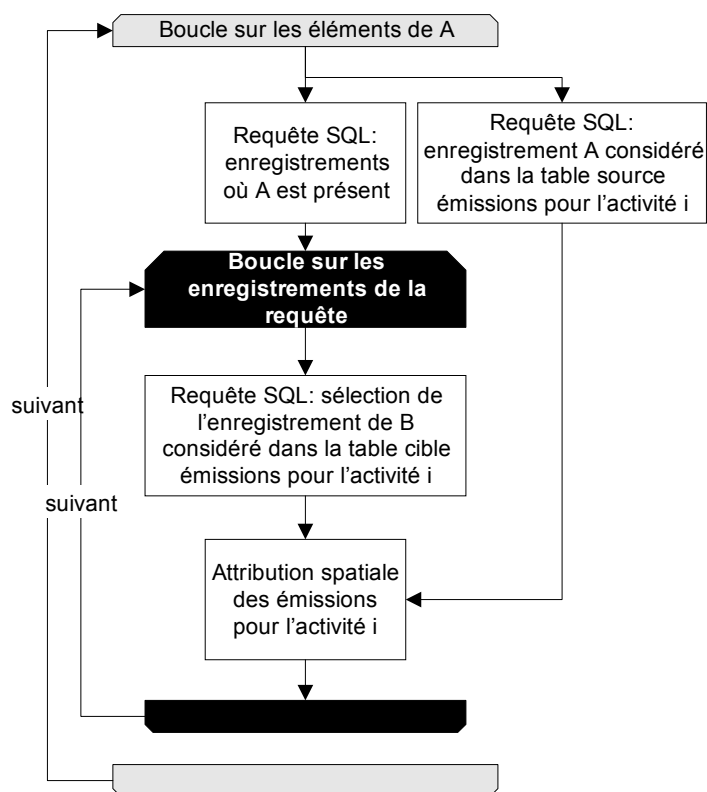


Figure 51: organigramme de la partie attribution des émissions

## VI.8 Outil de modulations temporelles des émissions

### VI.8.1 Contexte

Pour les besoins de la modélisation, il est nécessaire de disposer d'un outil permettant de réaliser l'attribution temporelle des émissions. Cette attribution s'effectue ici par répartition temporelle des émissions annuelles à l'aide de clés de répartition construites en fonction de l'activité ou de données réelles d'activité (cas de certaines GSP). Le but de l'outil de modulation est donc de fournir des cadastres horaires, en général agrégés et sans distinction sectorielle, prêts à être utilisés



comme base de données d'entrée dans les modules de chimie de modèles de qualité de l'air.

Notre choix est axé sur un outil permettant de calculer l'attribution des émissions à l'aide d'une table définissant les "365 jours" de manière explicite. Cette table est générée à partir des informations fournies par l'utilisateur qui définit des jours types pour les 7 jours de la semaine (auquel on ajoute un profil de jour férié). On définit ainsi plusieurs familles de profils avec 8 jours types, une activité (SNAP ou autre classification) étant rattachée par une table de correspondance à l'un de ces profils. Une routine assure la génération de la table comportant le profil pour chaque jour de l'année et chaque activité en fonction d'un calendrier donnant la correspondance entre les types de jour et la date (en jour julien dans l'année considérée). L'utilisation d'un calendrier défini et non prédéfini permet de tenir compte des particularités (jours fériés locaux) et au besoin de substituer les définitions de jours facilement (ex: ne différencier que les vendredi, samedi et dimanche des jours de la semaine, les autres jours étant considérés tous identiques). L'utilisateur peut également modifier, après la génération de la table annuelle, les coefficients appliqués pour mieux représenter des situations particulières. Les facteurs sont construits comme un produit de trois composantes : annuelle, mensuelle et journalière. A chaque composante correspond un facteur:

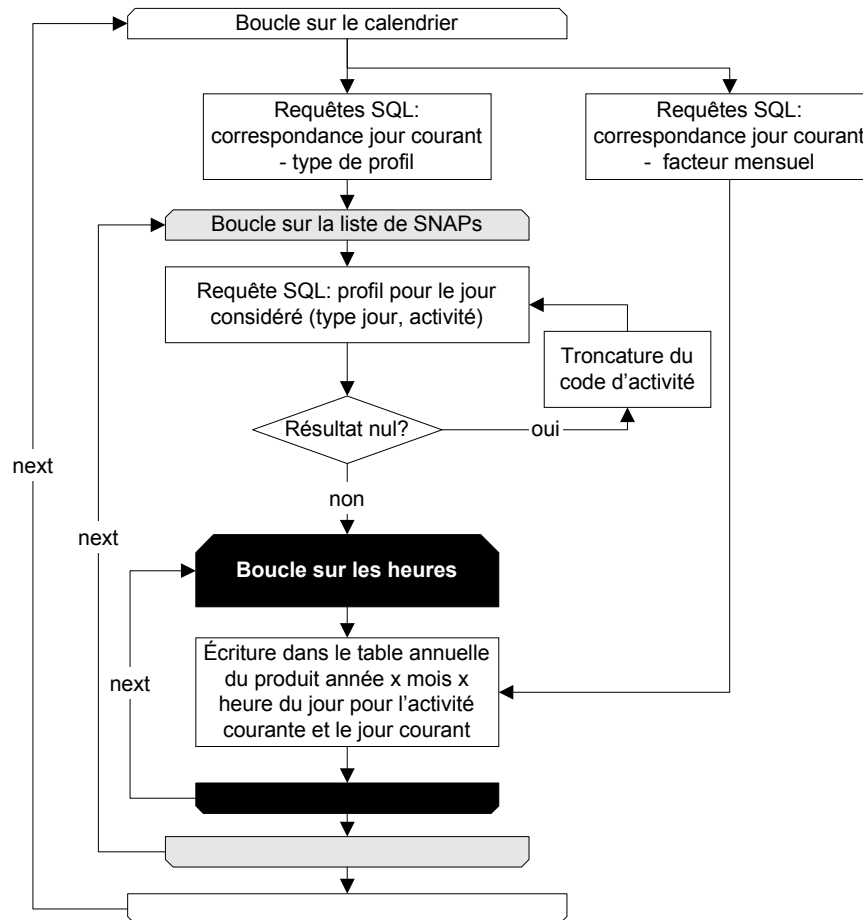
- Facteur annuel: une pondération peut être introduite, dans le cas d'une différence entre l'année modélisée et l'année de référence du cadastre annuel,
- Facteur mensuel : une pondération permet de représenter l'évolution de l'activité au cour de l'année, si nécessaire,
- Facteur journalier: les jours sont différenciés (LMMJVSD) soit complètement soit partiellement (ex: LMMJVSD = AAAAABC ou ABBBCDE ou ABCBDEF) et pour chaque type de jour, un profil horaire est spécifié.

### **VI.8.2 Mise en oeuvre**

Le calcul en lui-même n'est qu'un appel de la fonction de convolution précédemment présentée qui est imbriquée dans deux boucles sur les heures et les activités. La majeure partie du code réside dans l'implantation du pré-processeur

(voir figure 52) servant à la génération (pour chaque code d'activité) de la table de clés temporelles à partir des données suivantes:

- La table définissant les pondérations par rapport à l'année de référence,
- la table définissant les pondérations mensuelles,
- la table définissant les profils horaires pour les journées: elle comporte pour chaque famille de profils autant d'enregistrements que de types de jours définis,
- la table de correspondance entre activité et profil: elle contient la référence de la famille de profils appliquée à chaque catégorie d'activité (SNAP ou autre),
- la table définissant le calendrier: elle permet de positionner les jours fériés et de définir les éventuelles substitutions de jours.



**Figure 52: organigramme simplifié du traitement de génération des clés d'attribution temporelle des émissions**

La recherche de correspondance entre les codes d'activité SNAP et les données fournies par l'utilisateur se fait par troncature progressive du code SNAP du niveau le plus élevé au niveau le plus général: si le code exact n'est pas trouvé, on ne garde que les 6 premiers caractères<sup>62</sup> et on cherche à nouveau. On procède de même avec les 4 premiers caractères si la recherche n'aboutit pas avec 6. Une table de facteurs par défaut (au niveau 1 de la SNAP) est appliquée si l'information nécessaire n'a pas été saisie par l'utilisateur.

Le traitement des GSP diffère de celui des sources surfaciques par l'intégration de données réelles au lieu de profils modélisés. Les profils pour ces sources seront référencés via l'identificateur d'installation utilisé pour la construction de la base de sources GSP. Quand ces données ne sont pas disponibles, un facteur par défaut est appliqué en fonction du code SNAP associé à la source.

## **VI.9 Conclusion**

L'application peut naturellement bénéficier de développements complémentaires afin de compléter les fonctions disponibles dans cette première version. Parmi ces fonctions on peut par exemple envisager des outils d'analyse de séries temporelles de cadastres, des pré-processeurs de données pour les nombreuses sources de données à traiter (notamment pour les données INSEE Iris, ...). Les développements complémentaires étant fonction des besoins des utilisateurs finaux, ils doivent être personnalisés au cas par cas, confortant le choix de l'environnement SBGD intégré Access / langage de script VBA qui reste aujourd'hui pertinent, tant pour sa mise en œuvre rapide que pour sa flexibilité inégalable.

L'application POSTICE présentée dans ce chapitre peut être mise à disposition de tout organisme à but non lucratif selon les termes de licences GNU – GPL modifiées présentées précédemment. Un mode de distribution "open source" est nécessaire pour ce genre d'outil afin de permettre aux utilisateurs de l'adapter à leurs besoins et/ou de l'enrichir de fonctions complémentaires, dans une optique de développement collaboratif.

On peut finalement citer l'utilisation de l'application dans le cadre de la réalisation du cadastre régional PACA (par AIRMARAIX dans le cadre de la mission de

---

<sup>62</sup> Le code SNAP standard comporte uniquement 6 caractères au niveau 3. L'outil est prévu pour gérer les extensions tant numériques qu'alphanumériques du code SNAP.

modélisation pour AAM) et dans le cadre du programme PRIMEQUAL 2 (pour la réalisation de scénarios d'émissions sur la zone d'étude ESCOMPTE).

### ***Références bibliographiques***

Pulles, T.; Marešková, K.; Skákala, J.; Svetlík, J. (1999) : CollectER Installation and User Guide, EEA technical report n°31, EEA.



## Conclusion et perspectives

L'objectif principal de ce travail était d'apporter des éléments, tant théoriques que pratiques, sur les voies d'améliorations possibles dans la réalisation d'inventaires et de cadastres d'émissions à hautes résolutions spatiales et temporelles et à l'échelle régionale. Ce travail s'inscrivait dans la dynamique du programme ESCOMPTE et de la volonté de transférer et de pérenniser les acquis méthodologiques et techniques du programme ESCOMPTE en l'appliquant à la région PACA (Provence-Alpes-Côte-d'Azur), en collaboration avec l'association de surveillance de la qualité de l'air AIRMARAIX (Marseille – Aix en Provence) représentant AAM (Air Alpes Méditerranée).

L'expertise des méthodes, la validation des résultats des prestataires et le suivi de la réalisation des outils de mise à jour des cadastres, lors de la réalisation des cadastres du programme ESCOMPTE, n'ont pas été aisés. De nombreux retards ont troublé le déroulement de ces travaux et afin de tenir les échéances, certaines concessions ont dû être faites, tant sur des aspects méthodologiques (inventaires, validation) que techniques (outils). Les cadastres et outils résultants de ces travaux n'en sont pas moins sans précédent en France et représentent une amélioration significative des conditions de mise en œuvre d'inventaires spatialisés d'émissions. Concernant les aspects techniques, il est à regretter les concessions faites sur l'homogénéisation des outils de mise à jour qui ont entraîné la nécessité de développements informatiques complémentaires, soit pour effectuer la jointure entre les outils et contributions (cas de l'outil MVA), soit pour remplacer certaines fonctions de l'outil initialement développé (cas de l'outil ARIA). Les outils développés dans ce travail remplissent bien ces fonctions et ont permis au transfert régional prévu initialement de se faire dans de bonnes conditions techniques. Il est probable qu'à terme, pour les développements ESCOMPTE, seul l'outil MVA et Biogenix subsistent dans l'ensemble des logiciels utilisés par AIRMARAIX (pour AAM) pour la réalisation

de cadastres en région PACA, le développement de leur propre module de calcul des émissions anthropiques pour les sources stationnaires étant en cours. Ce développement permettra de disposer d'un outil plus flexible et complet que celui proposé initialement et offrira un niveau de traçabilité plus satisfaisant que celui obtenu avec l'outil dérivé de CollectER. Un autre point améliorable dans les études menées concerne aussi l'évaluation des incertitudes. L'application de méthodes évoluées, de type statistique, n'était pas du domaine du possible dans le cadre de cette étude mais la mise en place d'une méthode simplifiée de propagation d'erreur aurait permis une approche, même basique, des incertitudes. Ce point reste toutefois à l'étude et pourra sans doute être inclus dans l'outil de calcul d'émissions anthropiques pour les sources stationnaires en cours de réalisation à AIRMARAIX. Concernant le cas des sources mobiles, aucune méthodologie n'est réellement opérationnelle, la complexité des dépendances (non linéarité par rapport à la vitesse, fiabilité des modèles de trafic, ...) constitue à elle seule un vaste sujet de recherche.

Ces applications ont démontré la faisabilité d'une gestion à coût raisonnable d'un inventaire spatialisé d'émissions à haute résolution au niveau régional. Il est en effet d'une importance croissante de favoriser une gestion plus rationnelle de la réalisation d'inventaires d'émissions qui sont de plus en plus demandés au niveau régional avec l'application de la législation sur la qualité de l'air (loi sur l'air n°96-1236 du 30 décembre 1996). Celle-ci prévoit notamment, pour les associations de surveillance de la qualité de l'air, l'étude tant diagnostique (épisodes de pollution passés) que pronostique (études d'impacts pour les Plans de Déplacements Urbains, tracés d'autoroutes...) ainsi que la mise en place d'outils de prévision et d'aide à la décision pour la gestion au niveau local et régional. C'est dans cette optique que tous les développements effectués dans ces travaux sont "open source" et libres de droits d'accès pour les associations qui voudraient les utiliser, en espérant qu'une synergie appropriée, de type communauté d'utilisateurs/développeurs, puisse se créer afin de compléter et poursuivre le développement des codes de calcul et de gestion des inventaires et des cadastres d'émissions.



