

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

Discipline : Géographie
par **Olivier Klein**

Modélisation et représentations spatio-temporelles des déplacements quotidiens urbains

Application à l'Aire Urbaine Belfort-Montbéliard

Soutenue publiquement le 11 juin 2007

Membres du jury

Directeur de Thèse : Monsieur Richard Kleinschmager, Professeur
Laboratoire Image et Ville, Université Louis Pasteur, Strasbourg I

Co-directeur de thèse : Madame Colette Cauvin, Professeur honoraire
Laboratoire Image et Ville, Université Louis Pasteur, Strasbourg I

Rapporteur Interne : Madame Christiane Weber, Directeur de recherche CNRS
Laboratoire Image et Ville, Université Louis Pasteur, Strasbourg I

Rapporteur Externe : Madame Denise Pumain, Professeur
Laboratoire Géographie-cités, Université Paris I

Rapporteur Externe : Monsieur Francisco Escobar, Professeur
Departamento Geografia, Universidad de Alcala, Madrid

Examineur : Monsieur Luc Gwiazdzinski, Professeur associé
Laboratoire Systèmes et Transport,
Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, Belfort

Remerciements

Je tiens à exprimer mes plus profonds remerciements au Professeur Colette Cauvin pour avoir dirigé cette thèse avec rigueur et grande disponibilité, m'avoir apporté son soutien, m'avoir laissé une grande liberté dans mes recherches et m'avoir transmis la passion de la cartographie.

Au Professeur Richard Kleinschmager pour son soutien et pour avoir accepté de prendre la direction de la fin de la thèse.

A Christiane Weber, directrice du Laboratoire Image et Ville, pour son soutien et les bonnes conditions d'accueil et de travail au laboratoire.

Aux professeurs Denise Pumain et Francisco Escobar pour avoir accepté d'être membres du Jury.

A Luc Gwiazdzinski, « le veilleur de nuit », sans qui cette thèse n'aurait été possible. Un très grand merci pour l'inoubliable aventure belfortaine : participer à la construction d'un des premiers bureau du temps, quelquefois en continu mais toujours avec passion, a été une expérience professionnelle et humaine fort enrichissante.

A Madame Isabel Girault-Jammers et Monsieur Bruno Vidalie, directeurs successifs à l'Agence d'Urbanisme du Territoire de Belfort pour la confiance qu'ils m'ont accordée en acceptant d'être partenaire de la convention CIFRE.

A mes anciens collègues de la Maison du Temps, Julien Gannard, Zhour Sellam et Sabri Laifa, pour les nombreux échanges au quotidien.

A mes collègues de l'Agence d'Urbanisme du Territoire de Belfort, Vincent Meyer, Dominique Brigand, Laurence Flesch et Olivier Schampion.

A mes deux compères « cartographes » Jean-Philippe Antoni et Stéphane Moisy pour les échanges, débats et publications menés ensemble ; en espérant que d'autres projets de collaboration verront le jour prochainement.

A tout le personnel du laboratoire Image et Ville notamment, Aziz Serradj, mon collègue de bureau, Arnaud Banos, Anne-Christine Bronner, Christophe Eaux, Annett Wania, et plus particulièrement à Estelle Baehrel et Elise Beck pour l'aide dans la mise en forme finale.

A Odile Opériol pour la reproduction de cette thèse et sa disponibilité de tous les instants.

Au professeur Jean-Claude Muller, Université de Bochum, pour nos échanges sur la cartographie multimédia lors de ses passages successifs à Strasbourg.

A Martin Fugler pour avoir accepté de relire ma thèse avec minutie et qui m'a prouvé qu'un historien est bien plus qu'une « personne qui enseigne la géographie ».

A mes parents et mes sœurs pour avoir supporté mes humeurs et mes absences.

A Virginie, pour sa patience lors des moments difficiles et ses encouragements quotidiens :
« Ca y est, cette thèse est enfin écrite !... »

Sommaire

Introduction générale	7
Première partie – Bases conceptuelles	11
Chapitre 1 - Le Temps	13
Chapitre 2 - Le Mouvement	25
Seconde partie – De la collecte à la structuration des données	33
Chapitre 1 - Une insuffisance des données disponibles	38
Chapitre 2 - Une autre approche plus adaptée	56
Chapitre 3 - Une nécessaire modélisation des données : affiner et reconstruire <i>a posteriori</i>	67
Troisième partie – Une première approche des mouvements quotidiens par la géovisualisation	114
Chapitre 1 – Un état de l’art et ses implications	116
Chapitre 2 – D’une cartographie « traditionnelle » à un outil de géovisualisation : une application à l’Aire Urbaine Belfort-Montbéliard	191
Conclusion générale	213
Bibliographie	217
Annexes	233
Annexes multimédia	



Préface

Ce travail de recherche a été initié par une Convention Industrielle de Formation par la Recherche en Entreprise (CIFRE) ayant pour partenaires le Laboratoire Image et Ville (UMR 7011, CNRS-ULP), l'Agence d'Urbanisme du Territoire de Belfort (AUTB) et la Maison du Temps et de la Mobilité (MTM), structure associative en pleine création bénéficiant du soutien de la DATAR et du Conseil général du Territoire de Belfort pour son lancement.

Ma fonction au sein de la structure m'a conduit à mener et coordonner les études et recherches sur toutes les missions d'observations et de représentations des temporalités urbaines. Elle a nécessité une forte implication, avec pour objectif premier un état des lieux précis des dimensions spatiales et temporelles de la ville de Belfort, afin d'identifier des évolutions et des désynchronisations entre l'offre et la demande de services notamment. Représenter le temps et les mouvements est essentiel pour une bonne compréhension du fonctionnement des territoires et pour la réalisation de diagnostics préalables à la mise en place de politiques temporelles (Gwiazdzinski et *al.*, 2001). Cette approche consiste, d'une part, en la constitution de bases de données spatio-temporelles adaptées et, d'autre part, en des représentations dynamiques de l'espace étudié ; elle se décompose en :

- Une analyse de l'offre urbaine d'activités et de mobilité avec collecte et structuration d'informations spatio-temporelles associées à des représentations cartographiques utilisées comme outils de négociation et d'aide à la décision. Cette analyse est menée dans le cadre de projets de recherches nationaux (Predit) et européens (*Equal*, *Trascom* et *Sure*).
- Une analyse des besoins de la population dans le but d'identifier les dysfonctionnements, un préalable indispensable pour initier un autre objectif de l'association, l'expérimentation de solutions innovantes et adaptées.

Cette expérience enrichissante m'a permis d'avoir une connaissance globale et appliquée des questions des nouvelles temporalités urbaines, et plus particulièrement de la partie diagnostic et représentation. Elle a impulsé les grandes orientations suivies dans cette thèse de doctorat avec une volonté marquée pour un développement par l'image et l'animation.

Introduction générale

La qualité de vie – caractérisée par un bien-être physique, moral et social – s'impose aujourd'hui comme un nouveau critère d'attractivité pour les territoires des sociétés modernes. En milieu urbain, la lutte contre la pollution et les nuisances sonores, ainsi que l'amélioration des déplacements, sont les éléments majeurs déterminant cette qualité. Toutefois, les changements dans les rythmes quotidiens, consécutifs à l'évolution des modes de vie et de travail, impliquent de fortes pressions temporelles. La ville, autrefois rythmée par le classique et simple triptyque « métro-boulot-dodo », est dorénavant en activité quasi permanente avec des habitants qui partagent les mêmes territoires, mais souvent selon des temporalités différentes. La coexistence de ces groupes peut être caricaturée par la cohabitation d'une ville qui travaille, d'une ville qui dort et d'une ville qui s'amuse, avec les interactions et les conflits que cette association peut engendrer. Aussi, l'étude de la qualité de vie doit se faire non seulement en termes d'organisation humaine et spatiale, mais aussi en prenant en compte sa dimension temporelle. En conséquence, chercheurs et acteurs du territoire doivent reconsidérer et mieux prendre en compte l'approche temporelle et son rapport à l'espace. Ainsi, réussir à concilier les temps de la ville, de ses habitants et de ses services est-il devenu un des enjeux contemporains d'une bonne qualité de vie.

Ces profondes mutations temporelles ont des impacts importants sur l'espace, notamment au niveau de la mobilité, qui se manifestent par un étalement urbain et un éclatement des territoires quotidiens, autant d'éléments à prendre en compte pour améliorer la qualité de vie aussi bien en termes de gestion urbaine que d'organisation des transports. C'est pourquoi, dès le début de ce millénaire, la question du temps est devenue une préoccupation majeure pour les politiques et pour les aménageurs, préoccupation qui s'est concrétisée en 1999 avec

le lancement par la DATAR⁶ (Délégation à l'Aménagement du Territoire et à l'Action Régionale) d'un groupe de prospective dénommé « Temps et Territoires » en vue de développer une réflexion et une expérimentation dans le domaine des politiques temporelles pour les acteurs locaux. À la suite de divers rapports établis pour le gouvernement (Bailly et Heurgon, 2001, Hervé, 2001), un constat unanime s'est dégagé : la nécessité de représenter les espaces-temps quotidiens – en particulier, urbains – pour disposer d'une bonne connaissance des phénomènes à l'œuvre. Mais, si l'on en croit J.-M. Offner (2000), « la géographie des espaces-temps, qu'implique l'analyse des mobilités spatiales, reste en quête de représentations graphiques pertinentes ». Malgré quelques travaux précurseurs (principalement la *Time Geography*), il semble que peu de recherches, malheureusement, aient porté sur les questions de représentation des espaces-temps quotidiens. Cette lacune pourrait tenir à la difficulté de croiser les dimensions spatiales et temporelles, c'est-à-dire à celle de trouver une réponse cartographique aux questions fondamentales de la géographie – Où ? et Pourquoi ? – en les associant à la question : Quand ?

Face aux deux volets de ce constat – nécessité mais absence de représentations – cette thèse s'attache à développer une nouvelle approche centrée sur la représentation des espaces-temps afin de disposer d'un support-clé de visualisation, d'analyse et de communication des structures et processus de l'espace géographique. À travers le cas des mouvements quotidiens urbains, cette recherche propose une démarche méthodologique (un raisonnement construit et reproductible) et des outils pour explorer, représenter et analyser la ville dans toutes ses dimensions (spatiales, temporelles et thématiques). Trois verrous, scientifiques et techniques, pour des études spatio-temporelles sont explorés de manière approfondie :

- **l'insuffisance des informations spatio-temporelles urbaines** qui induit la nécessité de construire des données adaptées ;
- **la structuration de données spatio-temporelles** permettant de joindre thème, espace et temps ;
- et **leur représentation** tant en structure qu'en processus.

L'objectif final est de proposer des solutions aux acteurs politiques afin qu'ils puissent échanger et se concerter de manière aisée et conviviale pour aboutir ainsi à des décisions cohérentes et claires. L'idée que sous-tend cette recherche est que des décisions ne peuvent être prises et une concertation ne peut être efficace que si les échanges et les discussions s'appuient sur un ou des documents concrets. En ce qui concerne des problèmes spatiaux, seule la carte (et l'image de manière plus large) répond à cette demande.

Or, confrontées à la complexité des dynamiques urbaines, les approches géographiques et cartographiques classiques s'avèrent inappropriées, tant il semble impératif d'intégrer dans la démarche les potentialités des technologies informatiques les plus récentes qui, par leur puissance et leurs possibilités, permettent d'envisager des usages exploratoires, analytiques

⁶ Remplacée par la DIACT (Délégation Interministérielle à l'Aménagement et à la Compétitivité des Territoires) depuis un décret du 31 décembre 2005.

et communicatifs pour la carte. Cette volonté est renforcée par les atouts de la visualisation scientifique qui forme un ensemble d'outils et de techniques permettant de résoudre des problèmes en utilisant les technologies actuelles (Earnshaw et *al.*, 1992) et de rendre visible l'invisible (McCormick et *al.*, 1987).

A l'instar des conceptions de W. Tobler ou de D.R.F. Taylor, nous avons retenu un raisonnement et une communication centrée sur l'image par rapport à d'autres approches : « voir » et « comprendre » reposent sur l'idée, que pour tout problème géographique, les représentations cartographiques ou spatialisées sont essentielles. Les cartes – et de manière plus générale les représentations spatiales – sont ainsi considérées comme les outils de recherche privilégiés du géographe.

Après avoir avancé et décortiqué des solutions théoriques, nous les avons appliquées à l'espace sur lequel nous avons travaillé dans le cadre de notre convention CIFRE, à savoir le secteur de Belfort-Montbéliard. En effet, dans cette thèse, il ne s'agit pas de vérifier une hypothèse précise mais de mettre au point une démarche reproductible et des outils permettant de mieux connaître un territoire au niveau des déplacements quotidiens ou d'autres activités. Elle est donc clairement orientée vers l'action, et l'application à la zone Belfort-Montbéliard constitue en quelque sorte une mise à l'épreuve de la démarche développée.

Le plan retenu dans cette thèse correspond aux grandes étapes de cette démarche. En effet, la première partie s'attachera à clarifier les bases conceptuelles qui sous-tendent notre approche du temps et de la mobilité, afin d'explicitier la problématique et de préciser les axes de recherche. La deuxième partie fera porter la réflexion sur les données pertinentes : recensement de celles qui sont disponibles, enquêtes pour les étoffer puis modélisation pour les compléter, les structurer en vue d'optimiser leur(s) visualisation(s). La troisième partie, enfin, permettra une approche théorique de la visualisation des données, avec ses implications. Elle sera suivie d'une application à l'Aire urbaine de Belfort-Montbéliard, mettant en évidence les principales possibilités de la démarche.

Première partie
Bases conceptuelles

Introduction

Une vie humaine consiste en une succession d'activités – travail, vie familiale, activités de consommation, pratique de loisirs, établissement puis maintien de liens sociaux etc.– qui nécessitent simultanément temps et espace, tout en n'étant, souvent, disponibles que de manière limitée : à des moments et dans des localisations spécifiques. Les activités de consommation possibles dans une zone commerciale entre 10h et 20h du lundi au samedi en sont un exemple.

Certaines activités quotidiennes s'avèrent des activités clés, à effectuer en temps contraint (travail, activités domestiques...) ; d'autres, à l'inverse, peuvent être différées en fonction du temps disponible (loisirs...). Cet assemblage d'activités successives – formant l'emploi du temps journalier – est permis par les moyens de transport et de communication. Cette articulation, souvent délicate, atteste le rôle important du temps dans l'utilisation de l'espace par l'homme. Pourtant, quoique son appréhension, en lien direct avec l'espace, soit indispensable lorsqu'on cherche à aborder le quotidien des espaces anthropisés, la géographie humaine ne lui a porté qu'une attention très limitée. Souvent implicite, la notion de temps se retrouve tout de même dans les idées de reproduction sociale, de changement, d'évolution et même à travers les permanences.

Espace et temps apparaissent ainsi comme deux facettes fondamentales de l'existence du réel. Aucun phénomène ne leur échappe et tout ce qui peut intéresser les géographes est situé non seulement dans l'espace mais aussi dans le temps. Or jusqu'à ces dernières années, l'élément prépondérant dans l'étude du développement et du fonctionnement des espaces et des territoires restait la dimension spatiale, tandis que n'était accordé – du moins explicitement – que peu de place (et de temps) au facteur temps.

Chapitre 1 - Le Temps

Souvent comparé à un « Fleuve irrésistible », portant de la vie à la mort, le temps s'impose à l'homme comme « une force puissante », part indéniable de la vie de chacun. Mais s'il n'a longtemps été abordé que sporadiquement par les géographes, c'est notamment que, par sa complexité, il pose nombre de problèmes aussi bien de conceptualisation que de représentation.

1. Une notion si familière et pourtant si complexe

Avant d'approfondir cette notion, il faut d'emblée écarter la signification météorologique du terme puisque cette recherche porte un intérêt au temps qu'il est et non au temps qu'il fait. Toutefois, si l'on en croit H. Barreau (1996), ce sens météorologique serait dérivé du sens premier et pourrait être expliqué par le fait que « la température et le climat d'un lieu varient [...] en fonction du temps, entendu au sens propre ».

Terme, si familier pour chacun de nous, le temps reste pourtant mal connu. Saint-Augustin le souligne fort bien dans les *Confessions* en montrant le paradoxe éprouvé par tout un chacun, bien qu'ayant conscience du temps, on n'arrive ni à l'expliquer ni à le définir. Or l'expérience et l'épreuve du temps est quotidienne, car sans lui, notre existence n'aurait ni texture, ni vécu, ni projet. Partagé entre un sentiment d'espoir et d'inquiétude, nous ressentons le temps de manière ambiguë. E. Klein (1995) confirme cet état par une série d'adjectifs deux à deux « antonymiques », caractérisant le temps comme simultanément « évident et impalpable,

substantiel et fuyant, familier et mystérieux ». Cette suite d'oppositions illustre la complexité de toute tentative de définition unanime du temps.

1.1. Définir le temps

Considéré comme une question philosophique par excellence, le temps est « suprême loi de la nature » pour A. Eddington, « indicible » pour Saint Augustin mais « absolu » pour I. Newton ou « relatif » pour A. Einstein. Tandis que, si l'on en croit E. Kant, il « n'est autre que la condition subjective de notre intuition, en lui-même, en dehors du sujet, le temps n'est rien ». Concept complexe car interdisciplinaire, il peut aussi bien être utilisé en physique qu'en philosophie, en sociologie qu'en biologie, en psychologie ou en histoire et bien entendu en géographie. Mais ses définitions varient avec les domaines considérés.

Si le mot « temps » semble intelligible par tous, le concept en lui-même ne l'est pas, impliquant grandes confusions et égarements dès qu'on tente de le saisir de plus près (Saint-Augustin, *Confessions XI*, 14). Pour autant, ces diverses disciplines scientifiques l'interrogent sans relâche tant sur sa nature que sur ses propriétés. Mais si par « définir » on entend ramener une conception donnée à une autre conception jugée plus fondamentale, le temps ne peut être que difficilement ramené à autre chose qu'à lui-même : qu'y a-t-il de plus fondamental que ce qui est fondamental ? Car c'est bien de cela qu'il s'agit. Les seules explications formulées sont tout au plus des métaphores exprimant le temps par des idées déjà présentes comme « le moyen le plus commode qu'ait trouvé la nature pour que tout ne se passe pas d'un seul coup », ou encore, il est « ce qui se passe quand rien ne se passe ». Cette impossibilité à définir le terme rejoint la notion d'innéisme caractérisant, pour Pascal, les notions premières, le temps étant alors de ces choses qu'il est impossible et même inutile de définir : « Pourquoi l'entreprendre, puisque tous les hommes conçoivent ce qu'on veut dire en parlant de temps, sans qu'on le désigne davantage » (Pascal, *De l'esprit géométrique*, 1728).

Toutefois, ce mot présente une particularité : tout le monde comprend le terme sans qu'il soit nécessaire de préciser davantage ce qu'il signifie, mais tout le monde ignore aussi quelle réalité il cache. Le mot en lui-même semble clair et unanimement accepté, alors que ce qu'il traduit ne l'est pas.

Cette difficile définition s'explique également par le fait qu'on ne peut se mettre en retrait par rapport au temps tel qu'on pourrait le faire avec n'importe quel objet ordinaire, car il n'a pas « d'extérieur ». Bien qu'il puisse être mesuré, nous ne pouvons l'observer à distance, car il continue de nous affecter sans cesse.

Dans les définitions issues de dictionnaires et d'ouvrages généraux, la notion de temps s'exprime par la combinaison du changement et de la permanence, deux termes intégrant eux-mêmes le temps. Deux exemples illustrent ces propos : « Milieu indéfini où paraissent se dérouler irréversiblement les existences dans leur changement, les événements

et les phénomènes dans leur succession » (*Petit Robert*), ou « Milieu abstrait mais mesurable du changement » (*Les mots de la géographie*). Ces deux définitions, comme bon nombre d'autres, mettent en évidence les principaux caractères du temps : la durée – chronométrie – et la succession – chronologie. Pourtant l'identification, l'acceptation de ces deux caractères, n'exclut pas différentes conceptions du temps.

1.2. Concevoir le temps

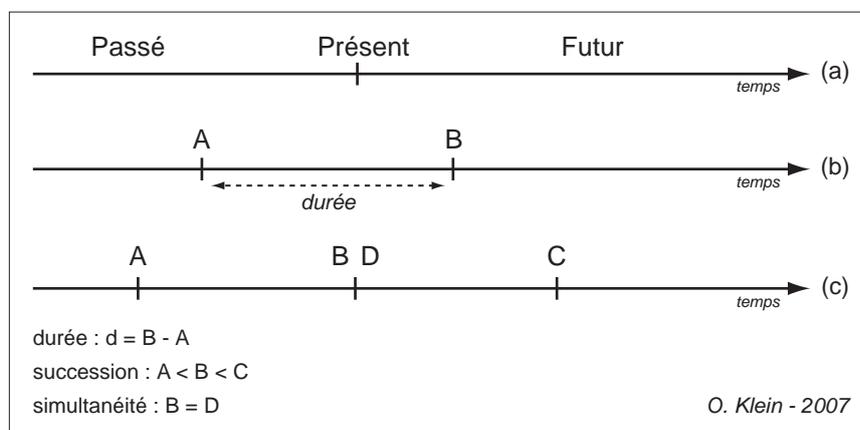
Deux conceptions du temps fondamentalement différentes coexistent. La première, linéaire, amène à situer un événement sur l'axe des temps donné par le calendrier et peut, par exemple, définir les grandes étapes de la vie d'une cité avec sa naissance, sa croissance, sa maturité, son déclin puis sa mort. La seconde, cyclique, consiste à situer des phénomènes et processus répétitifs comme les déplacements quotidiens des habitants d'un territoire considéré.

1.2.1. Temps linéaire, succession et simultanéité

Le temps prend son véritable sens lorsqu'on se remémore le passé ou se projette dans le futur, ce qui délimite trois positions (Figure 1.01-a) :

- un passé, caractérisé par l'histoire, la mesure de ce qui passe et les souvenirs ;
- un présent, défini par l'action ;
- un futur, fait de prévisions et d'anticipations pour approcher une attente incertaine.

Figure 1.01 – Conception linéaire du temps : entre passé, présent et futur



De cette vision tripartite découlent trois notions caractéristiques : la durée, la succession et la simultanéité (Figures 1.01-b et 1.01-c). La durée, d'abord, caractérise un espace de temps qui s'écoule par rapport à un phénomène entre deux limites observées (le début et la fin). La succession, ensuite, est un ensemble d'événements ou de phénomènes occupant dans le temps des moments voisins mais distincts de manière à présenter un ordre. La simultanéité, enfin, dépeint des événements distincts rapportés à un même moment de temps.

La conception d'un temps linéaire repose sur le principe de causalité dont une des propriétés s'appuie sur l'antériorité. Elle stipule que la cause d'un effet est toujours antérieure à celui-ci. Dans ce cas, passé et futur sont bien distincts et le temps s'écoule de manière unidirectionnelle et orientée. Toute séquence de temps ne peut être inversée et tout retour vers le passé est impossible. Cette vision du temps conçu tel une succession d'événements, est irréversible comme le temps cosmologique référant à l'histoire de l'origine depuis la création de l'univers, ou celui de l'homme s'appuyant sur le cours de sa vie délimité de part et d'autre par sa naissance et sa mort.

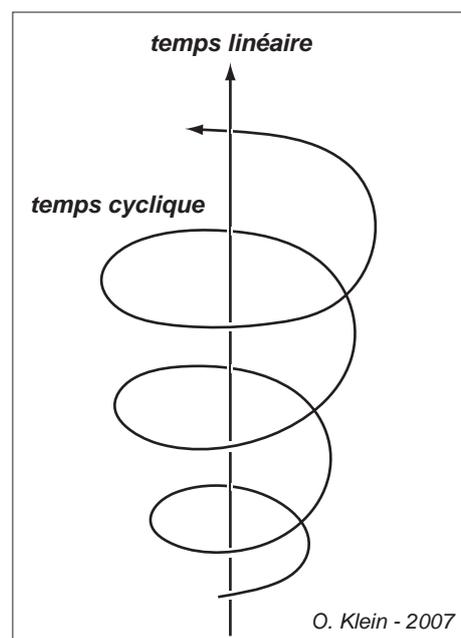
Ces temps linéaires, s'inscrivant dans la longueur, fondent les mécanismes généraux de longues périodes de l'histoire des sociétés et font souvent figure de permanences. Aussi, marquent-ils souvent des changements géographiques lents et irréversibles inscrits dans le long terme : changements physiques de nature géologique ou changements humains, incluant des mutations et des transformations irréversibles de l'espace (phénomènes d'étalement urbain par exemple).

1.2.2. Temps cyclique, répétition et périodicité

Le temps cyclique s'appuie sur « l'éternel retour » (F. Nietzsche), conception selon laquelle le temps présente des apparences de retours périodiques de situations qui peuvent être considérées comme des étapes de cycles.

Spontanément vient à l'esprit un ensemble de mouvements cosmiques comme la rotation de la terre autour du soleil définissant un cycle annuel, ou sa rotation sur elle-même indiquant un cycle journalier. Ce temps astronomique est marqué par la répétition de l'alternance de saisons et de levers/couchers du soleil délimitant des journées de longueurs variables sur un cycle annuel. Ces changements rythmés, réguliers et cycliques influencent la vie sur terre et déterminent la survie d'espèces biologiques selon leur capacité à

Figure 1.02 – Conception cyclique du temps : un éternel recommencement



s'adapter et à suivre ces rythmes. Il n'est pas nécessaire d'être spécialiste en chronobiologie pour constater que, chez l'homme, beaucoup de processus vitaux présentent un caractère répétitif, cyclique, formant un rythme biologique, répétition à intervalles de temps égaux ou sub-égaux de phénomènes identiques ou semblables (Millet et Manachère, 1983) : rythme cardiaque, alternance veille/sommeil ou même dépression saisonnière.

En géographie, beaucoup de mouvements sont cycliques (cycles annuels de migrations par exemple : pâtures, vacances...). Leurs cycles ne sont pas forcément d'égale répétition, période après période : ainsi, pour des migrations régulières, la même route est suivie année après année avec d'éventuels petits changements. Dans la société contemporaine, le mouvement circulaire se concentre et se structure autour de deux pôles organisant la vie de chaque actif : le domicile et le lieu de travail. Afin de décrire ces phénomènes oscillatoires, le vocabulaire peut être emprunté aux physiciens, avec notamment l'emploi des termes de période, d'amplitude et de phase pour caractériser les rythmes anthropiques, et plus particulièrement les rythmes urbains.

1.2.3. Temps événementiel, exception et particularité

Quelle que soit la conception du temps, un changement peut se produire sur une courte période, perturbant son cours ; il est qualifié d'événement. Dans un sens très général, l'événement caractérise ce qui se produit avec un caractère peu commun. Par exemple, dans la presse, il désigne un fait d'actualité notable et, en histoire, un fait notable qui mérite d'être relaté par les historiens.