## Annexes

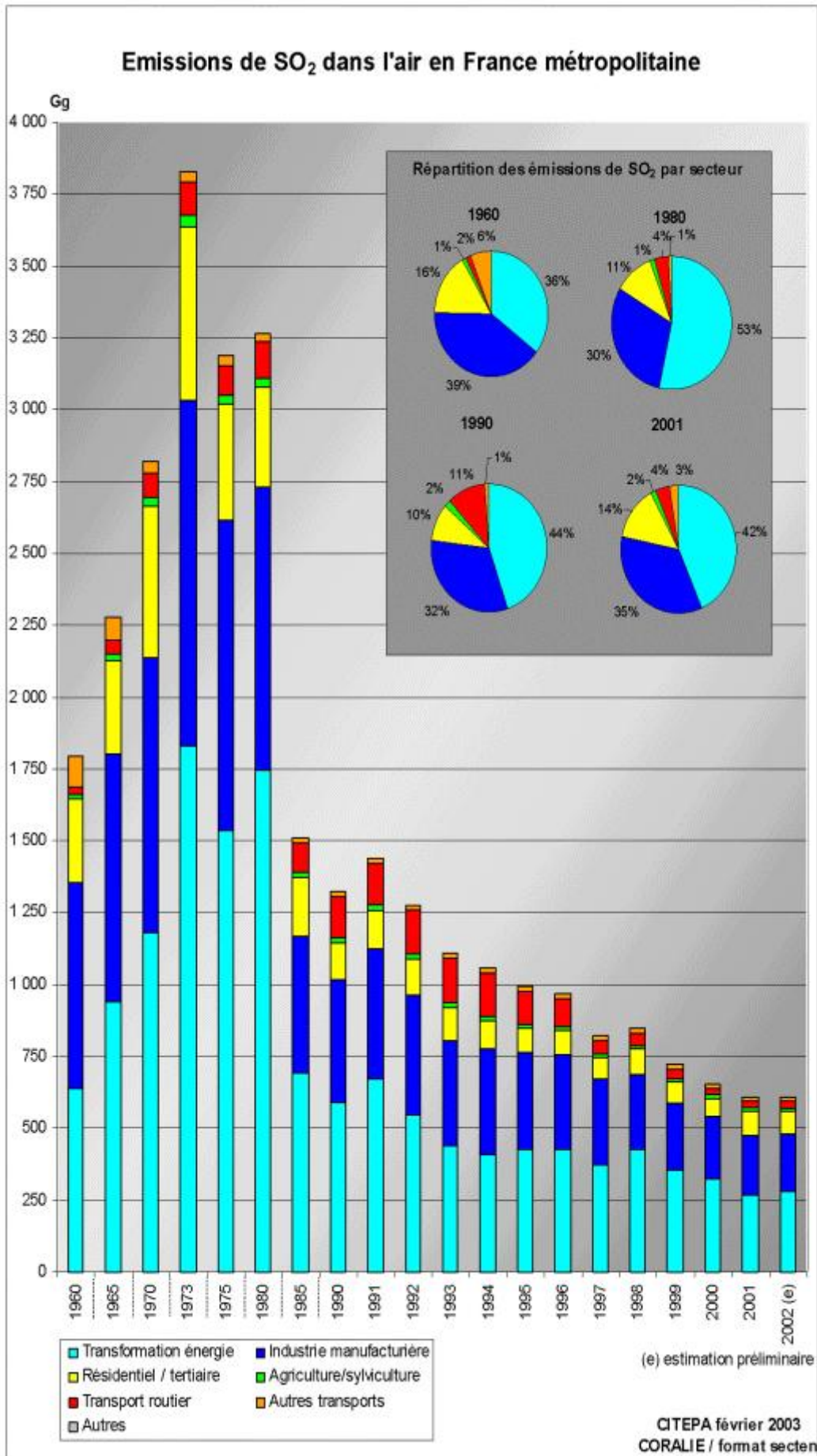
### ***Annexe 1 : exemple de résultats de l'inventaire de Coralie (version 2002 ) en format "SECTEN" avec série temporelle de 1988 à 2002 ou de 1960 à 2002 pour les principaux polluants (source CITEPA)***

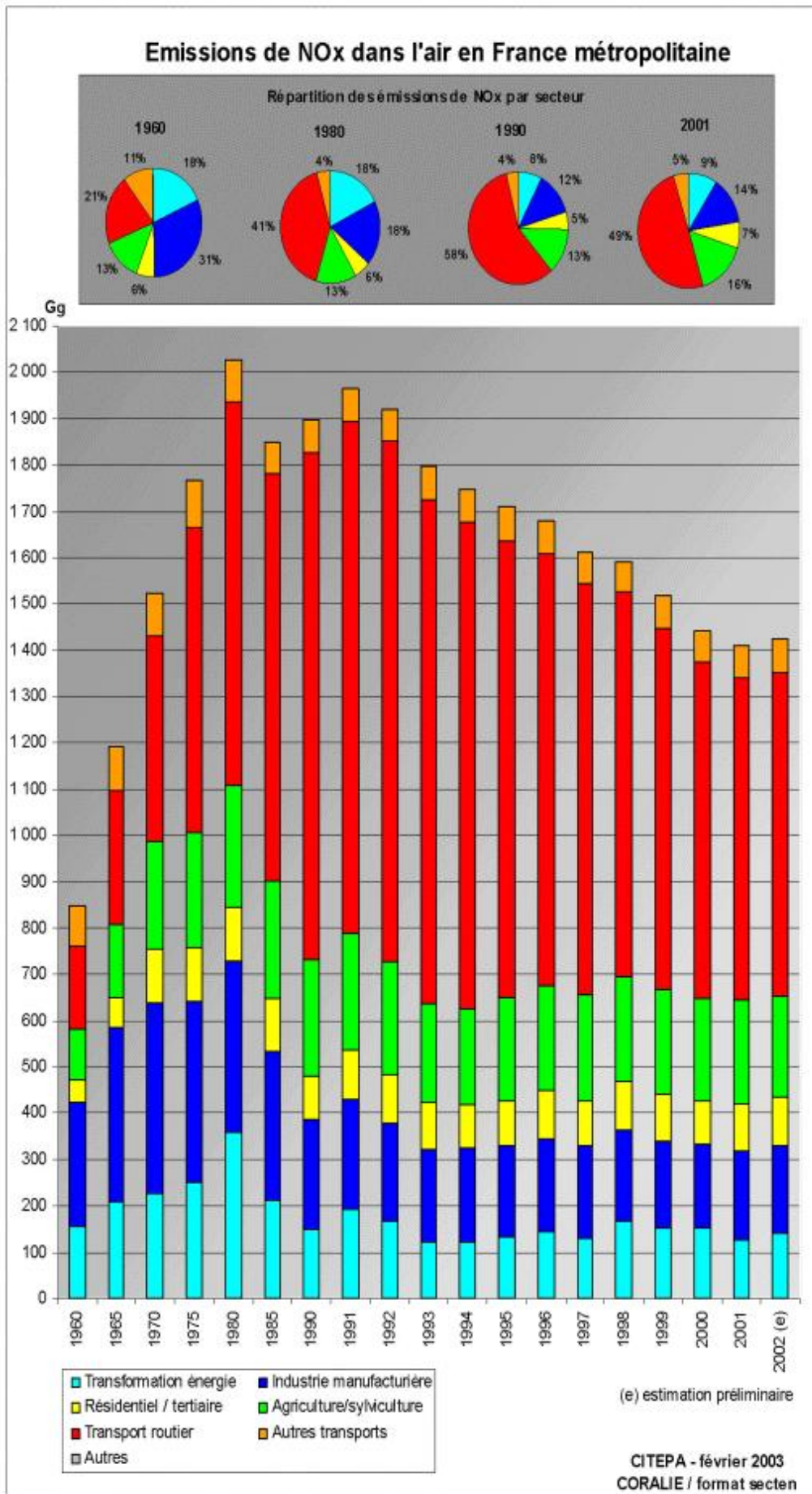
Le format SECTEN (SECTeurs économiques et ENergie) est un format propre au CITEPA dont la vocation est de présenter les résultats de leur inventaire national annuel d'émissions avec un découpage sectoriel pertinent. La méthodologie utilisée pour cet inventaire est dérivée de la méthodologie CORINAIR, adaptée par le CITEPA aux données statistiques disponible au niveau national. L'intégralité du rapport est disponible à l'adresse suivante:

[http://www.citepa.org/emissions/france\\_objectifs/Secten\\_2002\\_v06mai.pdf](http://www.citepa.org/emissions/france_objectifs/Secten_2002_v06mai.pdf)



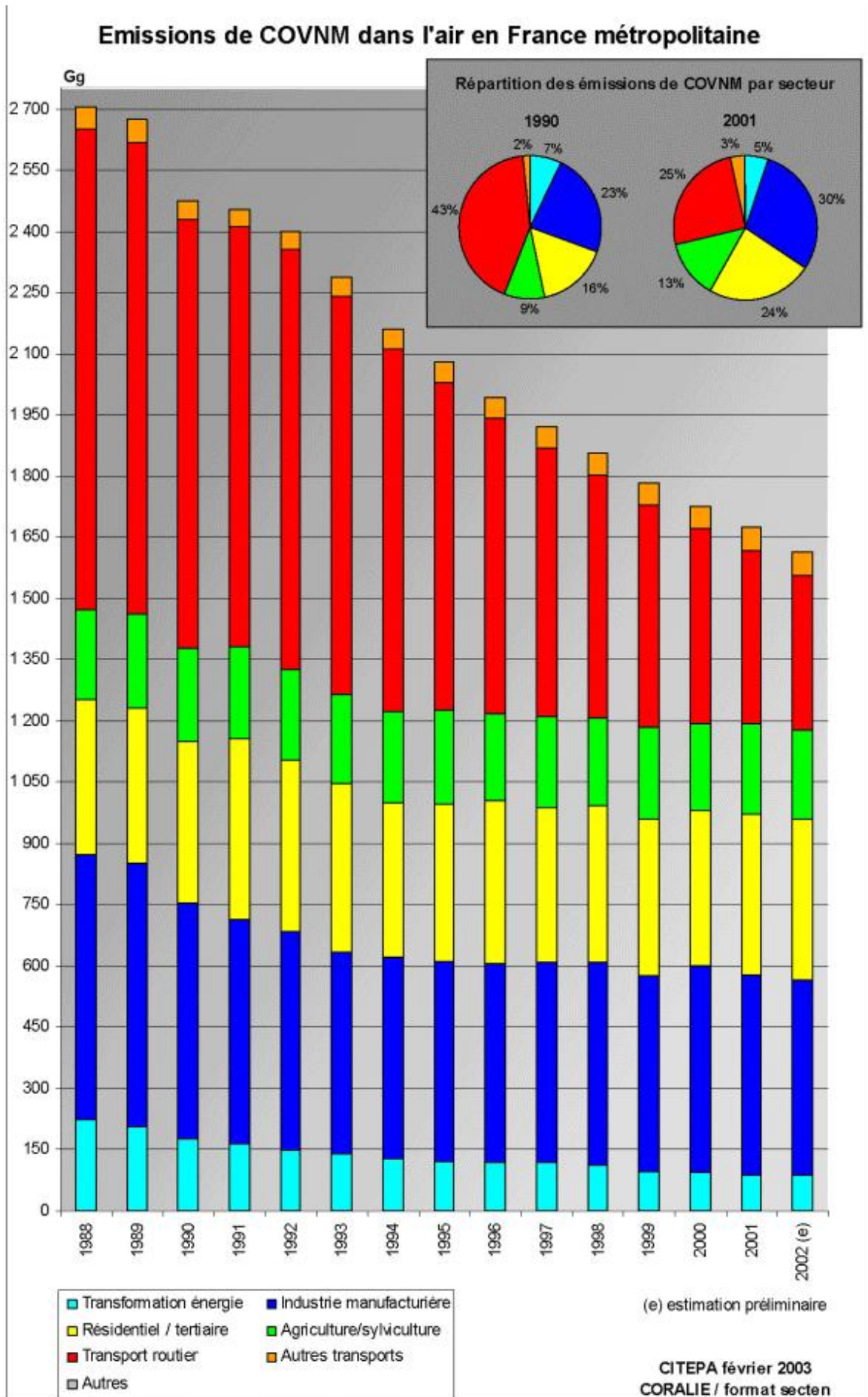


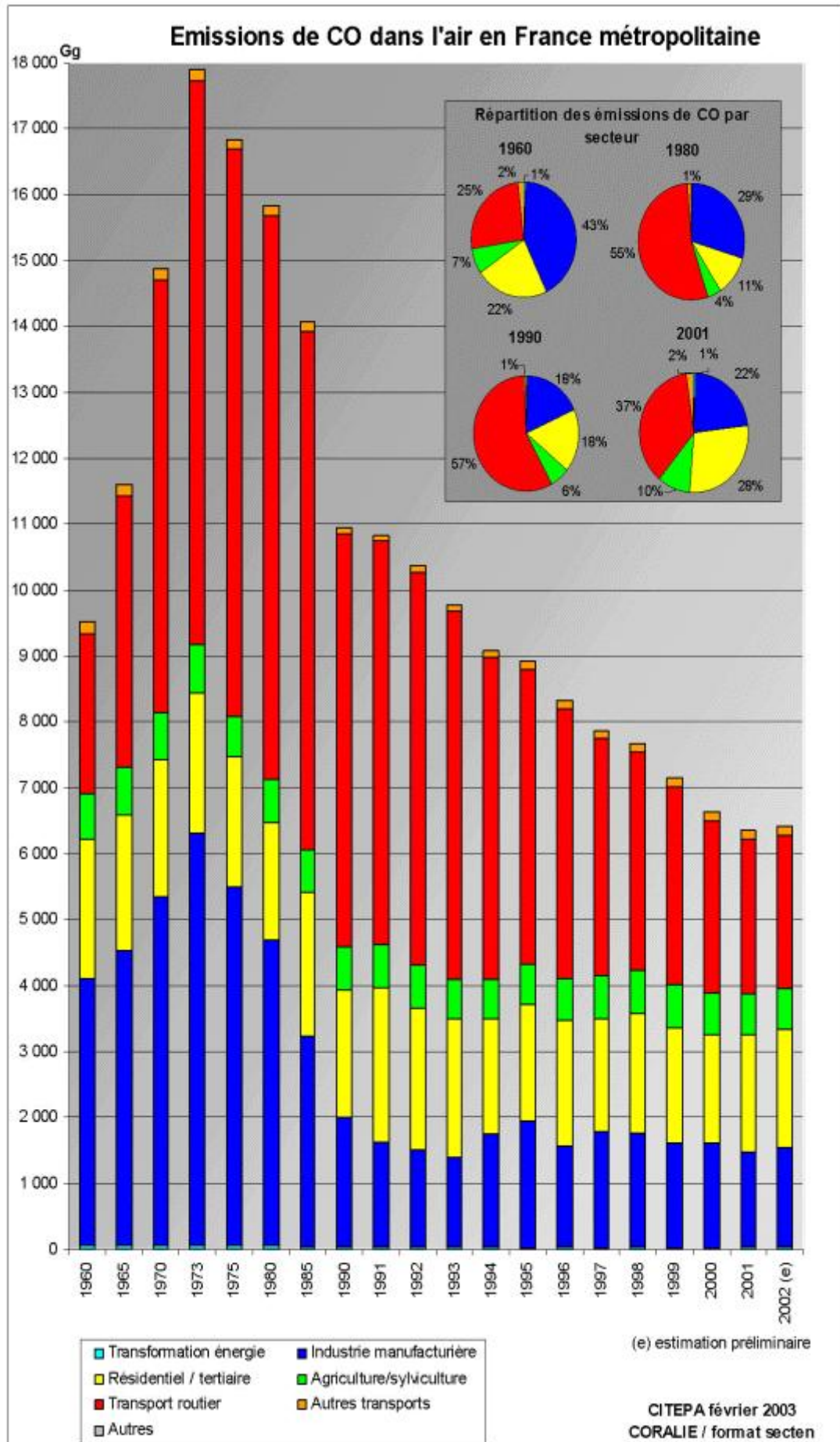




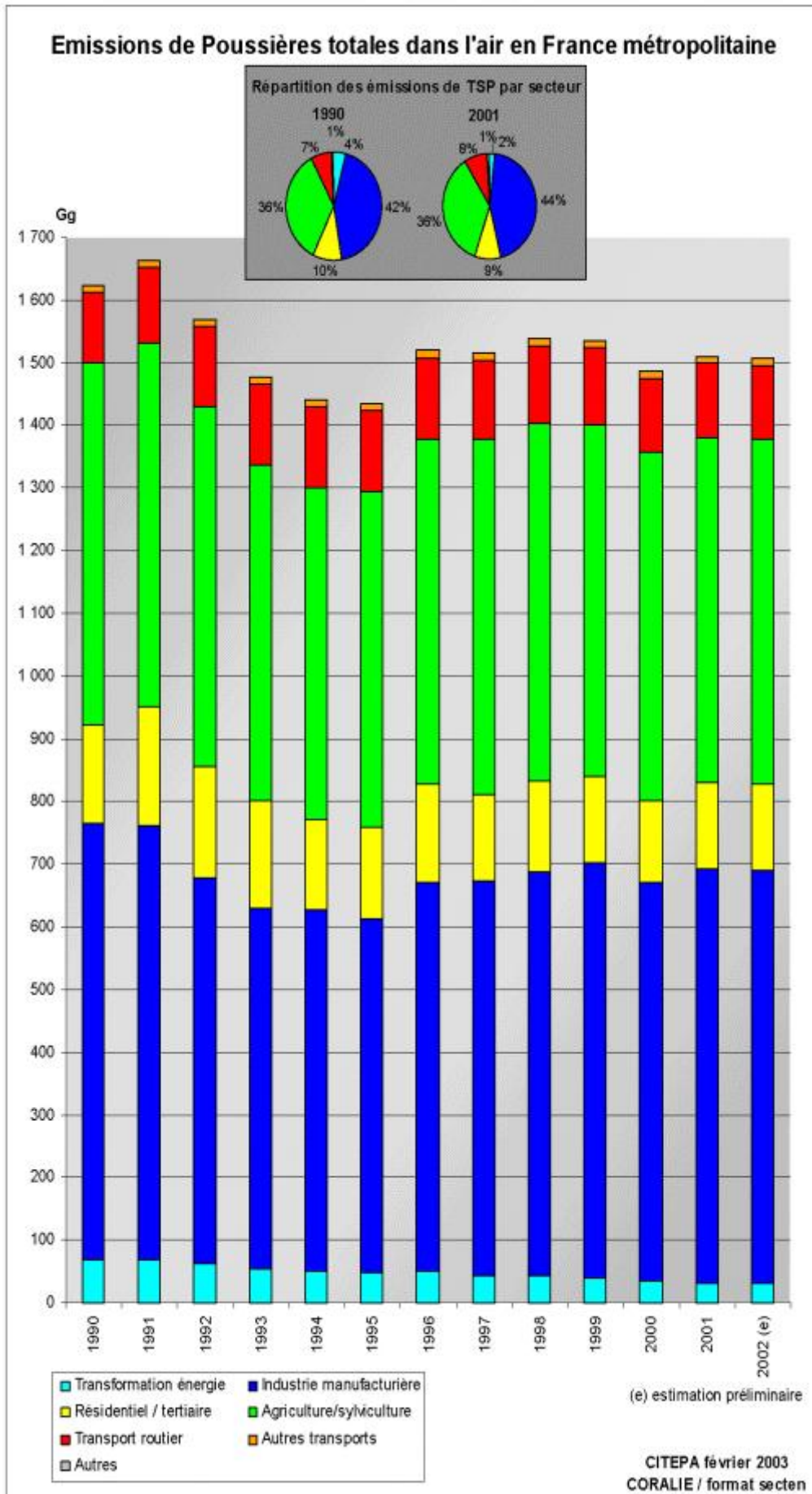
440

Méthodologie d'établissement de cadastres d'émissions à l'échelle régionale  
Application au cadastre ESCOMPTE et à son extension à la région PACA