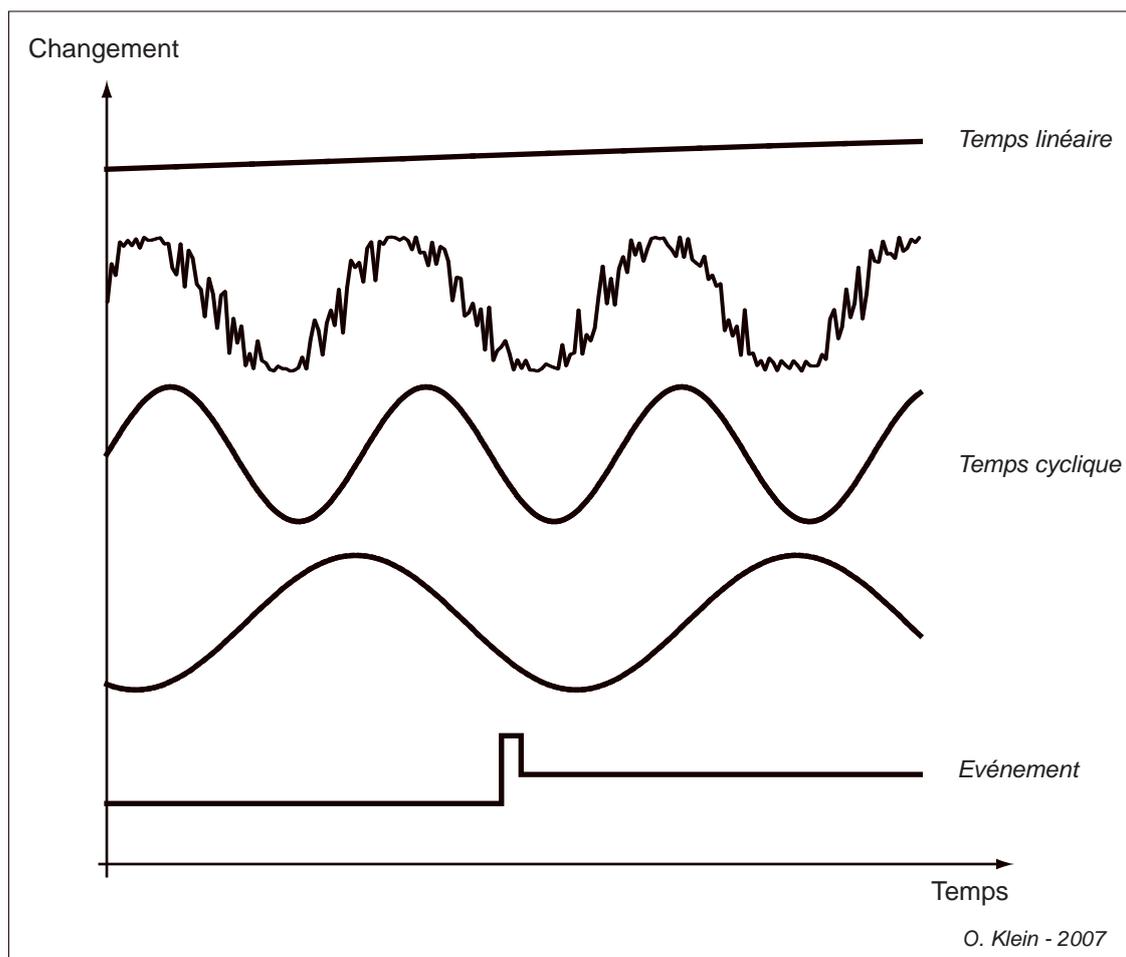
Dans notre approche, l'événement est en lien avec les deux conceptions explicitées plus haut et caractérise un fait qui peut survenir à un moment donné, pouvant former une rupture dans le cours des choses de manière relativement soudaine. Il peut simplement être défini comme une courte période de temps au cours de laquelle apparaît une nouveauté. Il dénote un élément temporel localisé qui rompt avec le cycle quotidien. L'événement est généralement localisé dans des espaces limités par rapport à l'ensemble considéré. Par conséquent, d'un point de vue géométrique, il peut alors être défini par un point dans l'espace-temps repéré par une localisation associée à un moment et matérialisé par le quadruplet (x,y,z,t) .

Par exemple, si l'on considère un match de football à Sochaux-Montbéliard, cet événement est caractérisé par la localisation de la rencontre – au Stade Auguste Bonal – et par le moment où débute le match – coup d'envoi le samedi 21 avril 2007 à 20h.

1.2.4. Coexistence des formes de temps

Ces différentes conceptions du temps coexistent et se matérialisent dans l'espace par la juxtaposition d'échelles temporelles (Figure 1.03) : des temps longs et linéaires comme les temps géologiques ou historiques de la ville, des temps courts et cycliques – succession des saisons, temps quotidiens... – auxquels se superposent des événements dont les périodes sont plus ou moins longues (jour, semaine ou année).

Figure 1.03 – Coexistence de différents temps



De ces empilements de temps naissent divers processus pouvant modifier peu à peu les permanences.

1.3. Mesurer le temps

Pour conceptualiser la notion de temps, il est nécessaire de le rendre apparent, de pouvoir le représenter et le mesurer. Par la mesure, cette notion prend une marque quantitative et apparaît comme une possibilité d'ordonner des événements successifs.

Selon le niveau de précision de l'étude menée et l'échelle considérée, les unités de mesure sont modifiées allant du temps de l'évolution – à l'échelle géologique – chiffré en millions d'années aux temps quotidiens exprimés en minutes ou en secondes. Ainsi, l'échelle des temps géographiques s'étend approximativement de 1 à 10^{15} secondes.

En cherchant à mesurer le temps, il est nécessaire d'introduire, comme le souligne F. Vernotte (2003), les notions de « temps-durée » et « temps-date » pour marquer la distinction entre unité et échelle de temps : l'étalon de temps définit l'unité de temps-durée – la seconde – tandis que l'horloge compte les unités de temps et définit le temps-date – l'échelle de temps. Une particularité linguistique renforce la confusion et l'ambiguïté entre ces deux notions, du fait que dans la langue française, il n'existe pas de distinction. Ainsi, lorsqu'une personne affirme qu'elle est présente en un lieu depuis deux heures, sans éléments supplémentaires, on peut se poser les questions suivantes : « Est-elle présente depuis une durée de deux heures » ou « A-t-elle passée deux heures ici ? ». D'autres langues permettent la distinction, comme l'anglais ou l'allemand, avec *two hours* et *two O'clock* ou *zwei Stunden* et *zwei Uhr*.

Le temps peut être mesuré par des instruments indiquant soit la date, comme un calendrier ou une montre, soit des durées fixes comme un sablier ou une clepsydre.

1.4. Représenter le temps et le rapporter à l'espace

Implicite, le mouvement des aiguilles de nos montres nous incite à assimiler le temps à un flux composé d'instantanés infiniment proches parcourus les uns après les autres. L'heure lue sur l'horloge lie l'espace au temps par la position spatiale des aiguilles. Alors que les cadrans confortaient une conception cyclique du temps, l'affichage numérique renforce une conception linéaire accentuée encore par la technique puisqu'au remontage quotidien s'oppose la pile. Dans cette représentation spatiale du temps qui en permet la mesure, il est constitué d'une variable à une dimension avec une topologie plus pauvre que celle de l'espace puisqu'un seul nombre suffit à déterminer une date. Selon la conception adoptée, la représentation du temps s'effectue par une courbe unidimensionnelle orientée qui peut être ramenée soit à un segment de droite, soit à un cercle, exprimant respectivement un temps linéaire ou cyclique. Cette représentation du temps relie fortement ce dernier à l'espace. Ce lien semble même naturel à l'homme. Ainsi, lorsqu'on dit que Strasbourg est situé à 2h20 de Paris en TGV, on rend compte d'une réalité bien plus riche qu'en faisant simplement allusion aux 500 km qui séparent les deux villes.

Espace et temps possèdent un certain nombre de similitudes. Ainsi, aux termes à référence spatiale « ici » et « là » peuvent correspondre respectivement dans le temps « maintenant » et « alors » (« alors » pouvant faire référence à un temps du passé ou du futur). Tandis que spatialement il existe des relations euclidiennes ou topologiques, le temps fait l'objet d'une mesure quantitative – une échelle d'intervalle ou de rapport selon les cas – et qualitative – une échelle ordinale (avant, pendant, après). Espace et temps présentent

également des divergences. Alors que dans l'espace, on peut se mouvoir vers n'importe quel endroit et revenir au point initial, la position dans le temps est imposée. Repasser par le même instant, tout comme rétro-agir sur un élément passé, est impossible.

En géographie, l'association des termes temps et espace paraît implicite, car ces deux composantes sont de véritables supports de la vie sociale qui ne peuvent être séparés. En effet, toute activité humaine consiste à utiliser l'espace et le temps en fonction d'objectifs et d'actions choisies ; Temps (quand ?) et Espace (où ?) sont structurés autour d'intentions et d'activités (quoi ?).

2. Temps social et temps urbain

Sur un même espace, et particulièrement dans nos cités, diverses temporalités coexistent et se superposent en des lieux identiques : des temps longs (à l'échelle de la géologie) mais aussi des temps beaucoup plus courts (à l'échelle du quotidien) ainsi que des temps très courts (accidents) pouvant impliquer des bouleversements immédiats. Derrière cet empilement historique, des processus journaliers viennent perturber et modifier petit à petit les permanences.

Au jour le jour, les rythmes de la vie – individuels ou collectifs (toutes les organisations) – sont en pleine mutation. Longtemps synchronisés par le travail, ces rythmes ont aujourd'hui tendance à se différencier par d'autres activités, qui s'imbriquent et complexifient les temps quotidiens. Cette évolution s'inscrit au cœur d'une tension entre une volonté croissante d'autonomie des individus qui veulent choisir leurs emplois du temps et le risque d'une dilution du lien social par une fragmentation des temps quotidiens.

Conséquence de la flexibilité du travail, renforcée par l'émergence et le développement des technologies de l'information et de la communication (téléphone portable, internet), les temps quotidiens urbains s'individualisent. C'est la fin du « 8h – midi » et « 14h – 18h » qui dictait la vie courante des actifs citadins. Cette évolution des rythmes perturbe les rapports à l'espace, interrogeant l'organisation et le fonctionnement des territoires, tant du point de vue économique que social ou culturel.

2.1. Evolution du temps de travail et des temps sociaux

Avec la fin des horaires rigides classiques et la réduction du temps de travail, le temps consacré au travail n'est plus qu'un temps de vie comme les autres, et de surcroît, de plus en plus court dans la vie des habitants des pays développés, compte tenu du temps moyen de formation et de l'allongement de la durée de vie.

La fin de ce monopole du temps consacré au travail sur les autres temps d'activités a des conséquences directes sur les temporalités et les rythmes urbains, marqués par un certain nombre de désynchronisations. En effet, une nouvelle demande émerge au sein de la population, avec des besoins en dehors des horaires classiques de fonctionnement, auxquels l'offre urbaine, calquée sur des temporalités classiques, ne semble pas répondre. Ces décalages de plus en plus nombreux – mais qui commencent toutefois à être réduits – s'expliquent par une forte individualisation des temps. Chacun aspire à mieux organiser sa vie, à gagner du temps libre, à optimiser la gestion du temps de sa vie personnelle. Alors qu'hier, les horaires du travail scandaient les rythmes de la ville, aujourd'hui ce sont les activités hors du travail, de plus en plus nombreuses qui génèrent de nouvelles formes d'horaires. Partant d'un temps de travail réduit, les salariés ont une aspiration croissante à avoir du « temps à soi », et parmi les principales conséquences directement observables, un lissage progressif des pics de trafic identifiés par un certain nombre d'opérateurs de transport comme la RATP (J.P. Bailly et E. Heurgon, 2001). Les conséquences sur l'exploitation des lignes se manifestent par des heures de pointe avec des amplitudes ayant tendance à se stabiliser mais sur des périodes beaucoup plus longues.

Alors qu'en France, le temps de travail sur une vie représentait 50 % du temps disponible en 1900, il n'en représente plus que 11 % aujourd'hui (Viard, 2003). De manière générale on peut extraire de l'enquête « Emplois du temps » de l'INSEE réalisée en 1998-1999, les grandes tendances suivantes. Tout d'abord, le temps physiologique, semble rester prédominant, avec une stabilité autour d'une douzaine d'heures par jour. Ensuite, le temps domestique (environ 3h30) recule de quelques minutes tout comme le temps de travail professionnel, qui, diminuant d'environ un quart d'heure, atteint un peu moins de 3h30 par jour (durée moyenne incluant les actifs et les inactifs). A l'inverse le temps libre croît et équivaut à 4h30 environ en 1999.

A partir d'autres enquêtes menées, entre autres, par la DARES, l'INSEE, le Certu et l'institut Chronopost, il semble que l'organisation horaire d'une journée type n'ait pas été bouleversée par la mise en place des 35 heures. Sauf quelques exceptions, les modalités de mise en place de la RTT paraissent plus souvent aménagées sous la forme de demi-journées ou journées complètes récupérées que sous celle d'un raccourcissement de la journée de travail. Aussi, les modifications des usages du temps porteront donc davantage sur la semaine ou sur l'année qu'au sein même d'une journée. Par contre, selon ces mêmes enquêtes, les temps travaillés ont tendance à se diversifier :

- un français salarié sur deux change d'horaires de travail tous les jours ;
- plus de la moitié des hommes et deux tiers des femmes travaillent selon des horaires non modifiables imposés par l'entreprise ;
- 14 % des salariés travaillent la nuit ;
- plus de la moitié des salariés travaillent le samedi et près d'un tiers le dimanche ;
- 12 % des actifs travaillent entre 5h et 9h, et 7 % entre 19h et 23h ;
- seul 8 % des salariés peuvent choisir leurs horaires de travail parmi plusieurs horaires.

Selon D. Méda et R. Orain (2002), pour 40 % des salariés les changements portent principalement sur l'organisation temporelle de la sphère privée avec, notamment, la réalisation de tâches domestiques lors du temps dégagé par la RTT. Mais, toujours selon les mêmes auteurs, le temps passé avec les enfants se serait beaucoup accru depuis la RTT, et ce, de manière quasi équivalente pour les hommes et les femmes – 63 % des femmes et 52 % des hommes ayant des enfants de moins de douze ans – en permettant de leur consacrer soit un jour de la semaine, soit plusieurs jours lors des vacances scolaires. Les autres tendances dégagées par l'enquête « emploi du temps » montrent que les salariés mettent à profit le temps dégagé pour se reposer (4 femmes sur 10 et 1 homme sur 3).

Tous ces changements de rythmes ont des conséquences spatiales et temporelles sur l'organisation de la ville, entre autres :

- émergence de **nouvelles demandes** et de **nouvelles fréquentations** des équipements et services urbains ;
- apparition de **nouvelles pratiques de mobilité** en dehors des périodes classiques de pointe.

Cette variabilité des horaires et ces nouveaux rythmes des populations urbaines ont pour conséquence que le schéma classique de fonctionnement avec le triplet « métro-boulot-dodo » laisse sa place à une totale désynchronisation des temps sociaux et un éclatement des temporalités.

2.2. D'un éclatement des temporalités à de nouveaux temps contraints

Une multitude de temps collectifs ou individuels, professionnels ou privés, familiaux ou sociaux viennent rythmer le quotidien des villes. Par conséquent, les citoyens doivent en permanence s'adapter et endosser des rôles multiples tout au long de leur journée, passant tour à tour du statut de salarié à celui de parent, de conjoint(e), d'usagers des transports en commun, de consommateur...

Cet éclatement des temporalités individuelles et collectives, principalement lié à la flexibilité du travail, aux horaires atypiques et à une individualisation des rythmes de vie, conduit à la recherche de nouveaux équilibres temporels, en particulier entre la vie privée et la vie professionnelle. Malgré ces nouvelles temporalités, certains moments forts résistent pour l'instant et continuent, au moins partiellement, à structurer les temps urbains comme le travail (même s'il perd son exclusivité), la vie privée et les loisirs.

Parallèlement, d'autres temporalités, plus exceptionnelles, re-synchronisent la ville, temporairement, comme les manifestations sportives ou culturelles, les spectacles ou autres fêtes urbaines. Ces temps festifs peuvent être considérés comme des éléments re-synchronisateurs temporaires de la société qui exigent, pour participer, une coprésence spatiale et temporelle. Cependant, du fait des progrès des moyens de communication et de la présence

de certains médias diffusant en direct (télédiffusion ou internet), la coprésence spatiale tend à disparaître, même si virtuellement des millions, voire des milliards, de personnes vivent l'événement de manière synchronisée depuis des lieux divers. A des moments exceptionnels, toute la société s'arrête de fonctionner et se synchronise autour d'événements majeurs, que ce soit pour des tragédies qui s'insèrent dans le quotidien de manière non programmée comme les attentats du *World Trade Center* relayés dans le monde entier par les images de la chaîne américaine *CNN*, ou les rencontres de l'équipe nationale de football (les 5 meilleures audiences télévisuelles en France : entre 18 et 22 millions de téléspectateurs⁶).

Reflets et conséquences de ces évolutions, les tensions et conflits spatio-temporels se multiplient, plus particulièrement dans les nuits urbaines (Gwiazdzinski, 2002). Dans certains quartiers, la cohabitation entre « la ville qui dort, la ville qui travaille et la ville qui s'amuse » pose de nombreux problèmes.

2.3. Aménager les espaces-temps : une nécessité centrale des bureaux des temps

Grâce à l'évolution du temps travaillé et plus particulièrement à la mise en place des 35h, les gens disposent de plus en plus de temps libre, mais souvent à des moments différenciés. Cette mutation a des conséquences importantes sur toute la société et particulièrement sur les villes nécessitant une révision de leurs fonctionnements pour assurer une meilleure qualité de vie à leurs habitants.

Avec les 35h apparaît dans les problématiques d'aménagement, un intérêt marqué pour la dimension temporelle sous l'impulsion, notamment, d'instances gouvernementales comme la DATAR ou la DIV (Délégation Interministérielle à la Ville). Cette attention se développe à l'image des réflexions et des politiques temporelles mises en place dans la plupart des pays européens. Initiées en Italie dans les années quatre-vingts, ces réflexions s'expliquent par l'arrivée massive des femmes sur le marché du travail induisant nombre de problèmes liés à l'inadéquation horaire des services publics et des commerces. La mise en place de législations et la création de bureaux du temps dans toutes les grandes villes italiennes ont permis de réajuster et d'adapter en partie l'offre urbaine aux nouveaux besoins des habitants.

En France, une réflexion similaire a débuté à la fin du XX^e siècle. Elle se manifeste au niveau institutionnel avec l'*article 1, alinéa 7, de la Loi Aubry II* (2000), selon lequel les présidents de structures intercommunales peuvent mener une réflexion sur la réorganisation des temps des services publics de leurs territoires.

⁶ Source : Médiamétrie, 2006.

Loi Aubry II, article 1, alinéa 7

« Dans les agglomérations de plus de 50 000 habitants, le président de la structure intercommunale, en liaison, le cas échéant, avec les maires des communes limitrophes, favorise l'harmonisation des horaires des services publics avec les besoins découlant, notamment du point de vue de la conciliation entre vie professionnelle et vie familiale, de l'évolution de l'organisation du travail dans les activités implantées sur le territoire de la commune ou à proximité.

A cet effet, il réunit, en tant que de besoin, les représentants des organismes ou collectivités gestionnaires des services concernés et les met, le cas échéant, en relation avec les partenaires sociaux des entreprises et des collectivités afin de promouvoir la connaissance des besoins et de faciliter la recherche d'adaptation locale propre à les satisfaire ».

Le soutien de cette démarche par la DATAR a pris la forme de deux groupes de prospective, mis en place en 2000, ayant pour thème le lien entre temps et territoire : « Temps libre et dynamique spatiale » et « Temps et territoires ». Le second groupe a été conçu pour combiner réflexion théorique et action sous la forme d'expérimentations menées avec des collectivités locales partenaires (Datar, 2001). L'une, lancée sur quatre territoires pilotes (les villes de Saint-Denis et de Poitiers ainsi que les départements du Territoire de Belfort et de la Gironde) ensuite rejoints par six autres, choisis en fonction de la diversité de leurs échelles (villes, agglomérations, pays, départements et un parc naturel régional), vise à mettre en place des initiatives publiques de coordination de temps dans les territoires, financées à hauteur de 50 % par l'état au moyen du FNADT (Fond National d'Aménagement et de Développement du Territoire) et à 50 % par les collectivités locales.

L'idée de ces bureaux ou agences des temps consiste en une volonté de revitalisation de certains quartiers en essayant de réadapter le territoire aux rythmes des habitants à travers des réponses nées de la négociation. Certaines de ces négociations ont pour but de rendre plus compatibles les temps individuels et collectifs et de trouver ensemble des solutions ; elles prennent la forme de tables rondes réunissant tous les acteurs concernés, ceux qui dictent les temps et les représentants de ceux qui les subissent : services de transports, services publics, écoles, crèches, syndicats, associations d'usagers ou de consommateurs.

Désormais, la vie urbaine quotidienne n'est plus articulée exclusivement autour des régimes horaires industriels, institutionnels et religieux ; les citoyens font face à des désynchronisations croissantes de leurs horaires se traduisant en temps contraints et temps subis. Aussi l'enjeu des politiques temporelles consiste-t-il principalement en une amélioration du fonctionnement de la ville et en une recherche d'harmonisation d'horaires pour faciliter la vie quotidienne des citoyens. Les horaires décalés, 35h ou autres RTT créent non seulement de nouvelles temporalités mais aussi de nouveaux besoins et de nouvelles demandes alors que, paradoxalement, face à cette multitude de changements, l'offre semblait, jusqu'à une époque très récente, inchangée et inadaptée. Par suite, et entre autres, l'accessibilité, tant aux services et diverses activités qu'aux transports, doit être repensée.

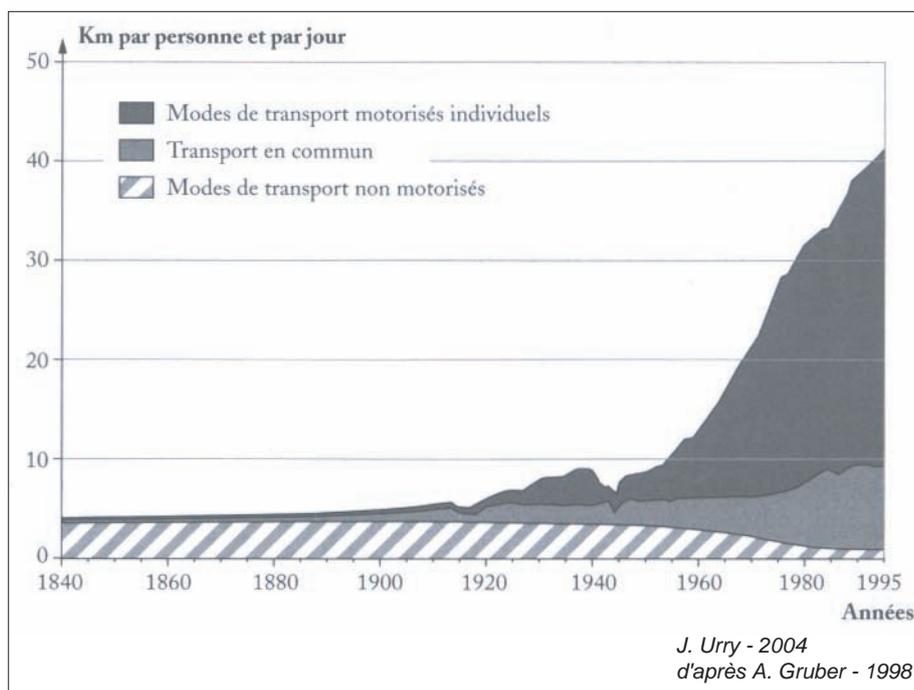
Chapitre 2 - Le Mouvement

Un mouvement ou un déplacement n'est pas une fin en soi ; un motif l'explique nécessairement même s'il correspond à une balade ou une promenade. « On ne se déplace pas pour se déplacer » (Berthet, Royon, 2002). Par conséquent, la mobilité – notamment quotidienne – apparaît comme une participation à la vie sociale en ayant des activités extérieures à son domicile.

Avec l'individualisation croissante des modes de vie, ajoutée aux transformations des rythmes quotidiens, des répercussions sur l'espace apparaissent entraînant, entre autres, une recomposition des territoires. Les effets les plus significatifs se manifestent sur les localisations résidentielles, sur le choix d'implantation des commerces et entreprises et donc sur les pratiques de mobilités.

La ville grandit, s'étale. Les territoires quotidiens individuels éclatent, conséquence de ces nouveaux rythmes de vie et des progrès des moyens de transports. Cet étalement urbain va de pair avec la croissance des mobilités et l'augmentation des performances de vitesse des moyens de transport (Marchetti, 1991), renforçant l'éloignement du domicile, du lieu de travail et/ou des lieux de loisirs. La distance moyenne entre les personnes formant un réseau croît non seulement avec la motorisation mais également du fait d'évolutions technologiques comme l'internet ou la téléphonie mobile (Axhausen, 2002). Or plus la répartition des lieux de résidence et d'activités de chacun est étendue, plus les rencontres en face à face nécessitent des trajets longs (Gruber, 1998 ; Urry, 2004 - Figure 1.04).

Figure 1.04 – Un allongement des distances quotidiennes parcourues



Cet éclatement des temps et des territoires implique aujourd'hui une mobilité accrue pour réaliser des programmes d'activités de plus en plus étendus spatialement et de moins en moins réguliers. Changements de rythmes, changements de temps : ces nouveaux régimes temporels – identifiés plus haut – ont des répercussions majeures mais difficiles à identifier sur les pratiques de mobilité.

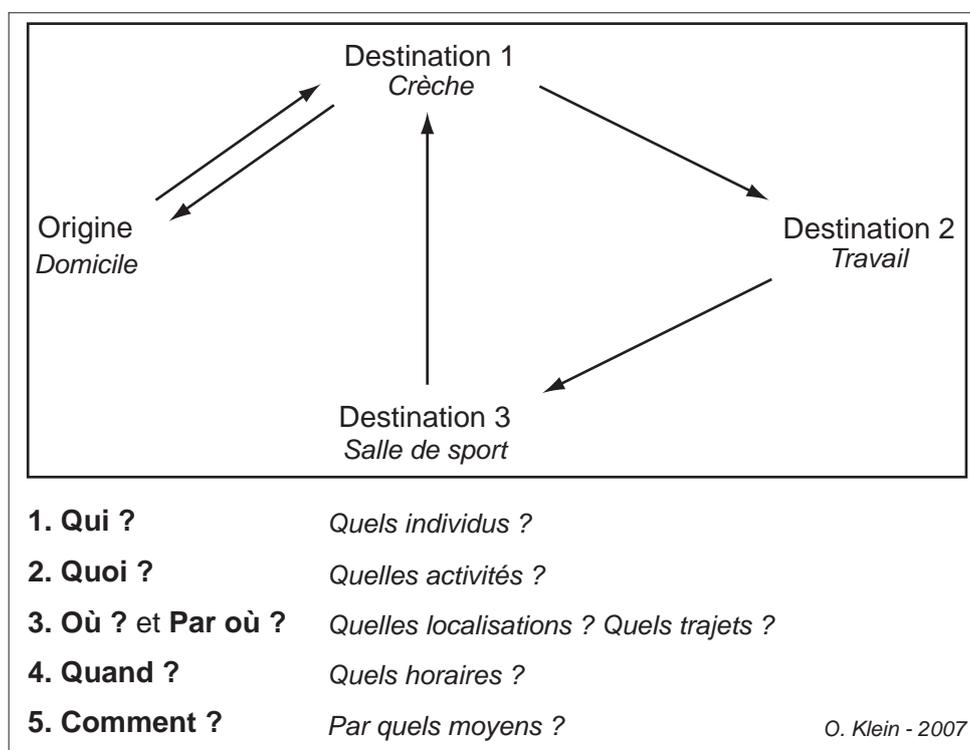
Les concepts de mouvements, de déplacements et de mobilités ne peuvent être dissociés du temps : sans la dimension temporelle, le monde serait figé et si le temps venait à s'arrêter, les mouvements et autres mobilités seraient amenés à disparaître. Ce truisme apparent justifie notre propos : le temps est un élément nécessaire pour mesurer et représenter les mouvements.

1. Mouvement, mobilité, déplacement : un vocabulaire à clarifier

Pour éviter toute ambiguïté, il convient de préciser certains concepts et notamment de différencier trois termes aux significations voisines. Le **mouvement** (de *movere*, à partir de *mew*, pousser) correspond à un changement de position dans l'espace, en fonction du temps, par rapport à un système de référence. Il peut désigner un ensemble de déplacements (circulation, trafic...), il est au cœur des dynamiques de nos sociétés, socialement, économiquement et urbanistiquement (Ascher, 2004). En géométrie, un **déplacement** est une isométrie, une transformation, qui conserve les distances et les angles orientés. Dans un sens plus général,

c'est le mouvement qui fait passer d'un point à un autre de l'espace un objet ou une personne : un changement de place, l'action de déplacer ou de se déplacer, éventuellement le résultat de cette action. La **mobilité**, quant à elle, caractérise ce qui peut se mouvoir ou être mû, changer de place, de position. C'est la forme du mouvement qui s'exprime par le changement de position – géographique ou sociale. La mobilité géographique peut être faite de déplacements quotidiens récurrents avec une période plus ou moins longue, ou de déplacements durables avec changement de résidence et bon nombre de situations intermédiaires. Enfin, la **chaîne d'activités** décline l'enchaînement d'activités par des personnes de manière séquentielle. Chaque séquence d'une chaîne d'activité est localisée, bornée spatialement (entre une origine et une destination) et temporellement. De la même manière, la chaîne de déplacement décline l'enchaînement des déplacements effectués par un individu (figure 1.05).