200









## **Annexe 2 : Nomenclatures**

### **Annexe 2.1 : Nomenclature SNAP97 au niveau 3:**

(Traduction Française source CITEPA:

[http://www.citepa.org/emissions/methodologie/snap97\\_fr.pdf](http://www.citepa.org/emissions/methodologie/snap97_fr.pdf))

CODE Agence Européenne de l'Environnement / Centre Thématique Emissions

SNAP 97 version 1.0 du 20/03/1998

SNAP

ACTIVITE EMETTRICE

#### **01 Combustion dans les industries de l'énergie et de la transformation de l'énergie**

##### **0101 Production d'électricité**

- 010101 Production d'électricité - Install.  $\geq$  300 MW (chaudières)
- 010102 Production d'électricité - Install.  $\geq$  50 MW et  $<$  300 MW (chaudières)
- 010103 Production d'électricité - Installations  $<$  50 MW (chaudières)
- 010104 Production d'électricité - Turbines à gaz
- 010105 Production d'électricité - Moteurs fixes

##### **0102 Chauffage urbain**

- 010201 Chauffage urbain - Installations  $\geq$  300 MW (chaudières)
- 010202 Chauffage urbain - Installations  $\geq$  50 MW et  $<$  300 MW (chaudières)
- 010203 Chauffage urbain - Installations  $<$  50 MW (chaudières)
- 010204 Chauffage urbain - Turbines à gaz
- 010205 Chauffage urbain - Moteurs fixes

##### **0103 Raffinage du pétrole**

- 010301 Raffineries - Installations  $\geq$  300MW (chaudières)
- 010302 Raffineries - Installations  $\geq$  50 MW et  $<$  300 MW (chaudières)
- 010303 Raffineries - Installations  $<$  50 MW (chaudières)
- 010304 Raffineries - Turbines à gaz
- 010305 Raffineries - Moteurs fixes
- 010306 Raffineries - Fours de procédés

##### **0104 Transformation des combustibles minéraux solides**

- 010401 Installations de combustion  $\geq$  300 MW (chaudières)
- 010402 Installations de combustion  $\geq$  50 MW et  $<$  300 MW (chaudières)
- 010403 Installations de combustion  $<$  50 MW (chaudières)
- 010404 Installations de combustion - Turbines à gaz
- 010405 Installations de combustion - Moteurs fixes
- 010406 Four à Coke
- 010407 Autre (gazéification du charbon, liquéfaction ...)

##### **0105 Mines de charbon, extraction de gaz/pétrole, stations de compression**

- 010501 Installations de combustion  $\geq$  300 MW (chaudières)
- 010502 Installations de combustion  $\geq$  50 MW et  $<$  300 MW (chaudières)
- 010503 Installations de combustion  $<$  50 MW (chaudières)
- 010504 Installations de combustion - Turbines à gaz
- 010505 Installations de combustion - Moteurs fixes
- 010506 Stations de compression

#### **02 Combustion hors industrie**

##### **0201 Commercial et institutionnel**

- 020101 Installations de combustion  $\geq$  300 MW (chaudières)

- 020102 Installations de combustion  $\geq$  50 MW et  $<$  300 MW (chaudières)
- 020103 Installations de combustion  $<$  50 MW (chaudières)
- 020104 Installations de combustion - Turbines à gaz
- 020105 Installations de combustion - Moteurs fixes
- 020106 Autres Installations fixes

#### **0202 Résidentiel**

- 020201 Installations de combustion  $\geq$  50 MW (chaudières)
- 020202 Installations de combustion  $<$  50 MW (chaudières)
- 020203 Turbines à gaz
- 020204 Moteurs fixes
- 020205 Autres équipements (fourneaux, poêles, cheminées, gazinières ...)

#### **0203 Agriculture, sylviculture et aquaculture**

- 020301 Installations de combustion  $\geq$  50 MW (chaudières)
- 020302 Installations de combustion  $<$  50 MW (chaudières)
- 020303 Turbines à gaz fixes
- 020304 Moteurs fixes
- 020305 Autres équipements fixes

### **03 Combustion dans l'industrie manufacturière**

#### **0301 Chaudières, turbines à gaz, moteurs fixes**

- 030101 Combustion industrie - Installations  $\geq$  300 MW (chaudières)
- 030102 Combustion industrie - Install.  $\geq$  50 MW et  $<$  300 MW (chaudières)
- 030103 Combustion industrie - Installations  $<$  50 MW (chaudières)
- 030104 Combustion industrie - Turbines à gaz
- 030105 Combustion industrie - Moteurs fixes
- 030106 Autres équipements fixes

#### **0302 Fours sans contact**

- 030203 Régénérateurs de haut fourneau
- 030204 Fours à plâtre
- 030205 Autres fours

#### **0303 Procédés énergétiques avec contact**

- 030301 Chaînes d'agglomération de minerai
- 030302 Fours de réchauffage pour l'acier et métaux ferreux
- 030303 Fonderies de fonte grise
- 030304 Plomb de première fusion
- 030305 Zinc de première fusion
- 030306 Cuivre de première fusion
- 030307 Plomb de seconde fusion
- 030308 Zinc de seconde fusion
- 030309 Cuivre de seconde fusion
- 030310 Aluminium de seconde fusion
- 030311 Ciment
- 030312 Chaux
- 030313 Produits de recouvrement des routes (stations d'enrobage)
- 030314 Verre plat
- 030315 Verre creux
- 030316 Fibre de verre (hors liant)
- 030317 Autres verres
- 030318 Fibres minérales (hors liant)
- 030319 Tuiles et briques
- 030320 Céramiques fines
- 030321 Papeterie (séchage)
- 030322 Alumine
- 030323 Production de magnésium (traitement à la dolomie)
- 030324 Production de nickel (procédé thermique)
- 030325 Production d'émail
- 030326 Autres

### **04 Procédés de production**

**0401 Procédés de l'industrie pétrolière**

- 040101 Elaboration de produits pétroliers
- 040102 Craqueur catalytique - chaudière à CO
- 040103 Récupération de soufre (unités Claus)
- 040104 Stockage et manutention produits pétroliers en raffinerie
- 040105 Autres

**0402 Procédés de la sidérurgie et des houillères**

- 040201 Fours à coke (fuites et extinction)
- 040202 Chargement des hauts fourneaux
- 040203 Coulée de la fonte brute
- 040204 Fabrication de combustibles solides défumés
- 040205 Fours creuset pour l'acier
- 040206 Fours à l'oxygène pour l'acier
- 040207 Fours électriques pour l'acier
- 040208 Laminoirs
- 040209 Chaînes d'agglomération de minerai (excepté 03.03.01)
- 040210 Autres

**0403 Procédés de l'industrie des métaux non-ferreux**

- 040301 Production d'aluminium (électrolyse)
- 040302 Ferro alliages
- 040303 Production de silicium
- 040304 Production de magnésium (excepté 03.03.23)
- 040305 Production de nickel (excepté 03.03.24)
- 040306 Fabrication de métaux alliés
- 040307 Galvanisation
- 040308 Traitement électrolytique
- 040309 Autres

**0404 Procédés de l'industrie chimique inorganique**

- 040401 Acide sulfurique
- 040402 Acide nitrique
- 040403 Ammoniac
- 040404 Sulfate d'ammonium
- 040405 Nitrate d'ammonium
- 040406 Phosphate d'ammonium
- 040407 Engrais NPK
- 040408 Urée
- 040409 Noir de carbone
- 040410 Dioxyde de titane
- 040411 Graphite
- 040412 Carbure de calcium
- 040413 Chlore
- 040414 Engrais phosphatés
- 040415 Stockage et manutention des produits chimiques inorganiques
- 040416 Autres

**0405 Procédés de l'industrie chimique organique**

- 040501 Éthylène
- 040502 Propylène
- 040503 1,2 dichloroéthane (excepté 04.05.05)
- 040504 Chlorure de vinyle (excepté 04.05.05)
- 040505 1,2 dichloroéthane + chlorure de vinyle (balanced process)
- 040506 Polyéthylène basse densité
- 040507 Polyéthylène haute densité
- 040508 Polychlorure de vinyle
- 040509 Polypropylène
- 040510 Styrène
- 040511 Polystyrène
- 040512 Butadiène styrène
- 040513 Butadiène styrène latex
- 040514 Butadiène styrène caoutchouc (SBR)
- 040515 Résines butadiène styrène acrylonitrile (ABS)

- 040516 Oxyde d'éthylène
- 040517 Formaldéhyde
- 040518 Ethylbenzène
- 040519 Anhydride phtalique
- 040520 Acrylonitrile
- 040521 Acide adipique
- 040522 Stockage et manipulation de produits chimiques organiques
- 040523 Acide glyoxylique
- 040524 Production d'hydrocarbures halogénés
- 040525 Production de pesticides
- 040526 Production de composés organiques persistants
- 040527 Autres (produits phytosanitaires ...)

**0406 Procédés des industries du bois, de la pâte à papier, de l'alimentation, de la boisson et autres**

- 040601 Panneaux agglomérés
- 040602 Pâte à papier (procédé kraft)
- 040603 Pâte à papier (procédé au bisulfite)
- 040604 Pâte à papier (procédé mi-chimique)
- 040605 Pain
- 040606 Vin
- 040607 Bière
- 040608 Alcools
- 040610 Matériaux asphaltés pour toiture
- 040611 Recouvrement des routes par l'asphalte
- 040612 Ciment (décarbonatation)
- 040613 Verre (décarbonatation)
- 040614 Chaux (décarbonatation)
- 040615 Fabrication d'accumulateurs
- 040616 Extraction de minerais minéraux
- 040617 Autres (y-compris produits contenant de l'amiante)
- 040618 Utilisation de calcaire et de dolomie
- 040619 Utilisation et production de cendre de soude

**0408 Production d'halo carbures et de hexafluorure sulfurique**

- 040801 Production d'hydrocarbures halogénés - produits dérivés
- 040802 Production d'hydrocarbures halogénés - émissions fugitives
- 040803 Production d'hydrocarbures halogénés - Autres
- 040804 Production de hexafluorure sulfurique - produits dérivés
- 040805 Production de hexafluorure sulfurique - émissions fugitives
- 040806 Production de hexafluorure sulfurique- Autres

**05 Extraction et distribution de combustibles fossiles/énergie géothermique**

**0501 Extraction et premier traitement des combustibles fossiles solides**

- 050101 Mines découvertes
- 050102 Mines souterraines
- 050103 Stockage des combustibles solides

**0502 Extraction, premier traitement et chargement des combustibles fossiles liquides**

- 050201 Activités terrestres
- 050202 Activités en mer

**0503 Extraction, premier traitement et chargement des combustibles fossiles gazeux**

- 050301 Activités terrestres - désulfuration
- 050302 Activités terrestres - autres que la désulfuration
- 050303 Activités en mer

**0504 Distribution de combustibles liquides (sauf essence)**

- 050401 Terminaux de navires (pétroliers, manutention, stockage)
- 050402 Autres manutentions et stockages

**0505 Distribution de l'essence**

- 050501 Station d'expédition en raffinerie
- 050502 Transport et dépôts (excepté stations service)
- 050503 Stations service (y compris refoulement des réservoirs)

**0506 Réseaux de distribution de gaz**

050601 Pipelines

050603 Réseaux de distribution

**0507 Extraction énergie géothermique**

**06 Utilisation de solvants et autres produits**

**0601 Application de peinture**

060101 Construction de véhicules automobiles

060102 Réparations de véhicules

060103 Bâtiment et construction (sauf 060107)

060104 Utilisation domestique (sauf 060107)

060105 Pré laquage

060106 Construction de bateaux

060107 Bois

060108 Autres applications industrielles de peinture

060109 Autres applications de peinture (hors industrie)

**0602 Dégraissage, nettoyage à sec et électronique**

060201 Dégraissage des métaux

060202 Nettoyage à sec

060203 Fabrication de composants électroniques

060204 Autres nettoyages industriels

**0603 Fabrication et mise en oeuvre de produits chimiques**

060301 Mise en oeuvre du polyester

060302 Mise en oeuvre du polychlorure de vinyle

060303 Mise en oeuvre du polyuréthane

060304 Mise en oeuvre de mousse de polystyrène

060305 Mise en oeuvre du caoutchouc

060306 Fabrication de produits pharmaceutiques

060307 Fabrication de peinture

060308 Fabrication d'encre

060309 Fabrication de colles

060310 Soufflage de l'asphalte

060311 Fabrication de supports adhésifs, films et photos

060312 Apprêtages des textiles

060313 Tannage du cuir

060314 Autres

**0604 Autres utilisations de solvants et activités associées**

060401 Enduction de fibres de verre

060402 Enduction de fibres minérales

060403 Imprimerie

060404 Extraction d'huiles comestibles et non comestibles

060405 Application de colles et adhésifs

060406 Protection du bois

060407 Traitement de protection du dessous des véhicules

060408 Utilisation domestique de solvants (autre que la peinture)

060409 Préparation des carrosseries de véhicules

060411 Utilisation domestique de produits pharmaceutiques

060412 Autres (conservation du grain ...)

**0605 Utilisation du HFC, N2O, NH3, PFC et SF6**

060501 Anesthésie

060502 Équipements de réfrigération et d'air conditionné, utilisant des halo carbures ou du SF6

060503 Équipements de réfrigération et d'air conditionné, utilisant des produits autres que des halo carbures ou du SF6

060504 Mise en oeuvre de mousse (excepté 060304)

060505 Extincteurs d'incendie

060506 Bombes aérosols

060507 Équipements électriques

060508 Autres

**07 Transport routier****0701 Voitures particulières**

- 070101 Transports routiers - Voitures particulières - autoroute
- 070102 Transports routiers - Voitures particulières - route
- 070103 Transports routiers - Voitures particulières - ville

**0702 Véhicules utilitaires légers < 3,5 t**

- 070201 Transports routiers - Utilitaires légers - autoroute
- 070202 Transports routiers - Utilitaires légers - route
- 070203 Transports routiers - Utilitaires légers - ville