Figure 1.05 – Mobilité quotidienne et chaîne d'activités et de déplacements



2. Typologie des formes de mobilité

Définie précédemment comme le caractère de ce qui peut changer de position, la mobilité peut être géographique ou non, donc concerner l'espace ou non.

2.1. Mobilités a-spatiales

Principale composante des mobilités non spatiales, la mobilité sociale est un des thèmes majeurs de la sociologie contemporaine. L'intérêt pour cette question s'explique par la contradiction, dans les sociétés industriellement avancées, entre leur idéal d'égalité et

la réalité marquée par une forte inégalité des chances d'abord face à l'instruction d'abord, ensuite face à l'emploi en fonction des caractéristiques du milieu d'origine. Cette mobilité non géographique conserve un vocabulaire emprunté à la discipline : « mobilité sociale », « changement de position sociale », « espace social ».

De manière plus précise, chercher, en étudiant le devenir des individus selon leur origine sociale, à les situer par rapport à leurs positions sociales au cours de leurs vies correspond à la mobilité intragénérationnelle ; comparer leur statut à celui de membre des générations antérieures, comme leur père ou mère, se rapporte à la mobilité intergénérationnelle.

Etudier la mobilité sociale, c'est notamment se demander dans quelle mesure les statuts sociaux sont héréditaires : plus ils le sont, moins la mobilité est grande. Cette forme de mobilité peut être professionnelle, elle se traduit alors par un changement de profession ; quant à la mobilité du travail, elle correspond au temps passé en moyenne dans un même établissement.

La mobilité sociale représente un enjeu idéologique majeur. L'égalité des chances qui y conduit est, en effet, un des fondements de la société démocratique ; pourtant, elle reste aujourd'hui limitée dans les faits car la reproduction sociale s'avère encore très forte (33%), même si la mobilité sociale nette est croissante.

2.2. Mobilités spatiales

Les mobilités a-spatiales (sociales, professionnelles et du travail) peuvent alimenter la mobilité géographique lorsqu'elles impliquent, notamment, un changement de lieu.

Les activités constituent le moyen par lequel les individus satisfont à leurs besoins et désirs. En se plaçant dans le cadre d'un urbanisme fonctionnel, chaque quartier de la ville a une fonction particulière et des activités spécifiques (zones résidentielles, industrielles, commerciales...) ; ceci induit des conséquences spatio-temporelles importantes puisqu'on se retrouve face à un partage des lieux et de leurs heures d'utilisation. Ainsi, tel quartier se vide, tel autre se remplit à des intervalles réguliers ou non. Ce schéma relativement simplifié d'une vie urbaine en pleine mutation implique des besoins de mobilité de natures diverses selon leur rapport à l'espace et au temps.

D'après les travaux de V. Kaufmann (2000), les mobilités spatiales se structurent autour de leurs composantes spatiales et temporelles. Première possibilité, l'intention d'un retour à court terme, donc un déplacement circulaire (aller et retour) ou, au contraire, l'absence d'intention de retour à court terme et donc un déplacement linéaire (origine/destination). Deuxième possibilité, une structuration sur la portée spatiale du déplacement, celui-ci pouvant soit être interne au bassin de vie et d'emploi de l'individu considéré, soit, au contraire, impliquer un changement de bassin de vie (figure 1.06).

Figure 1.06 – Classification des mobilités selon les échelles spatiales et temporelles

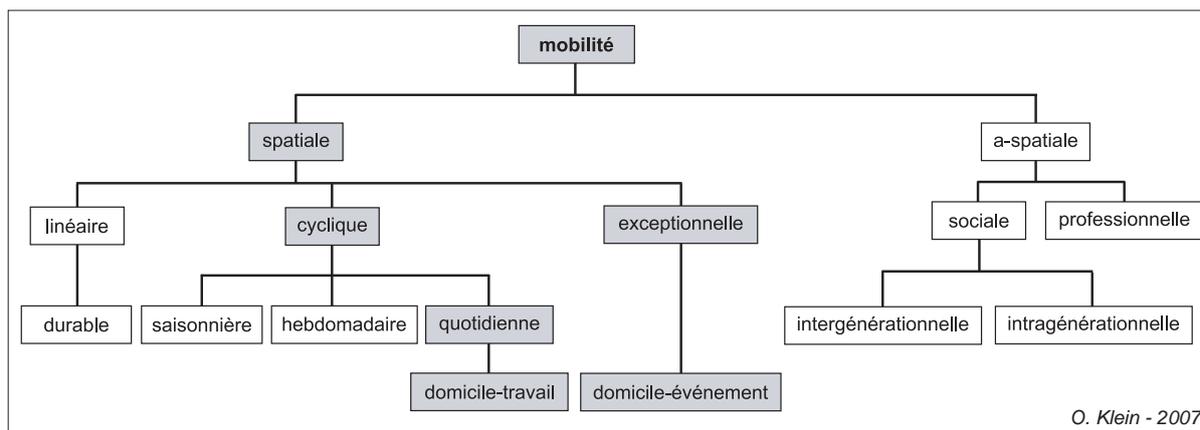
		Espace	
		Interne au bassin de vie	Externe au bassin de vie
Temps	Mouvement cyclique (Temps court)	<i>Mobilité quotidienne</i>	<i>Voyage</i> <i>Déplacement d'une durée supérieure à un jour</i>
	Mouvement linéaire (Temps long)	<i>Mobilité résidentielle</i>	<i>Migration</i>

O. Klein - 2007
d'après V. Kaufmann - 2000

A partir de ces deux composantes, 4 types de mobilité peuvent être distingués en fonction des échelles spatiales et temporelles :

- la **mobilité quotidienne** : ensemble des déplacements effectués de manière régulière ;
- le **voyage** : ensemble des déplacements hors du bassin de vie impliquant une intention de retour à court terme ;
- la **mobilité résidentielle** : changement de localisation résidentielle interne au bassin de vie sans intention de retour à l'origine (du moins à court terme) ;
- la **migration** : changement de localisation étendu avec une installation hors du bassin de vie sans intention de retour à court terme.

Toutes ces formes de mobilité – spatiales ou non – peuvent être classifiées selon une arborescence à plusieurs niveaux (figure 1.07). Mais, dans cette recherche, l'attention se porte principalement sur les migrations quotidiennes, notamment domicile-travail, ou celles, plus exceptionnelles, liées à des événements en se focalisant sur la dernière chaîne du déplacement menant vers l'événement.

Figure 1.07 – Classification hiérarchique des mobilités

3. Une approche des mobilités quotidiennes et événementielles

La mobilité devient plus diffuse spatialement – conséquence, entre autres, de l'étalement urbain et de la diversification des origines/destinations – et temporellement – avec la désynchronisation des rythmes quotidiens. De ce fait, chaque individu parcourt quotidiennement un ensemble de territoires disjoints au sein d'un véritable archipel urbain.

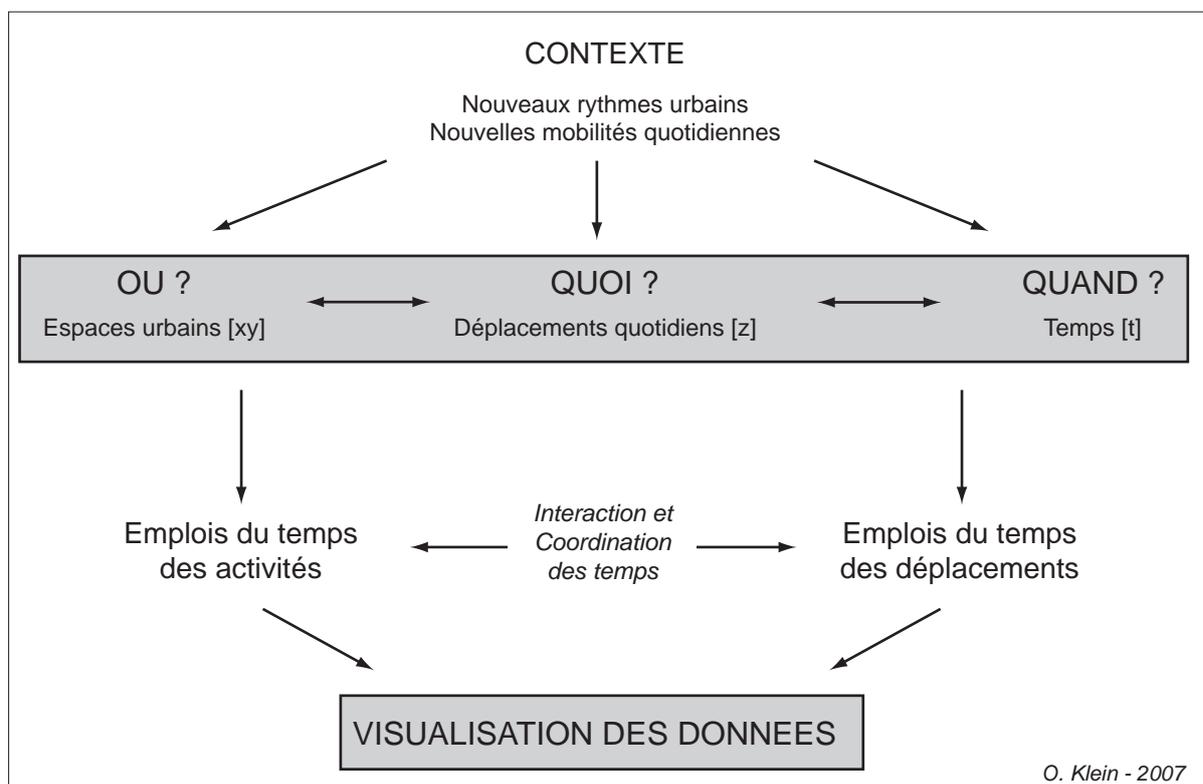
Avec l'individualisation des modes de vie et des temps quotidiens, les motifs de déplacement se transforment. Une analyse comparée de plusieurs enquêtes-ménages-déplacements, menées sur des villes de province aux profils semblables par le Certu, montrent une tendance au recul du motif « travail » qui ne représente plus qu'un quart des déplacements alors que les motifs « achats, loisirs et sorties » augmentent pour atteindre près d'un déplacement sur deux. Cette tendance à la mobilité hors travail croît et devient complexe, variée, aléatoire ou « zigzagante » comme la dénomment les chercheurs italiens. Les activités au cours d'une journée sont réorganisées et les programmes d'activités quotidiennes se complexifient. Cette complexité qui réside dans l'augmentation de ce temps des loisirs se matérialise par la multiplication des déplacements occasionnels difficilement prévisibles.

Parmi ces temps de loisirs, la ville est le théâtre d'événements répétitifs ou exceptionnels qui génèrent des déplacements qui viennent se greffer sur les habituels flux quotidiens. Ces flux non habituels sont moins connus et plus difficiles à cerner que les flux habituels car ils sont influencés, en particulier, par des variables exogènes telles que la météo ou les médias.

Conclusion

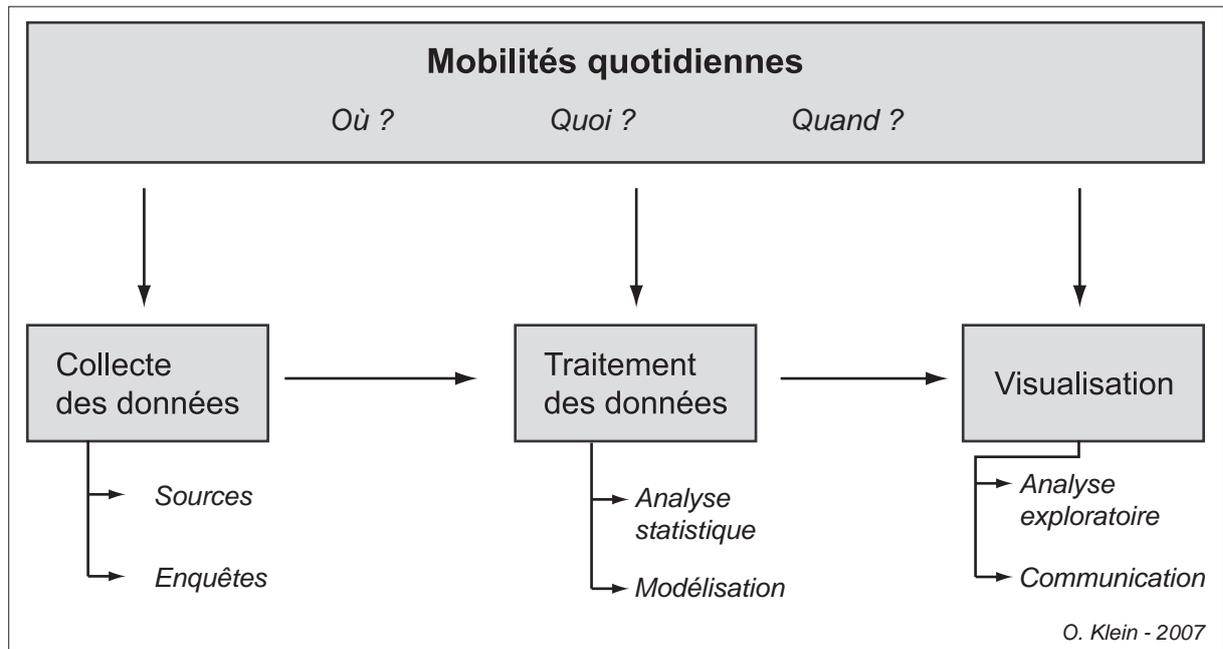
Plus complexes, plus diffuses voire plus chaotiques, les mobilités quotidiennes doivent être appréhendées en intégrant explicitement la dimension temporelle - le « quand ? » et le « combien de temps » - pour mieux explorer, mieux comprendre et mieux communiquer les réalités de la dynamique quotidienne et les emplois du temps des individus (figure 1.08).