**0703 Poids lourds > 3,5 t et bus**

- 070301 Transports routiers - Utilitaires lourds - autoroute
- 070302 Transports routiers - Utilitaires lourds - route
- 070303 Transports routiers - Utilitaires lourds - ville

**0704 Motocyclettes et motos < 50 cm<sup>3</sup>****0705 Motos > 50 cm<sup>3</sup>**

- 070501 Transports routiers - Motocyclettes > 50 cm<sup>3</sup> (autoroute)
- 070502 Transports routiers - Motocyclettes > 50 cm<sup>3</sup> (route)
- 070503 Transports routiers - Motocyclettes > 50 cm<sup>3</sup> (ville)
- 0706 Évaporation d'essence des véhicules
- 0707 Pneus et plaquettes de freins

**08 Autres sources mobiles et machines****0801 Activités militaires****0802 Trafic ferroviaire**

- 080201 Manoeuvre des locomotives
- 080202 Autorails
- 080203 Locomotives

**0803 Navigation fluviale**

- 080301 Bateaux équipés de moteurs auxiliaires
- 080302 Bateaux à moteurs/usage professionnel
- 080303 Bateaux de plaisance
- 080304 Navigation intérieure de transport de marchandises

**0804 Activités maritimes**

- 080402 Trafic maritime national dans la zone EMEP
- 080403 Pêche nationale
- 080404 Trafic maritime international (soutes internationales)

**0805 Trafic aérien**

- 080501 Trafic domestique (cycle d'atterrissage/décollage < 1000 m)
- 080502 Trafic international (cycle d'atterrissage/décollage < 1000 m)
- 080503 Trafic domestique de croisière (> 1000 m)
- 080504 Trafic international de croisière (> 1000 m)

**0806 Engins spéciaux - Agriculture****0807 Engins spéciaux - Sylviculture****0808 Engins spéciaux - Industrie****0809 Engins spéciaux - Loisirs / jardinage****0810 Autres machines****09 Traitement et élimination des déchets****0902 Incinération des déchets**

- 090201 Incinération des déchets domestiques et municipaux
- 090202 Incinération des déchets industriels (sauf torchères)
- 090203 Torchères en raffinerie de pétrole
- 090204 Torchères dans l'industrie chimique
- 090205 Incinération des boues résiduelles du traitement des eaux
- 090206 Torchères dans l'extraction de gaz et de pétrole
- 090207 Incinération des déchets hospitaliers
- 090208 Incinération des huiles usagées



- 0904 Décharges de déchets solides
- 090401 Décharges aménagées de déchets solides
- 090402 Décharges sauvages de déchets solides
- 090403 Autres
- 0907 Feux ouverts de déchets agricoles (sauf écobuage)
- 0909 Crémation
- 090901 Incinération de cadavres
- 090902 Incinération de carcasses animales
- 0910 Autres traitements de déchets
- 091001 Traitement des eaux usées dans l'industrie
- 091002 Traitement des eaux usées dans le secteur résidentiel/commercial
- 091003 Épandage des boues
- 091005 Production de compost
- 091006 Production de biogaz
- 091007 Latrines
- 091008 Autres productions de combustibles dérivés à partir de déchets

## **10 Agriculture et sylviculture**

### **1001 Culture avec engrais**

- 100101 Cultures permanentes
- 100102 Terres arables
- 100103 Rizières
- 100104 Vergers
- 100105 Prairies
- 100106 Jachères

### **1002 Culture sans engrais**

- 100201 Cultures permanentes
- 100202 Terres arables
- 100203 Rizières
- 100204 Vergers
- 100205 Prairies
- 100206 Jachères

### **1003 Écobuage**

- 100301 Céréales
- 100302 Légumes
- 100303 Racines et tubercules
- 100304 Cannes à sucre
- 100305 Autres

### **1004 Fermentation entérique**

- 100401 Vaches laitières
- 100402 Autres bovins
- 100403 Ovins
- 100404 Porcins à l'engraissement
- 100405 Chevaux
- 100406 Mules et ânes
- 100407 Caprins
- 100408 Poules
- 100409 Poulets
- 100410 Autres volailles (canards, oies, ...)
- 100411 Animaux à fourrure
- 100412 Truies
- 100413 Chameaux
- 100414 Buffles
- 100415 Autres

### **1005 Composés organiques issus des déjections animales**

- 100501 Vaches laitières
- 100502 Autres bovins
- 100503 Porcins à l'engraissement
- 100504 Truies

- 100505 Moutons
- 100506 Chevaux
- 100507 Poules
- 100508 Poulets
- 100509 Autres volailles
- 100510 Animaux à fourrure
- 100511 Caprins
- 100512 Ânes et mulets
- 100513 Chameaux
- 100514 Buffles
- 100515 Autres
- 1006 Utilisation de pesticides et de calcaire**
- 100601 Agriculture
- 100602 Forêt
- 100603 Maraîchage
- 100604 Lacs
- 1009 Composés azotés issus des déjections animales**
- 100901 Anaérobie
- 100902 Systèmes liquides
- 100903 Stockage solide
- 100904 Autres

## **11 Autres sources et puits**

- 1101 Forêts naturelles de feuillus**
- 110104 Chênes européens
- 110105 Chênes à feuilles sessiles
- 110106 Autres chênes feuillus
- 110107 Chênes verts
- 110108 Chênes lièges
- 110109 Autres chênes à feuilles vertes
- 110110 Hêtres
- 110111 Bouleaux
- 110115 Autres espèces de feuillus à larges feuilles
- 110116 Autres espèces de feuillus à feuilles vertes
- 110117 Sols (CO2 exclu)
- 1102 Forêts naturelles de conifères**
- 110204 Épicéas
- 110205 Sapinettes
- 110206 Autres sapins
- 110207 Pins
- 110208 Pins maritimes
- 110209 Pins d'Alep
- 110210 Autres pins
- 110211 Sapins
- 110212 Mélèzes
- 110215 Autres conifères
- 110216 Sols (CO2 exclu)
- 1103 Feux de forêt**
- 110301 Feux dus à l'homme
- 110302 Autres
- 1104 Prairies naturelles et autres végétations**
- 110401 Prairies
- 110402 Toundra
- 110403 Autres prairies
- 110404 Autres végétations (garrigues...)
- 110405 Sols (CO2 exclu)
- 1105 Zones humides**
- 110501 Marécages non drainés et saumâtres
- 110502 Marécages drainés

- 110503 Tourbières
- 110504 Plaines marécageuses
- 110505 Terrains humides
- 110506 Terrains inondables
- 1106 Eaux**
- 110601 Lacs
- 110602 Marais salants (< 6m)
- 110603 Eaux souterraines
- 110604 Drainages
- 110605 Rivières
- 110606 Fossés et canaux
- 110607 Eaux côtières (> 6m)
- 1107 Animaux**
- 110701 Termites
- 110702 Mammifères
- 110703 Autres animaux
- 1108 Volcans**
- 1109 Hydrates de gaz**
- 1110 Foudre**
- 1111 Forêts de feuillus exploitées**
- 111104 Chênes européens
- 111105 Chênes à feuilles sessiles
- 111106 Autres chênes feuillus
- 111107 Chênes verts
- 111108 Chênes lièges
- 111109 Autres chênes à feuilles vertes
- 111110 Hêtres
- 111111 Bouleaux
- 111115 Autres espèces de feuillus à larges feuilles
- 111116 Autres espèces de feuillus à feuilles vertes
- 111117 Sols (CO2 exclu)
- 1112 Forêts de conifères exploitées**
- 111204 Épicéas
- 111205 Sapinettes
- 111206 Autres sapins
- 111207 Pins
- 111208 Pins maritimes
- 111209 Pins d'Alep
- 111210 Autres pins
- 111211 Sapins
- 111212 Mélèzes
- 111215 Autres conifères
- 111216 Sols (CO2 exclu)
- 1121 Variation du stock de bois**
- 112101 Forêts tropicales
- 112102 Forêts tempérées
- 112103 Forêts boréales
- 112104 Prairies, toundra
- 112105 Autres
- 1122 Conversion / Forêts et prairies**
- 112201 Forêts tropicales
- 112202 Forêts tempérées
- 112203 Forêts boréales
- 112204 Prairies, toundra
- 112205 Autres
- 1123 Jachères**
- 112301 Forêts tropicales
- 112302 Forêts tempérées
- 112303 Forêts boréales
- 112304 Prairies, toundra

112305 Autres

**1124 Émissions de CO2 des sols (excepté 10.06)**

**1125 Autres**

## **Annexe 2.2 : NAPFUE 94**

Version française: traduction CITEPA:

([http://www.citepa.org/emissions/methodologie/napfue94\\_fr.pdf](http://www.citepa.org/emissions/methodologie/napfue94_fr.pdf))

Agence Européenne de l'Environnement / Centre Thématique Émissions

NAPFUE 94 version 1.0 du 21/11/1995

### NAPFUE IDENTIFICATION DU COMBUSTIBLE

#### **Combustibles solides**

- 101 Charbon à coke (PCS > 23 865 kJ/kg)
- 102 Houille (PCS > 23 865 kJ/kg)
- 103 Charbon sous bitumineux 17 435 kJ/kg < PCS < 23 865 kJ/kg)
- 104 Agglomérés (provenant de houille ou sous bitumineux)
- 105 Lignite (PCS < 17 435 kJ/kg)
- 106 Briquettes de lignite
- 107 Coke de houille
- 108 Coke de lignite
- 109 Coke de gaz
- 110 Coke de pétrole
- 111 Bois et déchets assimilés
- 112 Charbon de bois
- 113 Tourbe
- 114 Ordures ménagères
- 115 Déchets industriels solides
- 116 Déchets de bois (sauf déchets assimilés au bois)
- 117 Déchets agricoles (épi de maïs, paille, etc.)
- 118 Boues d'épuration des eaux
- 119 Combustibles dérivés de déchets
- 120 Schistes
- 121 Autres combustibles solides (goudron, benzol, poix, etc.)

#### **Combustibles liquides**

- 201 Pétrole brut
- 202 Référence non utilisée
- 203 Fioul lourd
- 204 Fioul domestique
- 205 Gazole
- 206 Kérosène
- 207 Carburacteur
- 208 Essence moteurs terrestres
- 209 Essence aviation
- 210 Naphta
- 211 Huile de schiste
- 212 Huile usée de moteur à essence
- 213 Huile usée de moteur diesel
- 214 Solvants usés
- 215 Liqueur noire
- 216 Mélange de fioul et de charbon
- 217 Produits d'alimentation de raffinerie
- 218 Autres déchets liquides
- 219 Autres produits pétroliers
- 220 White spirit

- 221 Paraffines
- 222 Bitumes
- 223 Bio alcool
- 224 Autres produits pétroliers (graisses, aromatiques, etc.)
- 225 Autres combustibles liquides

**Combustibles gazeux**

- 301 Gaz naturel (sauf gaz naturel liquéfié)
- 302 Gaz naturel liquéfié
- 303 Gaz de pétrole liquéfié (GPL)
- 304 Gaz de cokerie
- 305 Gaz de haut fourneau
- 306 Mélange de gaz de cokerie et de gaz de haut-fourneau
- 307 Déchets industriels gazeux (en particulier industrie chimique)
- 308 Gaz de raffinerie / pétrochimie (non condensable)
- 309 Biogaz
- 310 Gaz de décharge
- 311 Gaz d'usine à gaz
- 312 Gaz d'aciérie
- 313 Hydrogène
- 314 Autres combustibles gazeux

**Annexe 2.3 : Correspondance entre NAF 700 (révision du 01/01/2003) et SNAP97 niveau 3:**

**Nomenclature d'Activité Française de l'INSEE. Révision 1 du 01 janvier 2003**

**Niveau 700: Liste la plus fine des classes**

**Correspondance initiale : établie par le CITEPA**

**Mise à jour et révision suite à la révision 1 de la NAF : faite au LPCA**

**Remarque: pdc signifie pas de correspondance établie**

NAF rév. 1 -	Niveau 700 - Liste des classes	SNAP		
		Combustion	Procédés	Utilisation solvants / autres produits
Code	Libellé			
01.1A	Culture de céréales ; cultures industrielles		100101	
			100201	
			0806	
01.1C	Culture de légumes ; maraîchage		100302	
			100603	
			0806	
01.1D	Horticulture ; pépinières		pdc	
			0806	
01.1F	Culture fruitière		100104	
			100204	
01.1G	Viticulture		0806	
			pdc	
01.2A	Elevage de bovins		0806	
			100401	
			100402	
			100414	
			100501	
			100502	
			100514	
			1009	
			0806	
		01.2C	Elevage d'ovins, caprins et équidés	
	100405			
	100406			
	100407			
	100413			
	100505			
	100506			
	100511			
	100512			
	100513			
	1009			
	0806			
01.2E	Elevage de porcins			
			100412	
			100503	
			1009	
			100504	
01.2G	Elevage de volailles		0806	
			100408	
			100409	
			100507	
			100508	
			100509	
			1009	
			0806	
01.2J	Elevage d'autres animaux		100415	
			100515	

			1009	
			0806	
01.3Z	Culture et élevage associés		pd	
01.4A	Services aux cultures productives		pd	
01.4B	Réalisation et entretien de plantations ornementales		pd	
01.4D	Services annexes à l'élevage		pd	
01.5Z	Chasse		pd	
02.0A	Sylviculture		1111	
			1112	
02.0B	Exploitation forestière		0807	
02.0D	Services forestiers		0807	
05.0A	Pêche		pd	
05.0C	Pisciculture, aquaculture		pd	
	<b>INDUSTRIE MINIERE ET EXTRACTION D'HYDROCARBURES</b>			
10.1Z	Extraction et agglomération de la houille	0104	0501	0501
10.2Z	Extraction et agglomération du lignite	010401		
10.3Z	Extraction et agglomération de la tourbe	010402	050101	050103
		010403	050102	
		010404		
		010405	040204	
		0105		
		010501		
		010502		
		010503		
		010504		
		010505		
11.1Z	Extraction d'hydrocarbures	0105	0502	
		010501	050201	
		010502	050202	
		010503		
		010504	0503	
		010505	050301	
			050302	
			050303	
11.2Z	Services annexes à l'extraction d'hydrocarbures	pd	pd	pd
12.0Z	Extraction de minerais d'uranium	pd	pd	pd
13.1Z	Extraction de minerais de fer	pd	040616	pd
			030301	
13.2Z	Extraction de minerais de métaux non ferreux	pd	040617	pd
			030301	
14.1A	Extraction de pierres ornementales et de construction	pd	pd	pd
14.1C	Extraction de calcaire industriel, de gypse et de craie	pd	pd	pd
14.1E	Extraction d'ardoise	pd	pd	pd
14.2A	Production de sables et de granulats	pd	pd	pd
14.2C	Extraction d'argiles et de kaolin	pd	pd	pd
14.3Z	Extraction de minéraux pour l'industrie chimique et d'engrais naturels	pd	pd	pd
14.4Z	Production de sel	pd	pd	pd
14.5Z	Activités extractives n.c.a.	pd	pd	pd
	<b>INDUSTRIE MANUFACTURIERE</b>			
	<b>Industrie agricole et alimentaires</b>			
15.1A	Production de viandes de boucherie	0301	pd	pd
15.1C	Production de viandes de volailles	0301	pd	pd
15.1E	Préparation industrielle de produits à base de viandes	0301	pd	pd
15.1F	Charcuterie	0301	pd	pd
15.2Z	Industrie du poisson	0301	pd	pd
15.3A	Transformation et conservation de pommes de terre	0301	pd	pd
15.3C	Préparation de jus de fruits et légumes	0301	pd	pd
15.3E	Transformation et conservation de légumes	0301	pd	pd
15.3F	Transformation et conservation de fruits	0301	pd	pd
15.4A	Fabrication d'huiles et graisses brutes	0301	pd	060404
15.4C	Fabrication d'huiles et graisses raffinées	0301	pd	060404
15.4E	Fabrication de margarine	0301	pd	060404
15.5A	Fabrication de lait liquide et de produits frais	0301	pd	pd
15.5B	Fabrication de beurre	0301	pd	pd
15.5C	Fabrication de fromages	0301	pd	pd
15.5D	Fabrication d'autres produits laitiers	0301	pd	pd
15.5F	Fabrication de glaces et sorbets	0301	pd	pd
15.6A	Meunerie	0301	pd	060412
15.6B	Autres activités de travail des grains	0301	pd	060412
15.6D	Fabrication de produits amylacés	0301	pd	pd



15.7A	Fabrication d'aliments pour animaux de ferme	0301	pdc	pdc
15.7C	Fabrication d'aliments pour animaux de compagnie	0301	pdc	pdc
15.8A	Fabrication industrielle de pain et de pâtisserie fraîche	0301	040605	pdc
15.8B	Cuisson de produits de boulangerie	0301	040605	pdc
15.8C	Boulangerie et boulangerie-pâtisserie	0301	040605	pdc
15.8D	Pâtisserie	0301	040605	pdc
15.8F	Biscotterie, biscuiterie, pâtisserie de conservation	0301	040605	pdc
15.8H	Fabrication de sucre	0301	pdc	pdc
15.8K	Chocolaterie, confiserie	0301	pdc	pdc
15.8M	Fabrication de pâtes alimentaires	0301	pdc	pdc
15.8P	Transformation du thé et du café	0301	pdc	pdc
15.8R	Fabrication de condiments et assaisonnements	0301	pdc	pdc
15.8T	Fabrication d'aliments adaptés à l'enfant et diététiques	0301	pdc	pdc
15.8V	Industries alimentaires n.c.a.	0301	pdc	pdc
15.9A	Production d'eaux de vie naturelles	0301	040608	pdc
15.9B	Fabrication de spiritueux	0301	040608	pdc
15.9D	Production d'alcool éthylique de fermentation	0301	040608	pdc
15.9F	Champagnisation	0301	040606	pdc
15.9G	Vinification	0301	040606	pdc
15.9J	Cidrie	0301	pdc	pdc
15.9L	Production d'autres boissons fermentées	0301	pdc	pdc
15.9N	Brasserie	0301	040607	pdc
15.9Q	Malterie	0301	pdc	pdc
15.9S	Industrie des eaux de table	0301	pdc	pdc
15.9T	Production de boissons rafraîchissantes	0301	pdc	pdc
16.0Z	Industrie du tabac	0301	pdc	pdc
	<b>Industrie textile et habillement</b>			
17.1A	Filature de l'industrie cotonnière	0301	pdc	pdc
17.1C	Filature de l'industrie lainière - cycle cardé	0301	pdc	pdc
17.1E	Préparation de la laine	0301	pdc	pdc
17.1F	Filature de l'industrie lainière - cycle peigné	0301	pdc	pdc
17.1H	Préparation et filature du lin	0301	pdc	pdc
17.1K	Moulinage et texturation de la soie et des textiles artificiels ou synthétiques	0301	pdc	pdc
17.1M	Fabrication de fils à coudre	0301	pdc	pdc
17.1P	Préparation et filature d'autres fibres	0301	pdc	pdc
17.2A	Tissage de l'industrie cotonnière	0302	pdc	pdc
17.2C	Tissage de l'industrie lainière - cycle cardé	0303	pdc	pdc
17.2E	Tissage de l'industrie lainière - cycle peigné	0304	pdc	pdc
17.2G	Tissage de soieries	0305	pdc	pdc
17.2J	Tissage d'autres textiles	0301	pdc	pdc
17.3Z	Ennoblement textile	0301	pdc	060312
17.4A	Fabrication de linge de maison et d'articles d'ameublement	0301	pdc	pdc
17.4B	Fabrication de petits articles textiles de literie	0301	pdc	pdc
17.4C	Fabrication d'autres articles confectionnés en textile	0301	pdc	pdc
17.5A	Fabrication de tapis et moquettes	0301	pdc	pdc
17.5C	Ficellerie, corderie, fabrication de filets	0301	pdc	pdc
17.5E	Fabrication de non-tissés	0301	pdc	pdc
17.5G	Industries textiles n.c.a.	0301	pdc	pdc
17.6Z	Fabrication d'étoffes à maille	0301	pdc	pdc
17.7A	Fabrication de bas et chaussettes	0301	pdc	pdc
17.7C	Fabrication de pull-overs et articles similaires	0301	pdc	pdc
18.1Z	Fabrication de vêtements en cuir	0301	pdc	pdc
18.2A	Fabrication de vêtements de travail	0301	pdc	pdc
18.2C	Fabrication de vêtements sur mesure	0301	pdc	pdc
18.2D	Fabrication de vêtements de dessus pour hommes et garçonnets	0301	pdc	pdc
18.2E	Fabrication de vêtements de dessus pour femmes et fillettes	0301	pdc	pdc
18.2G	Fabrication de vêtements de dessous	0301	pdc	pdc
18.2J	Fabrication d'autres vêtements et accessoires	0301	pdc	pdc
18.3Z	Industrie des fourrures	0301	pdc	pdc
	<b>Industrie du cuir et de la chaussure</b>			
19.1Z	Apprêt et tannage des cuirs	0301	pdc	060313
19.2Z	Fabrication d'articles de voyage et de maroquinerie	0301	pdc	pdc
19.3Z	Fabrication de chaussures	0301	pdc	pdc
	<b>Travail du bois et fabrication d'articles en bois</b>			
20.1A	Sciage et rabotage du bois	0301	pdc	pdc
20.1B	Imprégnation du bois	0301	pdc	060406
20.2Z	Fabrication de panneaux de bois	0301	040601	060107
20.3Z	Fabrication de charpentes et de menuiseries	0301	pdc	060107
20.4Z	Fabrication d'emballages en bois	0301	pdc	060107
20.5A	Fabrication d'objets divers en bois	0301	pdc	060107

20.5C	Fabrication d'objets en liège, vannerie ou sparterie	0301	pdc	060107
	<b>Industrie du papier et du carton; édition et imprimerie</b>			
21.1A	Fabrication de pâte à papier	0301	040602	pdc
			040603	pdc
			040604	pdc
21.1C	Fabrication de papier et de carton	0301	pdc	pdc
21.2A	Industrie du carton ondulé	0301	pdc	pdc
21.2B	Fabrication de cartonnages	0301	pdc	060403
21.2C	Fabrication d'emballages en papier	0301	pdc	060403
21.2E	Fabrication d'articles en papier à usage sanitaire ou domestique	0301	pdc	060403
21.2G	Fabrication d'articles de papeterie	0301	pdc	060403
21.2J	Fabrication de papiers peints	0301	pdc	060403
21.2L	Fabrication d'autres articles en papier ou en carton	0301	pdc	060403
22.1A	Edition de livres	0301	pdc	060403
22.1C	Edition de journaux	0301	pdc	060403
22.1E	Edition de revues et périodiques	0301	pdc	060403
22.1G	Edition d'enregistrements sonores	0301	pdc	060403
22.1J	Autres activités d'édition	0301	pdc	060403
22.2A	Imprimerie de journaux	0301	pdc	060403
22.2C	Autre imprimerie (labeur)	0301	pdc	060403
22.2E	Reliure	0301	pdc	060405
22.2G	Activités de pré-presse	0301	pdc	pdc
22.2J	Activités graphiques auxiliaires	0301	pdc	pdc
22.3A	Reproduction d'enregistrements sonores	0301	pdc	pdc
22.3C	Reproduction d'enregistrements vidéo	0301	pdc	pdc
22.3E	Reproduction d'enregistrements informatiques	0301	pdc	pdc
	<b>Cokéfaction, raffinage, industrie nucléaire</b>			
23.1Z	Cokéfaction	010406	040201	pdc
23.2Z	Raffinage de pétrole	0103	040101	040104
		090203	040102	
			040103	
			050501	
23.3Z	Elaboration et transformation de matières nucléaires	0301	pdc	pdc
	<b>Industrie Chimique</b>			
24.1A	Fabrication de gaz industriels	0301	pdc	pdc
24.1C	Fabrication de colorants et de pigments	0301	040410	pdc
24.1E	Fabrication d'autres produits chimiques inorganiques de base	0301	040401	040415
			040410	
			040411	
			040412	
			040413	
			040804	
			040805	
			040806	
24.1G	Fabrication d'autres produits chimiques organiques de base	0301	040501	040522
		090204	040502	
			040503	
			040504	
			040505	
			040510	
			040516	
			040517	
			040518	
			040519	
			040520	
			040521	
			040523	
			040801	
			040802	
			040803	
24.1J	Fabrication de produits azotés et d'engrais	0301	040402	040415
		090204	040403	
			040404	
			040405	
			040406	
			040407	
			040408	
24.1L	Fabrication de matières plastiques de base	0301	040506	040522
		090204	040507	
			040508	
			040509	

			040511	
			040512	
24.1N	Fabrication de caoutchouc synthétique	0301	040513	040522
			040514	
			040515	
24.2Z	Fabrication de produits agrochimiques	0301	040525	040522
			040526	
			040527	
24.3Z	Fabrication de peintures et vernis	0301	pd	060307
		030325		060308
24.4A	Fabrication de produits pharmaceutiques de base	0301	pd	060306
24.4C	Fabrication de médicaments	0301	pd	060306
24.4D	Fabrication d'autres produits pharmaceutiques	0301	pd	060306
24.5A	Fabrication de savons, détergents et produits d'entretien	0301	pd	pd
24.5C	Fabrication de parfums et de produits pour la toilette	0301	pd	pd
24.6A	Fabrication de produits explosifs	0301	pd	pd
24.6C	Fabrication de colles et gélatines	0301	pd	060309
24.6E	Fabrication d'huiles essentielles	0301	pd	pd
24.6G	Fabrication de produits chimiques pour la photographie	0301	pd	060311
24.6J	Fabrication de supports de données	0301	pd	pd
24.6L	Fabrication de produits chimiques à usage industriel	0301	pd	pd
24.7Z	Fabrication de fibres artificielles ou synthétiques	0301	pd	pd
	<b>Industrie du caoutchouc et des plastiques</b>			
25.1A	Fabrication de pneumatiques	0301	pd	060305
25.1C	Rechapage de pneumatiques	0301	pd	060305
25.1E	Fabrication d'autres articles en caoutchouc	0301	pd	060305
25.2A	Fabrication de plaques, feuilles, tubes et profilés en matières plastiques	0301	pd	060301
				060302
				060303
				060304
25.2C	Fabrication d'emballages en matières plastiques	0301	pd	060301
				060302
				060303
				060304
25.2E	Fabrication d'éléments en matières plastiques pour la construction	0301	pd	060301
				060302
				060303
				060304
25.2G	Fabrication d'articles divers en matières plastiques	0301	pd	060301
				060302
				060303
				060304
25.2H	Fabrication de pièces techniques en matières plastiques	0301	pd	060301
				060302
				060303
				060304
	<b>Fabrication d'autres produits minéraux non métalliques</b>			
26.1A	Fabrication de verre plat	0301	030314	pd
26.1C	Façonnage et transformation du verre plat	0301	pd	pd
26.1E	Fabrication de verre creux	0301	030315	pd
26.1G	Fabrication de fibres de verre	0301	030316	060401
26.1J	Fabrication et façonnage d'articles techniques en verre	0301	pd	pd
26.1K	Fabrication d'isolateurs en verre	0301	pd	pd
26.2A	Fabrication d'articles céramiques à usage domestique ou ornemental	0301	030320	pd
26.2C	Fabrication d'appareils sanitaires en céramique	0301	030320	pd
26.2E	Fabrication d'isolateurs et pièces isolantes en céramique	0301	030320	pd
26.2G	Fabrication d'autres produits céramiques à usage technique	0301	030320	pd
26.2J	Fabrication d'autres produits céramiques	0301	030320	pd
26.2L	Fabrication de produits céramiques réfractaires	0301	030320	pd
26.3Z	Fabrication de carreaux en céramique	0301	030320	pd
26.4A	Fabrication de briques	0301	030319	pd
26.4B	Fabrication de tuiles	0301	030319	pd
26.4C	Fabrication de produits divers en terre cuite	0301	pd	pd
26.5A	Fabrication de ciment	0301	030311	pd
26.5C	Fabrication de chaux	0301	030312	pd
26.5E	Fabrication de plâtre	0301	pd	pd
		030204	pd	pd
26.6A	Fabrication d'éléments en béton pour la construction	0301	pd	pd
26.6C	Fabrication d'éléments en plâtre pour la construction	0301	pd	pd

26.6E	Fabrication de béton prêt à l'emploi	0301	pdc	pdc
26.6G	Fabrication de mortiers et bétons secs	0301	pdc	pdc
26.6J	Fabrication d'ouvrages en fibre-ciment	0301	030318	060402
26.6L	Fabrication d'autres ouvrages en béton ou en plâtre	0301	pdc	pdc
26.7Z	Taille, façonnage et finissage de pierres ornementales et de construction	0301	pdc	pdc
26.8A	Fabrication de produits abrasifs	0301	pdc	pdc
26.8C	Fabrication de produits minéraux non métalliques n.c.a.	0301	pdc	pdc
	<b>Métallurgie et travail des métaux</b>			
27.1Y	Sidérurgie	0301	040202	060105
		030203	040203	
		030302	040204	
			040205	
			040206	
			040207	
			040208	
27.2A	Fabrication de tubes en fonte	0301	040208	pdc
27.2C	Fabrication de tubes en acier	0301	040208	pdc
27.3A	Étirage à froid	0301	040208	pdc
27.3C	Laminage à froid de feuillards	0301	040208	pdc
27.3E	Profilage à froid par formage ou pliage	0301	040208	pdc
27.3G	Tréfilage à froid	0301	040208	pdc
27.4A	Production de métaux précieux	0301	pdc	pdc
27.4C	Production d'aluminium	0301	040301	pdc
		030310		
		030322		
27.4D	Première transformation de l'aluminium	0301	pdc	pdc
27.4F	Production de plomb, de zinc ou d'étain	0301	pdc	pdc
		030304		
		030305		
		030307		
		030308		
27.4G	Première transformation du plomb, du zinc ou de l'étain	0301	pdc	pdc
27.4J	Production de cuivre	0301	pdc	pdc
		030306	pdc	pdc
		030309	pdc	pdc
27.4K	Première transformation du cuivre	0301	pdc	pdc
27.4M	Métallurgie des autres métaux non ferreux	0301	040302	pdc
			040303	
			040304	
			040305	
			040306	
			040307	
			040308	
	<b>Fonderie</b>			
27.5A	Fonderie de fonte	0301	pdc	pdc
		030303	pdc	pdc
27.5C	Fonderie d'acier	0301	pdc	pdc
27.5E	Fonderie de métaux légers	0301	pdc	pdc
27.5G	Fonderie d'autres métaux non ferreux	0301	pdc	pdc
	<b>Travail des métaux</b>			
28.1A	Fabrication de constructions métalliques	0301	pdc	060201
28.1C	Fabrication de menuiseries et fermetures métalliques	0301	pdc	060201
28.2C	Fabrication de réservoirs, citernes et conteneurs métalliques	0301	pdc	060201
28.2D	Fabrication de radiateurs et de chaudières pour le chauffage central	0301	pdc	060201
28.3A	Fabrication de générateurs de vapeur	0301	pdc	060201
28.3B	Chaudronnerie nucléaire	0301	pdc	060201
28.3C	Chaudronnerie-tuyauterie	0301	pdc	060201
28.4A	Forge, estampage, matriçage	0301	pdc	060201
28.4B	Découpage, emboutissage	0301	pdc	060201
28.4C	Métallurgie des poudres	0301	pdc	060201
28.5A	Traitement et revêtement des métaux	0301	040307	060105
			040308	
28.5C	Décolletage	0301	pdc	060201
28.5D	Mécanique générale	0301	pdc	060201
28.6A	Fabrication de coutellerie	0301	pdc	060201
28.6C	Fabrication d'outillage à main	0301	pdc	060201
28.6D	Fabrication d'outillage mécanique	0301	pdc	060201
28.6F	Fabrication de serrures et de ferrures	0301	pdc	060201
28.7A	Fabrication de fûts et emballages métalliques similaires	0301	pdc	060201