Figure 1.08 – Visualiser les emplois du temps des activités et des déplacements



La mise en place d'une telle démarche avec une volonté d'approche synoptique - permettant de voir l'ensemble d'un seul « coup d'oeil » - à partir des emplois du temps des activités et des déplacements s'organise autour de trois étapes de recherche successives : l'identification et la collecte de données adaptées permettant de répondre à nos besoins, puis leur traitement et leur modélisation pour enfin aboutir à une visualisation adéquate (figure 1.09).

Figure 1.09 – Schéma général de la démarche



Seconde partie

De la collecte
à la structuration des données

Introduction

La problématique étant à présent explicitée, il convient d'avancer dans la démarche proposée en collectant les données nécessaires, préalable indispensable pour atteindre notre objectif principal : visualiser les mouvements quotidiens urbains.

Face au constat unanime de mobilité croissante et généralisée, identifié à un niveau national, dans la première partie, il est nécessaire de vérifier localement, à l'échelle d'une agglomération ou d'une aire urbaine, la réalité de ces déplacements quotidiens. Les données à collecter doivent permettre d'aborder la ville aussi bien dans sa globalité – à un niveau macroscopique – pour explorer les tendances et les dynamiques générales sur l'ensemble de l'aire d'étude, qu'au travers de ses composantes les plus fines – à un niveau microscopique – à savoir ses ménages et ses habitants avec leurs trajectoires individuelles et leurs territoires vécus. Cette double contrainte doit être présente à l'esprit lors du choix des données potentiellement utilisables, avec une préférence pour une finesse maximale aussi bien spatiale que temporelle, autorisant une agrégation ultérieure.

Au quotidien, la ville est composée de nombreux éléments en interaction témoignant, entre autres, d'une dynamique sans relâche. Néanmoins, nous avons choisi de restreindre notre approche aux activités et aux déplacements quotidiens de ses habitants, laissant ainsi, notamment de côté, le transit de populations non résidentes dans la zone d'étude, les questions des mouvements de marchandises, d'informations ou de capitaux. Etant adaptative, la démarche proposée permettra une intégration ultérieure de toutes ces données, si nécessaire.

Par ce choix, visualiser la ville en mouvement revient ici à appréhender sa composante « mobilité quotidienne » qui prend en compte l'ensemble des déplacements reliant les activités humaines chaque jour.

Du point de vue des informations nécessaires, les activités peuvent être abordées par les trois questions fondamentales de la géographie : Quoi ? – nature de l'activité, Où ? – la localisation – et Quand ? – les horaires de début et de fin (Figure 2.01).

Figure 2.01 – Caractéristiques des informations « activité » à collecter

Questions	Information à collecter
Quoi ?	- activités quotidiennes (établissements et lieux d'activités)
Où ?	- localisation des lieux d'activités
Quand ?	- heures de début et de fin d'activités

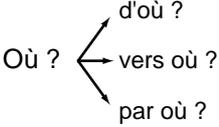
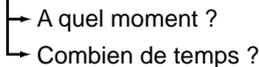
O. Klein - 2007

Le déplacement, quant à lui, est envisagé comme un élément de transition permettant d'effectuer successivement des activités distantes spatialement et de satisfaire ainsi un certain nombre de besoins. Il peut être défini comme le mouvement qu'effectue une personne en fonction d'un but entre une origine et une destination, selon un horaire de départ et d'arrivée, à l'aide d'un ou plusieurs moyens de transports. L'approche des déplacements quotidiens est ici restreinte au sens premier du terme, à savoir l'action de « changer quelque chose de place » et son résultat. En faisant intervenir la notion de mouvement entre un point de départ et un point d'arrivée, les données de déplacement sont bien plus complexes à cerner que celles liées aux activités localisées. L'ensemble des éléments qui les caractérisent et qui sont nécessaires à leurs visualisations est regroupé sur la figure 2.02.

Dans cette conception du déplacement, le seul objectif envisagé est de rallier la destination, aussi rapidement que possible, pour enchaîner les différentes activités. Par conséquent, les activités ayant pour finalité la mobilité (promenades, balades...) ne sont pas prises en compte. Dès lors, pas de place pour une mobilité sans but et pourvue d'une certaine lenteur. Aussi, « la capacité, [lors du déplacement] de prendre son temps ou de s'attarder lorsqu'une chose le mérite » (Sansot, 2003) ne peut être intégrée. De ce fait, pas de place pour les vadrouilles, flâneries ou autres déambulations dans les rues ou les parcs à la découverte de la ville (Sansot, 1973).

Le déplacement n'est aujourd'hui plus un temps mort. Il est devenu le siège d'un grand nombre d'activités nomades, essentiellement rendues possibles par le développement et la démocratisation des Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication (NTIC). Téléphonie mobile, internet sans fil (avec notamment la technologie *Wireless Fidelity*, plus connue sous l'acronyme *Wi-Fi*) ou encore d'autres technologies numériques, ont pour points

Figure 2.02 – Caractéristiques des informations « déplacement » à collecter

Questions	Information à collecter
Qui ? et avec qui ?	- individus / ménages • caractéristiques associées (âge, profession...) - individus en co-présence
Quoi ?	- activités quotidiennes • établissements et lieux d'activités
Où ? 	- localisation de la résidence des habitants - localisation des activités quotidiennes - tracé des déplacements entre activités • origine(s) • destination(s) • itinéraire(s) entre origine(s) et destination(s)
Quand ? 	- constitution des emplois du temps quotidiens • jours et horaires des activités • jours et horaires des déplacements • temps de trajets
Pourquoi ?	- motifs de déplacements
Comment ?	- modes de déplacements

O. Klein - 2007

communs d'accélérer le déplacement – au moins du point de vue de sa perception –, de le densifier, voire même de supprimer toute notion de distance grâce à un don virtuel d'ubiquité. En effet, tout en se déplaçant physiquement, d'un lieu à un autre, l'individu nomade a la possibilité d'assurer une coprésence et une connexion simultanées à des lieux multiples et éloignés. Cet éventail technologique renforce bien l'idée de pression temporelle accrue pour un grand nombre de personnes qui cherchent à rentabiliser au maximum le moindre temps mort. Ceci permet également de définir des activités secondaires – attributaires – aux déplacements (responsable profitant des embouteillages pour planifier sa journée avec sa secrétaire tout en buvant le café calé dans son accoudoir, etc.). Toutefois, pour ne pas surcharger et trop complexifier les contraintes de collecte de données, ces éléments n'ont pas été intégrés à la démarche pour le moment. Néanmoins, un ajout ultérieur, au moyen d'une enquête spécifique, reste envisageable et possible.

Il faut maintenant voir si les informations identifiées sur les figures 2.01 et 2.02 existent localement au sein d'organismes, si elles sont accessibles, disponibles et utilisables ; dans le cas contraire, un approfondissement des techniques d'obtention de données correspondant réellement à nos besoins s'avérera indispensable.

Cette seconde partie s'attache donc à rechercher les données nécessaires à notre objet d'étude non seulement parmi les sources existantes, mais aussi à l'aide d'enquêtes associées dans les cas où l'information serait incomplète ou trop partielle. Nous expliciterons ensuite des procédures permettant de compléter ces sources à l'aide de la modélisation afin de générer de l'information complémentaire. Enfin, nous aborderons également la question de la structuration des données – modélisation des données dans un Système de Gestion de Bases de Données – préalable indispensable à la visualisation ultérieure.

Chapitre 1 - Une insuffisance des données disponibles

Au sein des problématiques urbaines, la question des temps quotidiens n'a pas suscité de nombreuses créations ou mises en place d'enquêtes et/ou de bases de données. A l'exception des approches très globales, aussi bien spatialement que thématiquement, avec une orientation sociologique marquée, comme les enquêtes de l'institut Chronopost (Moutel, 2002), les données sur les temps et mouvements quotidiens font cruellement défaut. Celles qui existent sont à la fois peu nombreuses, éparses, clairsemées et, dans la plupart des cas, elles ne répondent pas ou ne sont pas adaptées aux informations nécessaires identifiées précédemment (Figures 2.01 et 2.02).

Toutefois, en appréhendant ce qui existe, deux types d'organismes fournisseurs de données peuvent être distingués :

- ceux qui collectent des données pour plusieurs destinataires – c'est leur vocation – avec des enquêtes qui répondent à une problématique plus large, plus facilement en adéquation avec un grand nombre de thématiques et qui peuvent donc nous intéresser. *A contrario*, ces données étant destinées à un vaste public (aussi bien des aménageurs et des géographes que des sociologues, des démographes ou tout autre chercheur en sciences humaines ayant pour objet d'étude l'homme), elles se révèlent rarement adaptées à une discipline spécifique.
- ceux qui collectent des données pour des besoins internes spécifiques, répondant à leurs besoins propres, mais qui autorisent ensuite un accès à ces données sous certaines conditions.

1. Les organismes officiels fournisseurs de données

Nous mettons tout de suite de côté la question de la collecte de sources cartographiques – la question du fond de carte – dont les bases de données suivent des standards reconnus définis par l’Institut Géographique National et qui sont homogènes sur l’ensemble du territoire national. A l’échelle de l’Aire urbaine Belfort-Montbéliard, ce sont essentiellement les bases de données *BD Carto*[®] et *Georoute*[®] qui sont utilisées.

Alors que plusieurs enquêtes et fichiers décrivant les activités et les déplacements existent à des échelles nationales, l’approche a été restreinte aux enquêtes et bases de données ayant une assise spatiale locale, c’est-à-dire relative à la zone d’étude considérée : l’Aire urbaine Belfort-Montbéliard-Héricourt-Delle. Il s’agit essentiellement des données de l’Insee et de celles de l’Enquête Ménages Déplacements du Certu.

1.1. L’Insee

Organisme principal en charge de la production et de l’analyse des statistiques officielles en France, l’Institut National de la Statistique et des Études Économiques (INSEE) dispose de deux types de bases de données ou d’enquêtes qui correspondent à nos besoins : le fichier « Communes... Mobilités » et l’enquête « Emploi du Temps ».

1.1.1. Le fichier Communes... Mobilités

Fichier issu de l’exploitation principale du Recensement Général de la Population (RGP), la base « Communes... Mobilités » correspond au traitement d’un élément particulier du bulletin individuel du recensement rempli par chaque individu. A vrai dire, si l’on met à part les informations d’état civil, de résidence, de formation et de profession, figurent également sur ce bulletin deux questions qui ont spécifiquement pour objet un élément prépondérant des mobilités quotidiennes : les déplacements domicile-travail (Figure 2.03). Grâce à ces questions portant sur l’adresse du lieu de travail et le mode de transport le plus souvent utilisé pour ce déplacement, nous disposons de premiers éléments fort intéressants.

Lors de la collecte des données, notamment pour la question 18 de la fiche individuelle du recensement, l’Insee dispose à l’échelle de l’individu d’une localisation précise – à l’adresse – à la fois des lieux de résidence et des lieux de travail. Néanmoins, du fait des dispositions mises en place par la Commission Nationale Informatique et Libertés (CNIL), ces données de mobilité ne sont accessibles et exploitables qu’à l’échelle de la commune. Par conséquent, chaque déplacement est défini par un couple de communes, et l’ensemble des individus qui effectuent une même liaison origine-destination forme un flux. En revanche, la superficie des communes étant relativement inégale, cet effet de taille biaise la quantification de ces migrations alternantes, étant donné qu’il est statistiquement plus fréquent de quitter une petite

commune qu'une grande pour aller rejoindre son lieu de travail.

Ces données, publiées à l'échelle communale, sont associées à des caractéristiques telles que l'âge (exprimé en 9 modalités), le sexe et le moyen de transport utilisé (Figure 2.04). Les flux entre communes sont donc décrits par des variables qui portent sur l'ensemble ou une partie des individus se déplaçant (Figure 2.05). A noter que l'on retrouve la même structure de fichier pour les mobilités quotidiennes domicile-étude.

Bien que l'information soit exhaustive, comme pour toutes les données issues du Recensement Général de la Population de 1999, l'absence de dimensions temporelles – avec des horaires ou des plages horaires de travail par exemple – et l'agrégation spatiale à l'échelle de la commune, ne nous permettent pas d'appréhender avec finesse les espaces-temps quotidiens urbains. Sauf

Figure 2.03 – Extrait du RGP

18. Où travaillez-vous ?

a. **Adresse de votre lieu de travail :** (Ex : 18, boulevard Pasteur)
Si travail à domicile, indiquez « à domicile »
si travail chez un particulier, indiquez « particulier »
Si lieu de travail variable, indiquez « variable »

■ **Est-ce dans la commune où vous résidez ?**
(ou dans l'arrondissement s'il s'agit de Paris, Lyon, Marseille)
 OUI NON

Si non, indiquez la commune où vous travaillez : (précisez l'arrondissement)
 Commune : _____

Département : _____
(pays pour l'étranger)

b. **Nom (ou raison sociale) de l'établissement qui vous emploie ou que vous dirigez :**

c. **Adresse de cet établissement,** si elle est différente de celle déclarée à la question 18 a.

d. **Activité de cet établissement :**
Soyez très précis. (Ex : commerce en gros de fruits et légumes, fabrication d'outillage mécanique, etc.)