28.7C	Fabrication d'emballages métalliques légers	0301	pdc	060201
28.7E	Fabrication d'articles en fils métalliques	0301	pdc	060201
28.7G	Visserie et boulonnerie	0301	pdc	060201
28.7H	Fabrication de ressorts	0301	pdc	060201
28.7J	Fabrication de chaînes	0301	pdc	060201
28.7L	Fabrication d'articles métalliques ménagers	0301	pdc	060201
28.7N	Fabrication de petits articles métalliques	0301	pdc	060201
28.7Q	Fabrication d'articles métalliques divers	0301	pdc	060201
29.1A	Fabrication de moteurs et turbines	0301	pdc	060201
29.1B	Fabrication de pompes	0301	pdc	060201
29.1D	Fabrication de transmissions hydrauliques et pneumatiques	0301	pdc	060201
29.1E	Fabrication de compresseurs	0301	pdc	060201
29.1F	Fabrication d'articles de robinetterie	0301	pdc	060201
29.1H	Fabrication de roulements	0301	pdc	060201
29.1J	Fabrication d'organes mécaniques de transmission	0301	pdc	060201
29.2A	Fabrication de fours et brûleurs	0301	pdc	060108
				060201
29.2C	Fabric. ascenseurs, monte-charges et escaliers mécaniques	0301	pdc	060108
				060201
29.2D	Fabrication d'équipements de levage et de manutention	0301	pdc	060108
29.2F	Fabrication d'équipements aérauliques et frigorifiques industriels			060201
		0301	pdc	060108
29.2H	Fabrication d'équipements d'emballage et de conditionnement			060201
29.2J	Fabrication d'appareils de pesage	0301	pdc	060108
				060201
29.2L	Fabrication de matériel pour les industries chimiques	0301	pdc	060108
29.2M	Fabrication d'autres machines d'usage général			060201
		0301	pdc	060108
29.3A	Fabrication de tracteurs agricoles			060201
29.3C	Réparation de matériel agricole	0301	pdc	060108
				060201
29.3D	Fabrication de matériel agricole	0301	pdc	060108
				060201
29.4A	Fabrication de machines-outils à métaux	0301	pdc	060108
				060201
29.4B	Fabrication de machines-outils à bois	0301	pdc	060108
				060201
29.4C	Fabrication de machines-outils portatives à moteur incorporé	0301	pdc	060108
				060201
29.4D	Fabrication de matériel de soudage	0301	pdc	060108
				060201
29.4E	Fabrication d'autres machines-outils	0301	pdc	060108
				060201
29.5A	Fabrication de machines pour la métallurgie	0301	pdc	060108
				060201
29.5B	Fabrication de matériels de mines pour l'extraction	0301	pdc	060108
				060201
29.5D	Fabrication de matériels de travaux publics	0301	pdc	060108
				060201
29.5E	Fabrication de machines pour l'industrie agroalimentaire	0301	pdc	060108
				060201
29.5G	Fabrication de machines pour les industries textiles	0301	pdc	060108
				060201
29.5J	Fabrication de machines pour les industries du papier et du carton	0301	pdc	060108
				060201
29.5L	Fabrication de machines d'imprimerie	0301	pdc	060108
				060201
29.5M	Fabrication de machines pour le travail du caoutchouc ou des plastiques	0301	pdc	060108
				060201
29.5N	Fabrication de moules et modèles	0301	pdc	060108
				060201
29.5Q	Fabrication de machines d'assemblage automatique	0301	pdc	060108
				060201
29.5R	Fabrication machines spécialisées diverses	0301	pdc	060108
				060201
29.6A	Fabrication d'armement	0301	pdc	060108
				060201
				060407
29.6B	Fabrication d'armes de chasse, de tir et de défense	0301	pdc	060108
				060201

29.7A	Fabrication d'appareils électroménagers	0301	pdc	060108
				060201
29.7C	Fabrication d'appareils ménagers non électriques	0301	pdc	060108
				060201
30.0A	Fabrication de machines de bureau	0301	pdc	060108
				060201
30.0C	Fabrication d'ordinateurs et d'autres équipements informatiques	0301	pdc	060108
				060201
31.1A	Fabrication de moteurs, génératrices et transformateurs électriques de petite et moyenne puissance	0301	pdc	060108
				060201
31.1B	Fabrication de moteurs, génératrices et transformateurs électriques de grande puissance	0301	pdc	060108
				060201
31.1C	Réparation de matériels électriques	0301	pdc	060108
				060201
31.2A	Fabrication de matériel de distribution et de commande électrique pour basse tension	0301	pdc	060108
				060201
31.2B	Fabrication de matériel de distribution et de commande électrique pour haute tension	0301	pdc	060108
				060201
31.3Z	Fabrication de fils et câbles isolés	0301	pdc	060108
				060201
31.4Z	Fabrication d'accumulateurs et de piles électriques	0301	040615	pdc
31.5A	Fabrication de lampes	0301	pdc	060108
31.5B	Fabrication d'appareils électriques autonomes de sécurité	0301	pdc	060108
31.5C	Fabrication d'appareils d'éclairage	0301	pdc	060108
31.6A	Fabrication de matériels électriques pour moteurs et véhicules	0301	pdc	060108
31.6C	Fabrication de matériel électromagnétique industriel	0301	pdc	060108
31.6D	Fabrication de matériels électriques n.c.a.	0301	pdc	060108
32.1A	Fabrication de composants passifs et de condensateurs	0301	pdc	060203
32.1C	Fabrication de composants électroniques actifs	0301	pdc	060203
32.1D	Assemblage de cartes électroniques pour compte de tiers	0301	pdc	060108
32.2A	Fabrication d'équipements d'émission et de transmission hertzienne	0301	pdc	060108
32.2B	Fabrication d'appareils de téléphonie	0301	pdc	060108
32.3Z	Fabrication d'appareils de réception, enregistrement ou reproduction du son et de l'image	0301	pdc	060108
33.1A	Fabrication de matériel d'imagerie médicale et de radiologie	0301	pdc	060108
33.1B	Fabrication d'appareils médicochirurgicaux	0301	pdc	060108
33.2A	Fabrication d'équipements d'aide à la navigation	0301	pdc	060108
33.2B	Fabrication d'instrumentation scientifique et technique	0301	pdc	060108
33.3Z	Fabrication d'équipements de contrôle des processus industriels	0301	pdc	060108
33.4A	Fabrication de lunettes	0301	pdc	060108
33.4B	Fabrication d'instruments d'optique et de matériel photographique	0301	pdc	060108
33.5Z	Horlogerie	0301	pdc	060108
34.1Z	Construction de véhicules automobiles	0301	pdc	060101
				060201
				060407
34.2A	Fabrication de carrosseries automobiles	0301	pdc	060101
				060201
34.2B	Fabrications de caravanes et véhicules de loisirs	0301	pdc	060101
				060201
				060407
34.3Z	Fabrication d'équipements automobiles	0301	pdc	060201
				060108
35.1A	Construction de bâtiments de guerre	0301	pdc	060106
				060201
				060108
35.1B	Construction de navires civils	0301	pdc	060106
				060201
				060108
35.1C	Réparation navale	0301	pdc	060106
				060201
				060108
35.1E	Construction de bateaux de plaisance	0301	pdc	060106
				060201
				060108
35.2Z	Construction de matériel ferroviaire roulant	0301	pdc	060201
				060108

				060407
35.3A	Construction de moteurs pour aéronefs	0301	pd	060201
				060108
35.3B	Construction de cellules d'aéronefs	0301	pd	060201
				060108
35.3C	Construction de lanceurs et engins spatiaux	0301	pd	060201
				060108
35.4A	Fabrication de motocycles	0301	pd	060201
				060108
35.4C	Fabrication de bicyclettes	0301	pd	060201
				060108
35.4E	Fabrication de véhicules pour invalides	0301	pd	060201
				060108
35.5Z	Fabrication de matériels de transport n.c.a.	0301	pd	060201
				060108
				060407
	<b>Fabrication de meubles</b>			
36.1A	Fabrication de sièges	0301	pd	060108
				060405
36.1C	Fabrication de meubles de bureau et de magasin	0301	pd	060108
				060405
36.1E	Fabrication de meubles de cuisine	0301	pd	060108
				060405
36.1G	Fabrication de meubles meublants	0301	pd	060108
				060405
36.1H	Fabrication de meubles de jardin et d'extérieur	0301	pd	060108
				060405
36.1J	Fabrication de meubles n.c.a.	0301	pd	060108
				060405
36.1K	Industries connexes de l'ameublement	0301	pd	060108
				060405
36.1M	Fabrication de matelas	0301	pd	060108
				060405
36.2A	Fabrication de monnaies	0301	pd	pd
36.2C	Bijouterie, joaillerie, orfèvrerie	0301	pd	pd
36.3Z	Fabrication d'instruments de musique	0301	pd	060108
				060405
36.4Z	Fabrication d'articles de sport	0301	pd	060108
				060405
36.5Z	Fabrication de jeux et jouets	0301	pd	060108
				060405
36.6A	Bijouterie fantaisie	0301	pd	pd
36.6C	Industrie de la broserie	0301	pd	pd
36.6E	Autres activités manufacturières n.c.a.	0301	pd	pd
37.1Z	Récupération de matières métalliques recyclables	0301	pd	pd
37.2Z	Récupération de matières non métalliques recyclables	0301	pd	pd
40.1A	Production d'électricité	0101	pd	pd
40.1C	Transport d'électricité	pd	pd	060507
40.1E	Distribution et commerce d'électricité	pd	pd	060507
40.2A	Production de combustible gazeux	0103	0503	pd
			050301	
			050302	
			050303	
40.2C	Distribution de combustibles gazeux	pd	0506	pd
			050601	
			050603	
40.3Z	Production et distribution de chaleur	0102	pd	pd
41.0Z	Captage, traitement et distribution d'eau	0301	pd	pd
	<b>BTP</b>			
45.1A	Terrassements divers, démolition	08	pd	pd
45.1B	Terrassements en grande masse	08	pd	pd
45.1D	Forages et sondages	08	pd	pd
45.2A	Construction de maisons individuelles	08	pd	060103
45.2B	Construction de bâtiments divers	08	pd	060103
45.2C	Construction d'ouvrages d'art	08	pd	pd
45.2D	Travaux souterrains	08	pd	pd
45.2E	Réalisation de réseaux	08	pd	pd
45.2F	Construction de lignes électriques et de télécommunication	08	pd	pd
45.2J	Réalisation de couvertures par éléments	08	040610	pd
45.2K	Travaux d'étanchéification	08	pd	pd
45.2L	Travaux de charpente	08	pd	pd

45.2N	Construction de voies ferrées	08	pd	pd
45.2P	Construction de chaussées routières et de sols sportifs	08	040611	pd
45.2R	Travaux maritimes et fluviaux	08	pd	pd
45.2T	Levage, montage	08	pd	pd
45.2U	Autres travaux spécialisés de construction	08	pd	pd
45.2V	Travaux de maçonnerie générale	08	pd	pd
45.3A	Travaux d'installation électrique	08	pd	pd
45.3C	Travaux d'isolation	08	pd	pd
45.3E	Installation d'eau et de gaz	08	pd	pd
45.3F	Installation d'équipements thermiques et de climatisation	08	pd	pd
45.3H	Autres travaux d'installation	08	pd	pd
45.4A	Plâtrerie	08	pd	pd
45.4C	Menuiserie bois et matières plastiques	08	pd	060406
45.4D	Menuiserie métallique ; serrurerie	08	pd	pd
45.4F	Revêtement des sols et des murs	08	pd	pd
45.4H	Miroiterie de bâtiment, vitrerie	08	pd	pd
45.4J	Peinture	08	pd	060103
45.4L	Agencement de lieux de vente	08	pd	060108
				060405
45.4M	Travaux de finition n.c.a.	08	pd	060108
				060405
45.5Z	Location avec opérateur de matériel de construction	08	pd	pd
	<b>Activité de production de biens et des services: Tertiaire</b>			
50.1Z	Commerce de véhicules automobiles	0201		pd
50.2Z	Entretien et réparation de véhicules automobiles	0201		060102
				060407
				060409
50.3A	Commerce de gros d'équipements automobiles	0201		pd
50.3B	Commerce de détail d'équipements automobiles	0201		pd
50.4Z	Commerce et réparation de motocycles	0201		060102
50.5Z	Commerce de détail de carburants	0201		050503
51.1A	Intermédiaires du commerce en matières premières agricoles, animaux vivants, matières premières textiles et demi-produits	0201		pd
51.1C	Intermédiaires du commerce combustibles, métaux, minéraux et produits chimiques	0201		pd
51.1E	Intermédiaires du commerce en bois et matériaux de construction	0201		pd
51.1G	Intermédiaires du commerce en machines, équipements industriels, navires et avions	0201		pd
51.1J	Intermédiaires du commerce en meubles, articles de ménage et quincaillerie	0201		pd
51.1L	Intermédiaires du commerce en textiles, habillement, chaussures et articles en cuir	0201		pd
51.1N	Intermédiaires du commerce en produits alimentaires	0201		pd
51.1P	Centrales d'achats alimentaires	0201		pd
51.1R	Autres intermédiaires spécialisés du commerce	0201		pd
51.1T	Intermédiaires non spécialisés du commerce	0201		pd
51.1U	Centrales d'achats non alimentaires	0201		pd
51.2A	Commerce de gros de céréales et aliments pour le bétail	0201		pd
51.2C	Commerce de gros de fleurs et plantes	0201		pd
51.2E	Commerce de gros d'animaux vivants	0201		pd
51.2G	Commerce de gros de cuirs et peaux	0201		pd
51.2J	Commerce de gros de tabac non manufacturé	0201		pd
51.3A	Commerce de gros de fruits et légumes	0201		pd
51.3C	Commerce de gros de viandes de boucherie	0201		pd
51.3D	Commerce de gros de produits à base de viande	0201		pd
51.3E	Commerce de gros de volailles et gibiers	0201		pd
51.3G	Commerce de gros de produits laitiers, oeufs, huiles	0201		pd
51.3J	Commerce de gros de boissons	0201		pd
51.3L	Commerce de gros de tabac	0201		pd
51.3N	Commerce de gros de sucre, chocolat et confiserie	0201		pd
51.3Q	Commerce de gros de café, thé, cacao et épices	0201		pd
51.3S	Commerce de gros de poissons, crustacés et mollusques	0201		pd
51.3T	Commerces de gros alimentaires spécialisés divers	0201		pd
51.3V	Commerce de gros de produits surgelés	0201		pd
51.3W	Commerce de gros alimentaire non spécialisé	0201		pd
51.4A	Commerce de gros de textiles	0201		pd
51.4C	Commerce de gros d'habillement	0201		pd
51.4D	Commerce de gros de la chaussure	0201		pd
51.4F	Commerce de gros d'appareils électroménagers et de radios et télévisions	0201		pd
51.4H	Commerce de gros de vaisselle et verrerie de ménage	0201		pd



51.4J	Commerce de gros de produits pour l'entretien et l'aménagement de l'habitat	0201		pdc
51.4L	Commerce de gros de parfumerie et de produits de beauté	0201		pdc
51.4N	Commerce de gros de produits pharmaceutiques	0201		pdc
51.4Q	Commerce de gros de papeterie	0201		pdc
51.4R	Commerce de gros de jouets	0201		pdc
51.4S	Autres commerces de gros de biens de consommation	0201		pdc
51.5A	Commerce de gros de combustibles	0201		050402
				050502
				050103
51.5C	Commerce de gros de minerais et métaux	0201		pdc
51.5E	Commerce de gros de bois et de produits dérivés	0201		pdc
51.5F	Commerce de gros de matériaux de construction et d'appareils sanitaires	0201		pdc
51.5H	Commerce de gros de quincaillerie	0201		pdc
51.5J	Commerce de gros de fournitures pour plomberie et chauffage	0201		pdc
51.5L	Commerce de gros de produits chimiques	0201		040415
				040522
51.5N	Commerce de gros d'autres produits intermédiaires	0201		pdc
51.5Q	Commerce de gros de déchets et débris	0201		pdc
51.8A	Commerce de gros de machines-outils	0201		pdc
51.8C	Commerce de gros de machines pour l'extraction, la construction et le génie civil	0201		pdc
51.8E	Commerce de gros de machines pour l'industrie textile et l'habillement	0201		pdc
51.8G	Commerce de gros d'ordinateurs, d'équipements informatiques périphériques et de progiciels	0201		pdc
51.8H	Commerce de gros d'autres machines et équipements de bureau	0201		pdc
51.8J	Commerce de gros de composants et d'autres équipements électroniques	0201		pdc
51.8L	Commerce de gros de matériel électrique	0201		pdc
51.8M	Commerce de gros de fournitures et équipements industriels divers	0201		pdc
51.8N	Commerce de gros de fournitures et équipements divers pour le commerce et les services	0201		pdc
51.8P	Commerce de gros de matériel agricole	0201		pdc
51.9A	Autres commerces de gros spécialisés	0201		pdc
51.9B	Commerce de gros non spécialisé	0201		pdc
52.1A	Commerce de détail de produits surgelés	0201		pdc
52.1B	Commerce d'alimentation générale	0201		pdc
52.1C	Supérettes	0201		pdc
52.1D	Supermarchés	0201		pdc
52.1E	Magasins populaires	0201		pdc
52.1F	Hypermarchés	0201		pdc
52.1H	Grands magasins	0201		pdc
52.1J	Autres commerces de détail en magasin non spécialisé	0201		pdc
52.2A	Commerce de détail de fruits et légumes	0201		pdc
52.2C	Commerce de détail de viandes et produits à base de viande	0201		pdc
52.2E	Commerce de détail de poissons, crustacés et mollusques	0201		pdc
52.2G	Commerce de détail de pain, pâtisserie et confiserie	0201		pdc
52.2J	Commerce de détail de boissons	0201		pdc
52.2L	Commerce de détail de tabac	0201		pdc
52.2N	Commerce de détail de produits laitiers	0201		pdc
52.2P	Commerces de détail alimentaires spécialisés divers	0201		pdc
52.3A	Commerce de détail de produits pharmaceutiques	0201		pdc
52.3C	Commerce de détail d'articles médicaux et orthopédiques	0201		pdc
52.3E	Commerce de détail de parfumerie et de produits de beauté	0201		pdc
52.4A	Commerce de détail de textiles	0201		pdc
52.4C	Commerce de détail d'habillement	0201		pdc
52.4E	Commerce de détail de la chaussure	0201		pdc
52.4F	Commerce de détail de maroquinerie et d'articles de voyage	0201		pdc
52.4H	Commerce de détail de meubles	0201		pdc
52.4J	Commerce de détail d'équipement du foyer	0201		pdc
52.4L	Commerce de détail d'appareils électroménagers, de radio et de télévision	0201		pdc
52.4N	Commerce de détail de quincaillerie	0201		pdc
52.4P	Commerce de détail de bricolage	0201		pdc
52.4R	Commerce de détail de livres, journaux et papeterie	0201		pdc
52.4T	Commerce de détail d'optique et de photographie	0201		pdc
52.4U	Commerce de détail de revêtements de sols et de murs	0201		pdc
52.4V	Commerce de détail d'horlogerie et de bijouterie	0201		pdc

52.4W	Commerce de détail d'articles de sport et de loisir	0201		pdc
52.4X	Commerce de détail de fleurs	0201		pdc
52.4Y	Commerce de détail de charbons et combustibles	0201		050402
				050502
				050103
52.4Z	Commerces de détail divers en magasin spécialisé	0201		pdc
52.5Z	Commerce de détail de biens d'occasion	0201		pdc
52.6A	Vente par correspondance sur catalogue général	0201		pdc
52.6B	Vente par correspondance spécialisée	0201		pdc
52.6D	Commerce de détail alimentaire sur éventaires et marchés	0201		pdc
52.6E	Commerce de détail non alimentaire sur éventaires et marchés	0201		pdc
52.6G	Vente à domicile	0201		pdc
52.6H	Vente par automate	0201		pdc
52.7A	Réparation de chaussures et d'articles en cuir	0201		pdc
52.7C	Réparation de matériel électronique grand public	0201		pdc
52.7D	Réparation d'appareils électroménagers	0201		pdc
52.7F	Réparation de montres, horloges et bijoux	0201		pdc
52.7H	Réparation d'articles personnels et domestiques n.c.a.	0201		pdc
55.1A	Hôtels touristiques avec restaurant	0201		pdc
55.1C	Hôtels touristiques sans restaurant	0201		pdc
55.1E	Autres hôtels	0201		pdc
55.2A	Auberges de jeunesse et refuges	0201		pdc
55.2C	Exploitation de terrains de camping	0201		pdc
55.2E	Autre hébergement touristique	0201		pdc
55.2F	Hébergement collectif non touristique	0201		pdc
55.3A	Restauration de type traditionnel	0201		pdc
55.3B	Restauration de type rapide	0201		pdc
55.4A	Cafés tabacs	0201		pdc
55.4B	Débits de boissons	0201		pdc
55.4C	Discothèques	0201		pdc
55.5A	Cantines et restaurants d'entreprises	0201		pdc
55.5C	Restauration collective sous contrat	0201		pdc
55.5D	Traiteurs, organisation de réceptions	0201		pdc
	<b>Transport et communications</b>			
	<b>Transport terrestres</b>			
60.1Z	Transports ferroviaires	0802		
60.2A	Transports urbains de voyageurs	0802		
60.2B	Transports routiers réguliers de voyageurs	0703		
60.2C	Téléphériques, remontées mécaniques	pdc		
60.2E	Transport de voyageurs par taxis	0701		
60.2G	Autres transports routiers de voyageurs	0701		
60.2L	Transports routiers de marchandises de proximité	0702		
60.2M	Transports routiers de marchandises interurbains	0703		
60.2N	Déménagement	0703		
60.2P	Location de camions avec conducteur	0702		
		0703		
60.3Z	Transports par conduites	0506		
		050601		
		050603		
61.1A	Transports maritimes	0804		
61.1B	Transports côtiers	0804		
61.2Z	Transports fluviaux	0803		
62.1Z	Transports aériens réguliers	0805		
62.2Z	Transports aériens non réguliers	0805		
62.3Z	Transports spatiaux	pdc		
63.1A	Manutention portuaire			050401
				050402
63.1B	Manutention non portuaire			
63.1D	Entreposage frigorifique	0201		pdc
63.1E	Entreposage non frigorifique	0201		pdc
63.2A	Gestion d'infrastructures de transports terrestres	0201		pdc
63.2C	Services portuaires, maritimes et fluviaux	0201		pdc
63.2E	Services aéroportuaires	0201		pdc
63.3Z	Agences de voyage	0201		pdc
63.4A	Messagerie, fret express	0201		pdc
63.4B	Affrètement	0201		pdc
63.4C	Organisation des transports internationaux	0201		pdc
64.1A	Postes nationales	0201		pdc
64.1C	Autres activités de courrier	0201		pdc
64.2C	Télécommunications (hors transmissions audiovisuelles)	0201		pdc
64.2D	Transmission d'émissions de radio et de télévision	0201		pdc

	<b>Intermédiation financière</b>			
65.1A	Banque centrale	0201		pdc
65.1C	Banques	0201		pdc
65.1D	Banques mutualistes	0201		pdc
65.1E	Caisses d'épargne	0201		pdc
65.1F	Intermédiations monétaires n.c.a.	0201		pdc
65.2A	Crédit-bail	0201		pdc
65.2C	Distribution de crédit	0201		pdc
65.2E	Organismes de placement en valeurs mobilières	0201		pdc
65.2F	Intermédiations financières diverses	0201		pdc
66.0A	Assurance-vie et capitalisation	0201		pdc
66.0C	Caisses de retraite	0201		pdc
66.0E	Assurance dommages	0201		pdc
66.0F	Réassurance	0201		pdc
66.0G	Assurance relevant du code de la mutualité	0201		pdc
67.1A	Administration de marchés financiers	0201		pdc
67.1C	Gestion de portefeuilles	0201		pdc
67.1E	Autres auxiliaires financiers	0201		pdc
67.2Z	Auxiliaires d'assurance	0201		pdc
	<b>Activités immobilières</b>			
70.1A	Promotion immobilière de logements	0201		pdc
70.1B	Promotion immobilière de bureaux	0201		pdc
70.1C	Promotion immobilière d'infrastructures	0201		pdc
70.1D	Supports juridiques de programme	0201		pdc
70.1F	Marchands de biens immobiliers	0201		pdc
70.2A	Location de logements	0201		pdc
70.2B	Location de terrains	0201		pdc
70.2C	Location d'autres biens immobiliers	0201		pdc
70.3A	Agences immobilières	0201		pdc
70.3C	Administration d'immeubles résidentiels	0201		pdc
		0202		pdc
70.3D	Administration d'autres biens immobiliers	0201		pdc
70.3E	Supports juridiques de gestion de patrimoine	0201		pdc
71.1A	Location de courte durée de véhicules automobiles	0201		pdc
71.1B	Location de longue durée de véhicules automobiles	0201		pdc
71.2A	Location d'autres matériels de transport terrestre	0201		pdc
71.2C	Location de matériels de transport par eau	0201		pdc
71.2E	Location d'appareils de transport aérien	0201		pdc
71.3A	Location de matériel agricole	0201		pdc
71.3C	Location de machines et équipements pour la construction	0201		pdc
71.3E	Location de machines de bureau et de matériel informatique	0201		pdc
71.3G	Location de machines et équipements divers	0201		pdc
71.4A	Location de linge	0201		pdc
71.4B	Location d'autres biens personnels et domestiques	0201		pdc
72.1Z	Conseil en systèmes informatiques	0201		pdc
72.2A	Edition de logiciels (non personnalisés)	0201		pdc
72.2C	Autres activités de réalisation de logiciels	0201		pdc
72.3Z	Traitement de données	0201		pdc
72.4Z	Activités de banques de données	0201		pdc
72.5Z	Entretien et réparation de machines de bureau et de matériel informatique	0201		pdc + solvants
72.6Z	Autres activités rattachées à l'informatique (L'utilisation de cette classe est différée jusqu'à nouvel avis)	0201		pdc
	<b>Recherche et développement</b>			
73.1Z	Recherche-développement en sciences physiques et naturelles	0201		pdc + solvants + procédés
73.2Z	Recherche-développement en sciences humaines et sociales	0201		pdc
	<b>Services fournis principalement aux entreprises</b>	0201		pdc
74.1A	Activités juridiques	0201		pdc
74.1C	Activités comptables	0201		pdc
74.1E	Etudes de marché et sondages	0201		pdc
74.1G	Conseil pour les affaires et la gestion	0201		pdc
74.1J	Administration d'entreprises	0201		pdc
74.2A	Activités d'architecture	0201		pdc
74.2B	Métreurs, géomètres	0201		pdc
74.2C	Ingénierie, études techniques	0201		pdc + solvants + procédés
74.3A	Contrôle technique automobile	0201		pdc + solvants + procédés
74.3B	Analyses, essais et inspections techniques	0201		pdc + solvants + procédés

74.4A	Gestion de supports de publicité	0201		pdc
74.4B	Agences, conseil en publicité	0201		pdc
74.5A	Sélection et mise à disposition de personnel	0201		pdc
74.5B	Travail temporaire	0201		pdc
74.6Z	Enquêtes et sécurité	0201		pdc
74.7Z	Activités de nettoyage	0201		pdc + solvants + procédés
74.8A	Studios et autres activités photographiques	0201		pdc
74.8B	Laboratoires techniques de développement et de tirage	0201		pdc + solvants + procédés
74.8D	Conditionnement à façon	0201		pdc
74.8F	Secrétariat et traduction	0201		pdc
74.8G	Routage	0201		pdc
74.8H	Centres d'appel	0201		pdc
74.8J	Organisation de foires et salons	0201		pdc
74.8K	Services annexes à la production	0201		pdc
	<b>Administration publique</b>	0201		pdc
75.1A	Administration publique générale	0201		pdc
75.1C	Tutelle des activités sociales	0201		pdc
75.1E	Tutelle des activités économiques	0201		pdc
75.1G	Activités de soutien aux administrations	0201		pdc
75.2A	Affaires étrangères	0201		pdc
75.2C	Défense	0201		pdc + solvants + procédés
75.2E	Justice	0201		pdc
75.2G	Police	0201		pdc
75.2J	Protection civile	0201		pdc
75.3A	Activités générales de sécurité sociale	0201		pdc
75.3B	Gestion des retraites complémentaires	0201		pdc
75.3C	Distribution sociale de revenus	0201		pdc
	<b>Education</b>			
80.1Z	Enseignement primaire	0201		pdc
80.2A	Enseignement secondaire général	0201		pdc
80.2C	Enseignement secondaire technique ou professionnel	0201		pdc + solvants + procédés
80.3Z	Enseignement supérieur	0201		pdc + solvants + procédés
80.4A	Ecoles de conduite	0201		pdc
80.4C	Formation des adultes et formation continue	0201		pdc
80.4D	Autres enseignements	0201		pdc
	<b>Santé et action sociale</b>			
85.1A	Activités hospitalières	0201		090207
				pdc + solvants + procédés
85.1C	Pratique médicale	0201		pdc
85.1E	Pratique dentaire	0201		pdc
85.1G	Activités des auxiliaires médicaux	0201		pdc
85.1H	Soins hors d'un cadre réglementé	0201		pdc
85.1J	Ambulances	0201		pdc
85.1K	Laboratoires d'analyses médicales	0201		pdc + solvants + procédés
85.1L	Centres de collecte et banques d'organes	0201		pdc
85.2Z	Activités vétérinaires	0201		pdc
85.3A	Accueil des enfants handicapés	0201		pdc
85.3B	Accueil des enfants en difficulté	0201		pdc
85.3C	Accueil des adultes handicapés	0201		pdc
85.3D	Accueil des personnes âgées	0201		pdc
85.3E	Autres hébergements sociaux	0201		pdc
85.3G	Crèches et garderies d'enfants	0201		pdc
85.3H	Aide par le travail, ateliers protégés	0201		pdc
85.3J	Aide à domicile	0201		pdc
85.3K	Autres formes d'action sociale	0201		pdc
	<b>Services collectifs, sociaux et personnels</b>			
90.0A	Collecte et traitement des eaux usées	0201		091001
				091002
				091003
90.0B	Enlèvement et traitement des ordures ménagères	0201		090201
				090401
				090205
				090208
				091005

				091006
				091008
90.0E	Traitements des autres déchets solides	0201		090401
				090402
				090202
				090901
				090902
90.0G	Autres travaux d'assainissement et de voirie	pdc		pdc
	<b>Activités associatives</b>			
91.1A	Organisations patronales et consulaires	0201		pdc
91.1C	Organisations professionnelles	0201		pdc
91.2Z	Syndicats de salariés	0201		pdc
91.3A	Organisations religieuses	0201		pdc
91.3C	Organisations politiques	0201		pdc
91.3E	Organisations associatives n.c.a.	0201		pdc
92.1A	Production de films pour la télévision	0201		pdc
92.1B	Production de films institutionnels et publicitaires	0201		pdc
92.1C	Production de films pour le cinéma	0201		pdc
92.1D	Prestations techniques pour le cinéma et la télévision	0201		pdc
92.1F	Distribution de films cinématographiques	0201		pdc
92.1G	Edition et distribution vidéo	0201		pdc
92.1J	Projection de films cinématographiques	0201		pdc
92.2A	Activités de radio	0201		pdc
92.2B	Production de programmes de télévision	0201		pdc
92.2D	Edition de chaînes généralistes	0201		pdc
92.2E	Edition de chaînes thématiques	0201		pdc
92.2F	Distribution de bouquets de programmes de radio et de télévision	0201		pdc
92.3A	Activités artistiques	0201		pdc
92.3B	Services annexes aux spectacles	0201		pdc
92.3D	Gestion de salles de spectacles	0201		pdc
92.3F	Manèges forains et parcs d'attractions	0201		pdc
92.3K	Activités diverses du spectacle	0201		pdc
92.4Z	Agences de presse	0201		pdc
92.5A	Gestion des bibliothèques	0201		pdc
92.5C	Gestion du patrimoine culturel	0201		pdc
92.5E	Gestion du patrimoine naturel	0201		pdc
92.6A	Gestion d'installations sportives	0201		pdc
92.6C	Autres activités sportives	0201		pdc
92.7A	Jeux de hasard et d'argent	0201		pdc
92.7C	Autres activités récréatives	0201		pdc
93.0A	Blanchisserie - teinturerie de gros	0201		060202
				pdc + solvants + procédés
93.0B	Blanchisserie - teinturerie de détail			060202
				pdc + solvants + procédés
93.0D	Coiffure	0201		pdc
93.0E	Soins de beauté	0201		pdc
93.0G	Soins aux défunts	0201		pdc
93.0H	Pompes funèbres	0201		pdc
93.0K	Activités thermales et de thalassothérapie	0201		pdc
93.0L	Autres soins corporels	0201		pdc
93.0N	Autres services personnels	0201		pdc
95.0Z	Activités des ménages en tant qu'employeur de personnel domestique	0201		pdc
96.0Z	Activités indifférenciées des ménages en tant que producteurs de biens pour usage propre	0201		pdc
97.0Z	Activités indifférenciées des ménages en tant que producteurs de services pour usage propre	0201		pdc
99.0Z	Activités extraterritoriales	0201		pdc



### ***Annexe 3: IDSURF Escompte (document de référence: Origine CEPE - ESCOMPTE)***

#### **Description de l'identificateur de surface unique ESCOMPTE :**

Le champ qui nous intéresse dans ce document est « l'identificateur de surface unique ESCOMPTE » : le nom de champ est « IDSURF ».