19. Quel mode de transport utilisez-vous le plus souvent pour aller travailler ?

Pas de transport (*travail à domicile*)

Marche à pied uniquement

Un seul mode de transport

Deux-roues Voiture Transports
 particulière en commun

Plusieurs modes de transport

Source : INSEE - 1999

Figure 2.04 – Description du contenu du fichier Communes...Mobilités

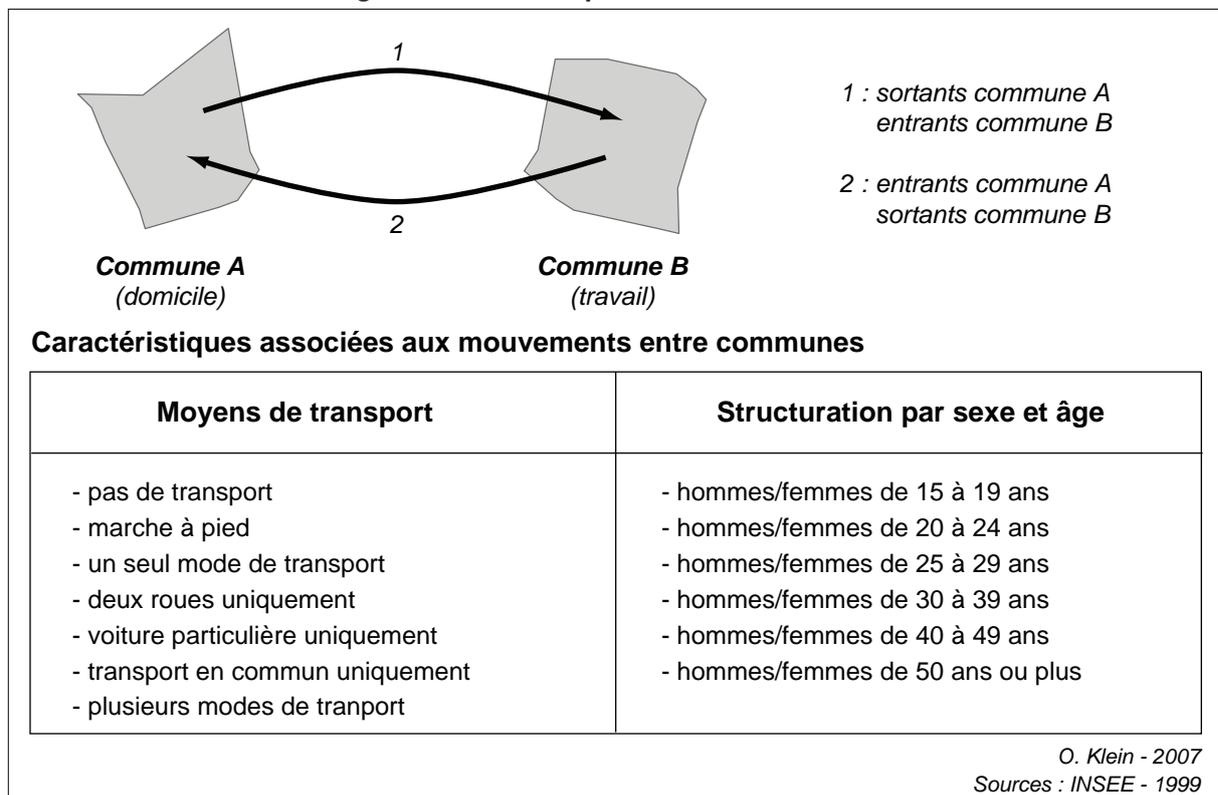


Figure 2.05 – Structure du fichier Communes...Mobilités

Code commune A	Nom commune A	Code commune B	Nom commune B	Sortie de A vers B				...
				Total	Pas de transport	Marche à pied	Un seul mode de transport	
90010	BELFORT	90008	BAVILLIERS	514	2	33	433	...
90010	BELFORT	90009	BEAUCOURT	48	0	0	46	...
90010	BELFORT	90010	BELFORT	12 222	527	3 358	7 099	...
90010	BELFORT	90011	BERMONT	5	0	1	4	...
...

Sources : Fichiers Communes...Mobilités, Recensement Général de la Population Insee - 1999

si, thématiquement, l'étude se limite aux migrations liées aux activités professionnelles quotidiennes. Vision très parcellaire puisque, selon le Certu, celles-ci ne représentent plus qu'un tiers des déplacements quotidiens.

Un autre élément semble également porter à confusion : la distinction entre les migrations quotidiennes et hebdomadaires. En effet, par l'exploitation des données intégrant un calcul des longueurs de trajets des actifs migrants à vol d'oiseau entre les centres moyens de chaque commune, de longues distances séparant domicile et travail apparaissent. Selon J. Talbot (2001), elles cacheraient bien souvent des mobilités hebdomadaires plutôt que quotidiennes pour des actifs ne rentrant chez eux que pour le week-end. Si l'on fixe cette limite spatialement et arbitrairement à 200 km (seule solution possible *a posteriori* avec les données à disposition), elle représente tout de même au niveau national près de 190 000 actifs soit 0,8 % de la population active ayant un emploi en 1999. Néanmoins avec les progrès des transports facilitant les longues migrations quotidiennes, il serait opportun pour l'Insee de disposer d'informations sur les budgets-temps quotidiens consacrés aux transports domicile-travail afin d'ajuster ces relevés.

En définitive, pour une exploration des dynamiques quotidiennes dans leurs dimensions spatiales et temporelles, ce fichier est très limité, voire inadapté. Par contre, il s'avère pertinent et très utile pour l'évaluation des échanges entre territoires, en montrant notamment le poids de certaines liaisons prédominantes ou l'enclavement d'autres territoires. A l'heure actuelle, ces données sur les migrations domicile-travail constituent un des seuls indicateurs fiables pour étudier les échanges, les mouvements et les relations entre des secteurs géographiques à différentes échelles et ainsi définir les bassins d'emplois et de vie des populations.

1.1.2. L'enquête Emploi du Temps

Enquête nationale menée, pour la dernière, en 1998-1999, l'enquête Emploi du Temps, troisième du genre depuis les années 70, s'appuie sur un échantillon de plus de 15 000 personnes interrogées. Même si nous ne disposons avec elle ni de la précision ni de l'échelle spatiale souhaitée (locale), il est pertinent d'aborder cette enquête du fait de l'originalité du traitement du binôme temps/activité : il repose sur le remplissage d'un carnet d'activités par l'ensemble des individus interrogés. Ce carnet s'organise et se complète, en partie, selon une entrée temporelle. Il est ainsi composé d'un agenda découpant une journée de 24 heures en tranches de 10 minutes. Selon F. Dumontier et al. (2002), un tel découpage du temps permet de comparer les activités des individus sans privilégier celles qui, plus visibles, plus intenses ou plus valorisées, seraient aisément déclarées alors que les activités plus quotidiennes et jugées moins valorisantes ou sans intérêt auraient tendance à être oubliées. Le remplissage de cet agenda s'effectue en répondant simplement à la question « qu'avez-vous fait à ce moment-là ? » à chaque tranche horaire considérée en indiquant à la fois les activités principales et secondaires par quelques mots en langue naturelle. Le lieu de réalisation de l'action est ensuite précisé à l'aide d'une liste pré-déterminée et limitée de choix (Figure 2.06). Ces activités sont alors codées selon une nomenclature détaillée en 200 postes environ qui peuvent être regroupés en sept catégories principales – besoins physiologiques, travail professionnel et formation, travaux ménagers, s'occuper des autres personnes, sociabilité, loisirs et trajets – qui à leur tour peuvent être subdivisées en sous-classes plus détaillées.

Figure 2.06 – Enquête Emploi du Temps - Extrait du carnet journalier

	Marquez vos différentes occupations de la journée en indiquant les heures de début et de fin de chaque occupation, à l'aide d'accollades dans la colonne de gauche (voir consignes et exemples)	Faites-vous encore autre chose en même temps ? (Lecture, conversation, radio, télévision, etc.)	Lieu ou trajet				
			Chez soi	Lieu de travail	A l'extérieur	Trajet domicile travail	Autres trajets
7h00	—		0	1	2	3	4
10	—		0	1	2	3	4
20	—		0	1	2	3	4
30	—		0	1	2	3	4
40	—		0	1	2	3	4
50	—		0	1	2	3	4
8h00	—		0	1	2	3	4
10	—		0	1	2	3	4
20	—		0	1	2	3	4
30	—		0	1	2	3	4
40	—		0	1	2	3	4
50	—		0	1	2	3	4
9h00	—		0	1	2	3	4

1. Notez toutes vos activités ou occupations de la journée qui durent au moins 10 min :
- Même celles dont vous estimez qu'elles ne présentent aucun intérêt, ou sont tout à fait inhabituelles.
- Notez vos occupations de manière détaillée (ne mettez pas "ménage", mais subdivisez en lessive, vaisselle, raccommodage, etc.)

2. Si vous faites plusieurs choses en même temps, marquez d'abord la principale puis la secondaire
Par exemple : faire la cuisine en gardant les enfants, regarder la télévision en mangeant, faire la vaisselle en parlant, travailler en écoutant la radio, etc.).

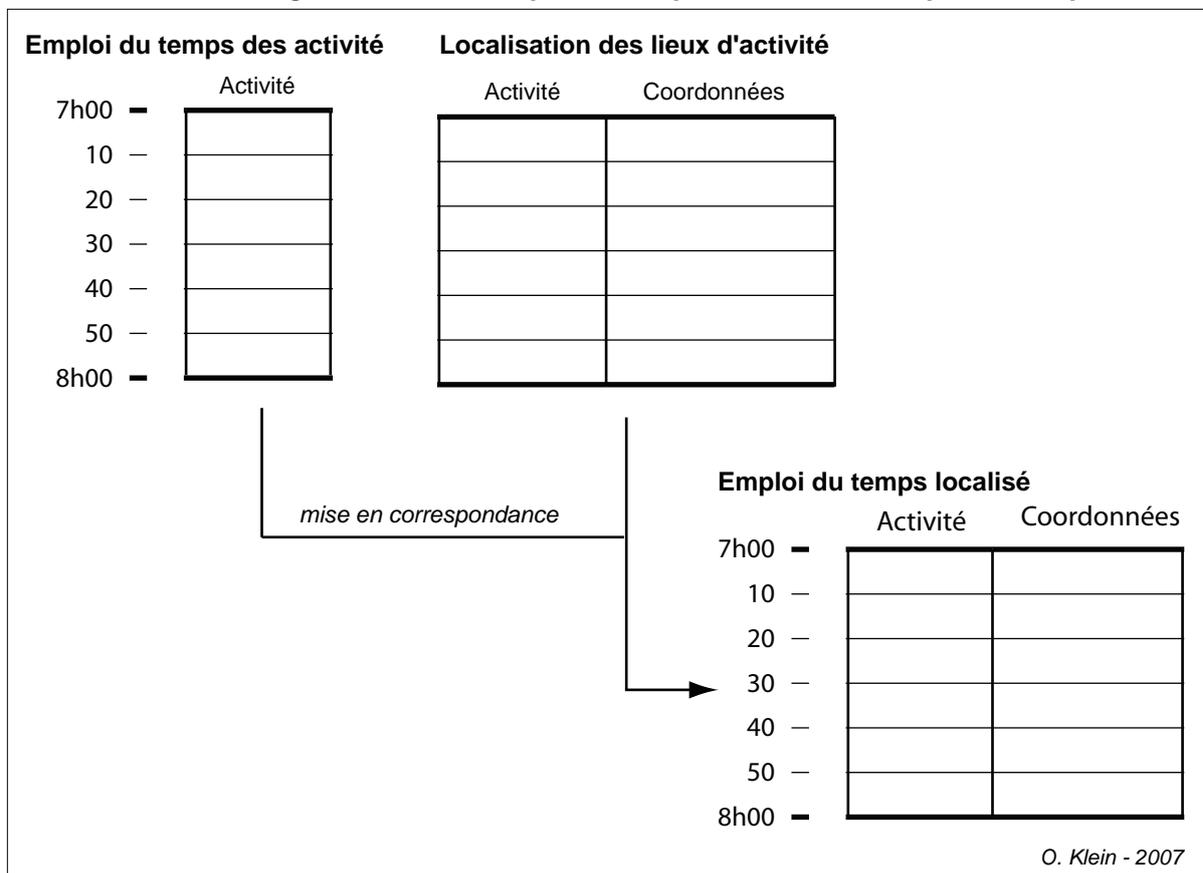
3. Entourez systématiquement le numéro correspondant au lieu ou au trajet où se passe chacune de vos occupations

O. Klein 2007
Extrait de l'enquête Emploi du Temps 1998-1999, INSEE

Ces enquêtes Emploi du Temps sont essentiellement exploitées pour disposer d'une connaissance du temps consacré aux activités quotidiennes, de leurs horaires et de leurs rythmes. L'analyse de l'enquête selon des critères spatiaux est impossible du fait d'informations dont la précision spatiale fait défaut et est exprimée sous forme nominale (« chez soi »,

« lieu de travail », « à l'extérieur », etc.). Pour nombre d'études et de recherches, cette imprécision n'est pas gênante, puisqu'elle a pour objet d'analyser et de mettre en évidence les articulations entre activités professionnelles, domestiques et de loisirs (Dumontier et al., 1999, Passeron, 2002 et Ulrich, 2002). De surcroît, certains auteurs (Stopher, 1992, Pas et Harvey, 1997, et Noble, 2001) se contentent de cette dimension spatiale relativement floue et utilisent tout de même les enquêtes Emploi du Temps comme une source de référence pour aborder les déplacements quotidiens. Mais cette exploitation se limite pour l'essentiel à des calculs d'indicateurs mesurant la mobilité à l'aide de la dimension temporelle : temps moyen consacré au transport, indicateur de mobilité/d'immobilité (Armoogum et al., 2005), etc. Comme nous l'avons déjà signalé, ces enquêtes souffrent d'un manque de précision spatiale pour une exploration spatio-temporelle riche. Si nous disposions d'une localisation à l'adresse des activités, nous pourrions aisément passer d'un simple emploi du temps à un emploi du temps localisé (figure 2.07).

Figure 2.07 – De l'emploi du temps d'activités à l'emploi du temps localisé



Même si cette enquête n'est pas exploitable sur notre zone d'étude, elle nous permet de disposer de tendances nationales et nous offre des éléments à intégrer, le moment venu, dans notre propre enquête.

A l'inverse de l'approche envisagée par l'Insee, le Certu et son Enquête Ménages Déplacements proposent d'aborder la dynamique quotidienne avec une clé d'entrée « déplacements » – une forme d'emploi du temps des déplacements – développée dans le paragraphe suivant.

1.2. L'enquête Ménages Déplacements du Certu

Sous la maîtrise d'ouvrage de l'Autorité Organisatrice des Transports (AOT), avec un soutien de l'État, l'Enquête Ménages Déplacements (EMD) propose une « photographie » des déplacements quotidiens réalisés par les habitants d'un périmètre donné, un jour de semaine. Ces EMD sont élaborées par le Centre d'Etudes sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les constructions publiques (Certu), un service technique du Ministère de l'Équipement qui a pour mission de faire progresser les connaissances et les savoir-faire sur les questions urbaines et le transport.