Note : ne pas confondre avec « l'identificateur de source unique ESCOMPTE » qui est une combinaison de « l'identificateur de surface unique ESCOMPTE » et du type de source.

IDSURF est un champ numérique de 14 « caractères » : [ABBBBBBBBBBBCC]

Le premier caractère (A) est réservé à l'identification du type d'élément identifié :

A=1 Découpage administratif pour la France

A=2 Découpage administratif hors France

A=3 Découpage INSEE sub-communal

A=4 Grille (maillage 1km\*1km) UTM

A=5 Grille Française UTM autre résolution

A=6 Grille non UTM

A=7 Sources ponctuelles pour la France

A=8 Sources ponctuelles hors France

A=9 Sources linéiques

Les 13 autres caractères (BBBBBBBBBBCC) sont utilisés comme suit :

1 Découpage administratif pour la France

**[A][RR][A(CC)][000][DD][CoCoCo]**

**RR identificateur de région (PACA=93, Languedoc-Roussillon=91).**

**A identificateur d'arrondissement**

**(CC) identificateur de canton (optionnel)**

**DD identificateur de département.**

**CoCoCo numéro INSEE de la commune.**

Exemple :

Commune de Aix en Provence (numéro INSEE : 13001) : IDSURF = 19301000013001

2 Découpage administratif hors France

**Pas de spécifications**

3 Découpage INSEE sub-communal

**[A][QQQQ][IIII][DD][CoCoCo]**  
**QQQQ code INSEE du Quartier (IRIS).**  
**IIII code INSEE de l'îlot.**  
**DD identificateur de département.**  
**CoCoCo numéro INSEE de la commune.**

4 Grille (maillage 1km\*1km) UTM

**[A][0000][XXX][YYYY][00]**  
**XXX et YYYY coordonnées en kilomètre (sans fuseau UTM) du nœud supérieur gauche de la maille.**

Exemple :

Maille UTM kilométrique de coordonnée (coin supérieur gauche) Xmin= (31) 707 000, Ymax = 4 802 000 : IDSURF = 40000707480200

5 Grille Française UTM autre résolution

**Pas de spécifications**

6 Grille non UTM



## **Pas de spécifications**

### 7 Sources ponctuelles pour la France

**[A][XXXXX][YYYYYY][SS]**

**XXXXX et YYYYYY coordonnées en décamètre (sans fuseau UTM) du point.  
SS numéro de source dans l'entreprise.**

Exemple :

Sources ponctuelle en France dont les coordonnées sont X=(31) 707 232, Y = 4  
802 358, source numéro 3 : IDSURF = 77072348023503

### 8 Sources ponctuelles hors France

Pas de spécifications

### 9 Sources linéiques

**[A][I][NNNNNNN][DD][CoCoCo]**

**I identificateur de type de transport (1 : Trafic routier, 2 : Trafic ferroviaire, 3 :  
Trafic fluvial), 4 : Trafic maritime.**

**NNNNNNN Identificateur du brin dans la commune.**

**DD identificateur de département.**

**CoCoCo numéro INSEE de la commune.**

Remarque : dans le cas du trafic maritime, le prestataire mettra en place une  
nomenclature adaptée aux recensements des routes maritimes.



***Annexe 4: note de travail du 19 décembre 2001 concernant les incertitudes dans la réalisation des cadastres pour le programme ESCOMPTE (document de référence: Origine CEPE - ESCOMPTE)***



## Note ESCOMPTE/Emissions : INCERTITUDES.

Référence : 011023.01

Rédaction : AIRMARAIX/S.Fayet, LPCA/S.François

**Destinataire(s) : CEPE, Prestataires ESCOMPTE/Emissions**

Copie : Aucune.

**Objet : Recommandations pour l'estimation des incertitudes associées aux modèles d'émissions ESCOMPTE.**

Pièces jointes : Aucune.

### 1- Problématique :

incertitude n. f.

1. Caractère, état de ce qui est incertain (sens l., 1). *L'incertitude de la victoire.* || PHYS **Erreur entachant une mesure.** || PHYS NUCL *Principe d'incertitude de Heisenberg\**. 2. État d'une personne qui doute. *Être dans l'incertitude.* 3. ECON Connaissance imparfaite des phénomènes économiques futurs.

Lors de la réunion du 7 juin 2001 à Marseille, S.François a présenté succinctement l'état de l'art concernant le traitement des incertitudes sur les modèles d'émissions.

Il a été alors convenu d'adopter la méthode dite « simplifiée » recommandée par l'IPCC<sup>1</sup> (Relevé de décisions 010607) au niveau de la source et SNAP le plus pertinent.

**Cette note a pour objectif d'asseoir une approche minimale standard de détermination des incertitudes commune à toutes les contributions.**

### 2- Principe général de l'évaluation des incertitudes dans ESCOMPTE

#### 2.1 Principe de la méthode dite IPCC :

Le but est de resituer brièvement la méthode de niveau 1 (Tier 1) proposée dans le rapport IPCC<sup>1</sup> au chapitre 6 mais documentée dans tous les chapitres descriptifs des différentes catégories d'émissions, notamment concernant les catégories de données et leur niveau de fiabilité générique :

- Chapitre 2 : production d'énergie
- Chapitre 3 : processus industriels
- Chapitre 4 : agriculture
- Chapitre 5 : traitement des déchets

<sup>1</sup> IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, Chapter 6: Quantifying uncertainties in practice

Chacun de ces chapitres aborde un secteur, passant en revue les méthodes de calculs d'émissions. Cela concerne les gaz à effet de serre mais la méthode peut servir de point de départ pertinent à votre démarche.

a. Sources d'incertitudes :

Le paragraphe 6.2 du document énumère (pas forcément exhaustif) **les sources d'incertitudes qui peuvent être prises en compte par défaut**. On peut citer par exemple:

- Les incertitudes sur sources en surveillance continue
- Les incertitudes sur les facteurs d'émissions
- Les incertitudes sur les données d'activité
- Les incertitudes sur les décisions issues d'expertises

On pourra également se reporter au point A1.3 de l'Annexe 1 qui fournit également des éléments par défaut sur ce point.

b. La combinaison des incertitudes :

La méthode préconisée au premier niveau d'approximation dans le cadre des inventaires de gaz à effet de serre consiste, à partir de la formulation du calcul d'émission, d'évaluer l'incertitude en tant que **combinaison des incertitudes de chaque variable en utilisant une équation de propagation d'erreur**.

On se reportera aux équations simplifiées 6.3 et 6.4 de la page 6.12. La méthode est détaillée au point 6.3.2.

On gardera à l'esprit (voire l'Annexe 1 du document IPCC) que ces formules sont obtenues en négligeant les effets de corrélation, soit en considérant les variables comme indépendantes. Il est reconnu que cette méthode n'est pas la plus valide dans le cas le plus général, notamment par cette absence de prise en compte des effets de corrélation<sup>2</sup>.

Néanmoins cette méthode semble être la seule applicable dans le cadre de la prestation prévue pour la réalisation des cadastres ESCOMPTE, compte tenu notamment de sa simplicité de mise en oeuvre.

<sup>2</sup> Nous recommandons notamment la lecture des publications suivantes concernant les comparaisons de méthodes tier 1 et tier 2 :

Frey, H.C. and J. Zheng, *Methods and Example Case Study for Analysis of Variability and Uncertainty in Emissions Estimation*, Prepared by North Carolina State University for Office of Air Quality Planning and Standards, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC, September 2000.  
Frey, H.C., R. Bharvirkar, J. Zheng, *Quantitative Analysis of Variability and Uncertainty in Emissions Estimation*, Final Report, Prepared by North Carolina State University for Office of Air Quality Planning and Standards, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC, July 1999.

## 2.2 Approximations pour l'évaluation des incertitudes dans ESCOMPTE :

Puisque la principale difficulté réside plus dans l'attribution d'incertitudes sur les données d'entrée que sur les facteurs d'émissions, il est proposé de **procéder en catégorisant le niveau de qualité des données d'entrées et intermédiaires selon leur origine.**

Il s'agit d'une procédure par défaut, inspirée des traitements présentés dans le manuel déjà cité (IPCC), qui permettra d'établir le calcul d'incertitudes sur des données d'entrée dont l'incertitude n'est pas connue explicitement pour chaque variable d'entrée.

L'incertitude est attribuée par des règles simples et communes (à toutes les contributions), basées sur à la manière dont ces données ont été établies.

Nous proposons ci-après quelques exemples succincts de catégories de données et d'ordres de grandeur d'incertitudes par défaut qui pourraient leur être appliquées (après discussion et consensus). On pourra également se reporter aux chapitres 2 à 5 du document IPCC qui donne des renseignements utiles pour obtenir un ordre de grandeur pour les diverses catégories de données<sup>3</sup>.

**Il est donc proposé d'attribuer une précision P à chaque type de données selon leur origine ou bien leur mode de détermination, par exemple:**

Cas des données d'activité (ou assimilées) :

(1) Données issues d'une enquête exhaustive et/ou d'enregistrements (recensement)  
Donnée type : Recensement Général Agricole, productions industrielles  
P=10%

(2) Données issues d'une enquête statistique (par échantillonnage)  
Donnée type : Enquête énergétique du SESSI  
P=20%

(3) Données issues de mesures (comptages, mesures de concentrations)  
Donnée type : Analyse APAVE, comptage SIREDO  
P=10%

(4) Données issues de modèles brutes (modèles de simulation)  
Donnée type : Modèles de trafic  
P=20%

(4) Données issues de modèles opérationnels assimilant des données (modèles de simulation)  
Donnée type : Données météo ALADIN (échéances 0 / analyses)  
P=10%

<sup>3</sup> La classification des données et leurs incertitudes associés devront à terme être reportées dans le(s) rapport(s) méthodologique(s) dans la partie afférant à la description des données d'entrées utilisée pour le calcul des émissions.

Cas des facteurs d'émissions (ou assimilées) :

(1) Facteurs issus de mesures (analyses) répétées, par des organismes « agréés »  
Donnée type : FE issus de l'INRETS  
P=10%

(1) Facteurs issus de mesures (analyses) ponctuelles et/ou effectuées par des organismes inconnus  
Donnée type : FE issus de publications ponctuelles  
P=20%

(1) Facteurs issus de calculs théoriques  
Donnée type : FE COVNM évaporation stockage de combustibles, poussières remises en suspension  
P=50%

2.3 Autres considérations relatives aux incertitudes :

De nombreuses questions ne sont pas abordées dans le document IPCC mais sont pertinentes et traitables selon une démarche similaire (méthodologie simplifiée).  
On donne dans ce paragraphes quelques exemples de compléments qui peuvent sembler pertinents dans le traitement des incertitudes.

\* Quel est l'ordre de grandeur de l'incertitude introduite par l'extrapolation géographique de données ?

- Données mesurées puis appliquées ailleurs comme comptages routiers : étude de la variabilité au sein de l'échantillon... ?
- Données météorologiques : étude de sensibilité... ?

\* Quel est l'ordre de grandeur de l'incertitude introduite par l'extrapolation temporelles de données comme dans le cas de l'emploi des analyses APAVE appliquées à toute l'année : catégorisation de la *variabilité de l'activité* et modification de la précision en fonction... ?

\* Quel est l'ordre de grandeur de l'incertitude introduite par le secret statistique partiel sur certaines variables socio-économiques : étude des bilans... ?



## **Résumé:**

Avec la révolution industrielle et l'usage intensif des combustibles fossiles, la qualité de l'air s'est très notablement dégradée. Elle dépend de plusieurs facteurs conjugués dont les conditions météorologiques (vent, ensoleillement) ainsi que les émissions de polluants. Tous ces paramètres doivent être pris en compte pour modéliser les transports réactifs des polluants dans l'atmosphère mais seules les émissions anthropiques peuvent être gérées à court terme, tant sur la composition des flux que sur les quantités émises. Cette problématique met en avant la modélisation comme outil indispensable pour la gestion de la qualité de l'air, tant du point de vue descriptif que prospectif des problèmes.

Pour une modélisation réaliste de la qualité de l'air, non seulement des mécanismes réactifs adaptés et une bonne description des conditions météorologiques sont nécessaires, mais des inventaires d'émissions les plus précis possible sont indispensables. Le constat actuel est qu'il n'existe pas ou très peu d'inventaires adaptés à la modélisation au niveau régional car ceux existants, le plus souvent nationaux, sont de résolutions trop grossières et ne permettent pas d'obtenir une description et une localisation des émissions correspondant aux besoins des modèles.

Nous avons donc travaillé sur les aspects méthodologiques (partie théorique) et les outils adaptés (partie opérationnelle) à la génération d'inventaires spatialisés à hautes résolutions compatibles avec les besoins des modèles de photochimie atmosphérique à méso échelle et adapté aux formats de données statistiques disponibles. Ces travaux se sont déroulés dans le cadre d'une expérience sans précédent en France, le programme ESCOMPTE. Dans le cadre de la pérennisation des travaux, le transfert des méthodes et outils a été opéré vers l'ASQUAA de Marseille (AIRMARAIX). Cette application nous a permis de démontrer la faisabilité d'une gestion à coût raisonnable d'un inventaire spatialisé d'émissions à haute résolution au niveau régional.

## **Abstract:**

With the industrial revolution and then the massive use of fossil fuels, the air quality has been considerably worsening. Air quality is a complex function of meteorological situations (wind, sun radiation) and pollutant emissions. All those parameters must be accounted for modelling the reactive transports of pollutants in the atmosphere but only the anthropogenic emissions can be managed on a short timeframe, as well concerning the composition of the flux as the emitted quantities. This overall modelling problematic emphasize the crucial role of emission databases in the air quality modelling processes, as diagnostic or prognostic tool for air quality issues.

To obtain a consistent and realistic modelling, not only the emissions and meteorological data have to be taken into account, especially the emissions in the proper chemical reaction mechanisms but the quality of the emission data is crucial. The starting point of our study was that few or no inventories exist, and from the ones available, they are not adapted to be used efficiently in regional air quality modelling. The resolution, especially regarding spatial emission distribution of the national inventories can not lead to proper input data for this kind of studies.

Our study include both the method aspects (theoretical studies) and the operational aspects (applied studies) regarding the generation of high resolution spatial emission data (based on national statistical data standards) that can be used as suitable input data for meso-scale photochemical models of the reactive transport of pollutants. This work was part of the ESCOMPTE program, an unparalleled scientific in the domain of air quality experiment in France. Our tasks in this program also included a methodological transfer (accompanied with the software tools related to the emission databases) of the study to the local air quality monitoring authority (AIRMARAIX for the city of Marseille). This overall application proved the feasibility of high resolution regional emission inventories at a sustainable operational cost.