En 30 ans, ce type d'enquêtes a été utilisé plus de 70 fois sur une quarantaine d'agglomérations françaises. En raison de l'ampleur de la réalisation et des moyens à mobiliser, notamment financiers, le dispositif ne peut pas être reconduit annuellement ; il peut au mieux avoir lieu tous les 10 ans environ pour les agglomérations les plus importantes. Ces enquêtes répondent généralement à des objectifs multiples parmi lesquels trois ressortent principalement :

- une meilleure connaissance des pratiques de déplacements de la population et une évaluation de leurs évolutions, si plusieurs enquêtes sont disponibles ;
- la mesure des effets des politiques de transport ;
- la connaissance de l'opinion et des attentes de la population en matière de transport.

L'EMD permet aussi de mieux connaître un territoire, son utilisation au quotidien et les attentes de chacun. Elle apporte aussi une aide conséquente pour la planification locale (particulièrement pour le Plan de Déplacement Urbain – PDU) aussi bien en tant qu'élément de diagnostic et d'analyse, qu'en tant qu'élément intervenant dans le processus d'aide à la décision ; sans compter que c'est un des rares outils à prendre en compte tous les déplacements, quels que soient les modes, les motifs et les catégories sociales de la population interrogée. Indubitablement, cette enquête offre une vision globale du fonctionnement des déplacements de l'agglomération. Si localement, elle accompagne l'élaboration des politiques d'agglomérations, à un niveau national, elle permet des comparaisons et offre l'opportunité de positionner la zone d'étude non seulement par rapport aux autres territoires, mais aussi par rapport aux tendances fortes des évolutions sociétales : nouveaux rythmes de vie et nouvelles mobilités.

Le périmètre de l'EMD utilisé dans notre recherche couvre l'Aire Urbaine Belfort-Montbéliard-Héricourt-Delle, bassin de vie et d'emploi du Nord Franche-Comté. Cette zone s'étend sur 198 communes réparties sur trois départements : le nord du Doubs (incluant la Communauté d'Agglomération du Pays de Montbéliard), le nord-est de la Haute-Saône (avec la Communauté de Communes du Pays de Héricourt) et l'ensemble du département du Territoire de Belfort (avec, bien entendu, la Communauté d'Agglomération de Belfort).

Ces EMD sont réalisées selon une méthodologie standard dictée par le Certu dont le respect rigoureux autorise une comparaison ultérieure des enquêtes dans l'espace (entre différentes agglomérations) et dans le temps (entre enquêtes effectuées à des dates différentes). Les contraintes méthodologiques sont précisées dans les documents techniques élaborés par le Certu et regroupent les caractéristiques principales suivantes :

- conception d'un échantillon représentatif de la population ;
- passation de l'enquête sous la forme d'une interview en face à face ;
- interview systématique de tous les membres âgés de plus de 5 ans dans les ménages tirés au sort ;
- interrogation systématique sur les déplacements de la veille (jours ouvrables de semaine).

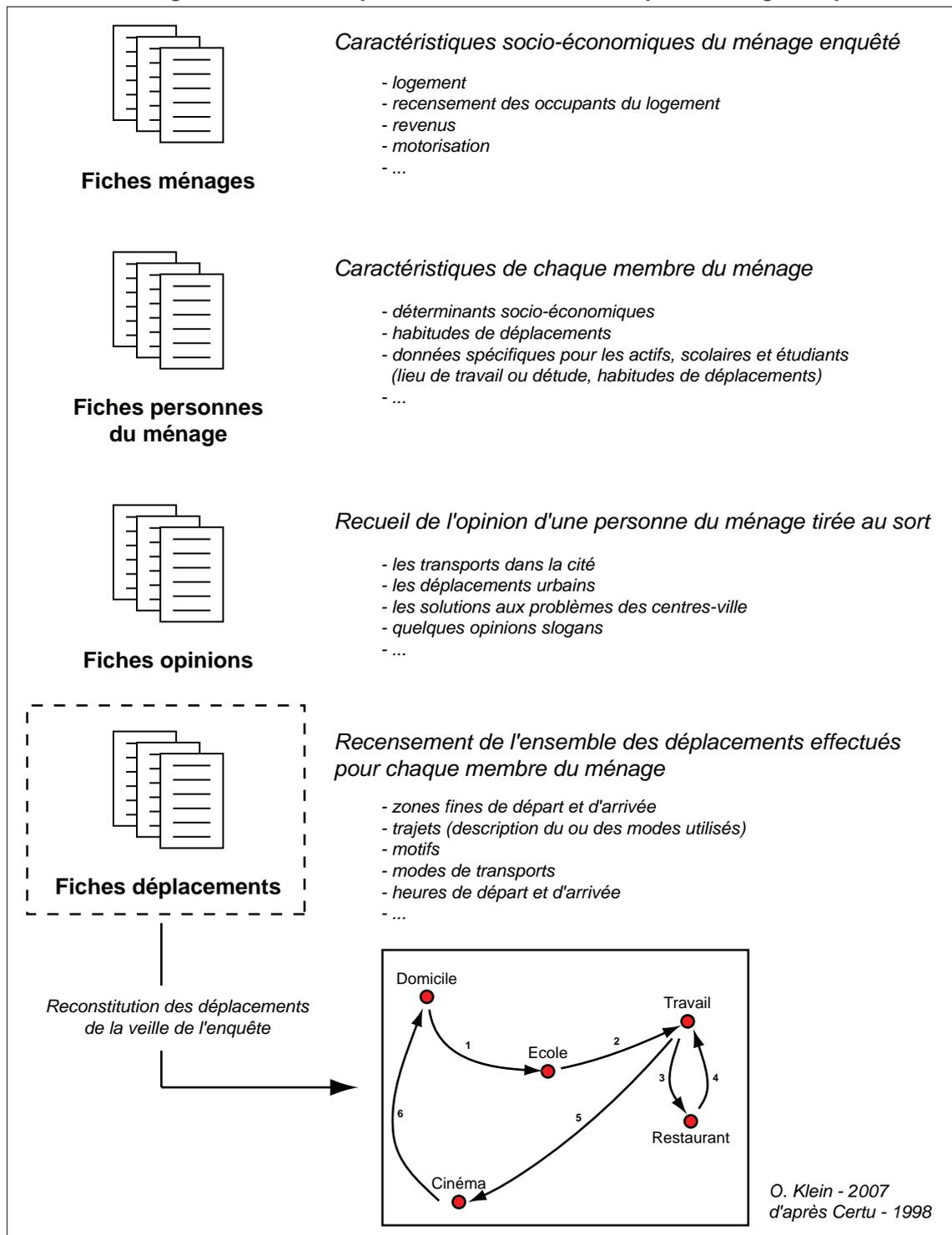
L'Enquête Ménages Déplacements semble être, aujourd'hui, un des outils les mieux adaptés pour appréhender les pratiques quotidiennes de déplacements de la population. Pour beaucoup, elle correspond à l'équivalent en démographie du Recensement Général de la Population, même si l'on peut nuancer ces propos du fait de la non-exhaustivité de l'information.

Le questionnaire qui compose cette enquête « standard » est subdivisé en quatre fiches (Figure 2.08) :

- la fiche ménage contient des questions concernant les caractéristiques socio-économiques du ménage ;
- la fiche personnes du ménage questionne chaque membre du ménage pour connaître ses caractéristiques socio-économiques et ses habitudes de déplacements ;
- la fiche déplacements recense l'ensemble des déplacements effectués la veille de l'enquête par chaque membre du ménage âgé de plus de 5 ans ;
- la fiche opinion, qui ne concerne qu'une personne du ménage tirée au sort, porte notamment sur l'opinion ressentie vis-à-vis des transports dans la zone d'études.

L'exploitation de cette enquête par des bureaux d'études spécialisés se limite trop souvent à une analyse purement statistique des données et à la constitution d'indicateurs qui ont pour vocation d'être intégrés dans des tableaux de bord ou associés à d'autres éléments de gestion de la mobilité. Par conséquent, nous disposons d'une grande quantité d'informations autour des questions de l'exclusion (indicateurs d'immobilité ou d'équipement automobile), du stationnement résidentiel, de la part de déplacements réalisés selon tel ou tel mode, d'indicateurs de mobilités de certaines catégories de populations (retraités, sans-emploi...),

Figure 2.08 – Description des données de l'Enquête Ménages Déplacements



etc. Dans le meilleur des cas, avec une exploitation approfondie de la dimension temporelle, on disposera d'emplois du temps par catégories de population, mais plus rarement de cartes.

La collecte des données paraît ici adaptée à notre démarche avec un questionnaire relativement bien constitué (Figure 2.09) qui permet d'appréhender avec précision les chaînes de déplacements. En portant une attention particulière à la qualité des données à disposition, on remarque que la dimension temporelle est ici collectée de manière adéquate avec une

précision à la minute. Une fois de plus, alors qu'une partie des données spatiales est collectée à l'adresse (au moins pour le lieu de résidence), la localisation utilisée dans l'exploitation des données s'effectue selon une implantation surfacique que le Certu dénomme « Zone fine ». Cette surface statistique de taille variable, généralement fonction de la densité de population, correspond en fait à un regroupement d'îlots Insee dans les zones urbaines les plus denses et au territoire communal dans les zones rurales les plus reculées. On se doute que cette finesse de l'information bien qu'adaptée à une vision globale de la ville ne parait pas appropriée à une étude microscopique des trajectoires individuelles. Néanmoins, nous le verrons ultérieurement, elles offrent une solution acceptable pour une éventuelle désagrégation de l'information spatiale. Enfin, thématiquement, nous disposons de données socio-professionnelles, socio-résidentielles et d'activités réalisées dans une journée type aussi bien à l'échelle du ménage qu'à celle de l'individu.

Toutes les données passées en revue jusqu'ici ont pour point commun d'être issues d'enquêtes réalisées *a posteriori*, selon un principe déclaratif où l'individu enquêté se remémore les déplacements ou les activités effectués. D'autres types de données peuvent cependant être utilisés en complément.

1.3. Autres sources de données

Ces premières données de nature relativement variée, en rapport avec notre problématique sur les rythmes et mouvements quotidiens, pourraient encore être complétées par d'autres sources. Hélas, l'ensemble de ces documents n'est pas utilisable pour diverses raisons que nous allons aborder à présent.

En premier, les enquêtes nationales, comme l'Enquête Nationale Transport ou l'Enquête Emploi du Temps présentées au paragraphe 1.1.2., sont écartées puisqu'elle ne disposent pas de support spatial. Du fait de ce défaut de localisation des données, nous ne pouvons les utiliser au mieux que sous la forme d'éléments généraux susceptibles d'orienter l'analyse locale en apportant des réponses sur les tendances globales mesurées à l'échelle du pays.

En second, la mesure ou la quantification des flux au moyen de points de comptages (par capteurs), généralement installés par les services de la ville en milieu urbain ou par la Direction Départementale de l'Équipement (DDE) à l'extérieur de la ville, permet d'avoir une vision de l'utilisation du réseau. Néanmoins, à cause de la particularité de notre périmètre d'étude – une structure intercommunale en pleine construction prenant place sur trois départements avec la présence de deux communautés d'agglomérations, la répartition des points de mesure n'est pas encore uniformisée ce qui exclut toute comparaison sur l'ensemble du périmètre. Une action concertée entre les différents partenaires devrait permettre à terme de disposer de ces données permettant notamment de compléter l'exploitation de l'enquête ménages déplacements que nous aborderons au chapitre 3. Il en est de même pour les enquêtes cordons qui ont été menées séparément sur les deux villes principales.

Figure 2.09 – Exemple de fiche déplacement

SCHEMA DES DEPLACEMENTS
 Indiquez, pour chaque déplacement, à gauche, le motif ORIGINE et à droite le motif DESTINATION, ainsi que le ou les MODES DE TRANSPORT utilisés (en règle générale, la destination d'un déplacement devient l'origine du déplacement suivant).

Source : Enquête Ménages-Déplacements - Certu

Toutes ces données, institutionnelles, peuvent être complétées par des informations provenant d'autres acteurs, notamment du secteur privé, qui disposent d'un certain nombre de bases de données utilisées en interne pour des intérêts principalement gestionnaires.

2. Des besoins internes à des organismes : le cas de PSA

La présence d'un des plus grands sites de production industrielle français sur notre zone d'étude nous amène à rechercher les informations disponibles pour compléter notre approche. Sa présence est, bien évidemment, génératrice de flux tant de personnes que de marchandises.

Construite en 1912 sur la plaine de Vouaivre l'usine PSA Peugeot Citroën, siège historique de Peugeot, se situe à cheval sur trois communes – Montbéliard, Sochaux et Exincourt – le long de l'autoroute A36, à 20 km au sud de Belfort et à 85 km au nord de Besançon. Véritable ville dans la ville, le site principal occupe une superficie totale de 265 ha dont 137 ha de surface utile (Figure 2.10), et l'usine emploie 14 360 personnes auxquelles on peut ajouter 1 094 employés à Belchamp, 334 à Bessoncourt et 360 à Technoland (données 2004).

Figure 2.10 – Vues aériennes du site sochalien de PSA Peugeot-Citroën



Crédit photographie : PSA - Peugeot-Citroën

L'organisation, la connaissance et la maîtrise des flux dans et autour d'un tel site de production est une nécessité économique pour un groupe industriel à dimension internationale. Gain de temps dans les délais de production, contrôle et maîtrise de la chaîne de production face aux impératifs du marché instable – tantôt demandeur, tantôt stérile - sont autant d'enjeux et de manifestations de l'importance de cette maîtrise des flux. Par conséquent, ces flux occupent une place centrale dans l'organisation de la chaîne de production pour une efficacité maximale et un coût minimum, avec notamment de la production en juste à temps qui nécessite une bonne connaissance de la demande pour déterminer le volume de production nécessaire. Ce concept de « juste à temps », qui aurait été inventé par Taiichi Ohno chez le constructeur automobile Toyota, consiste à assembler juste à temps un produit en faisant en sorte que chaque composant arrive sur la chaîne de production au bon moment, au bon endroit et en quantités voulues. Ce système de gestion n'est avantageux et rentable que s'il repose sur une organisation sans faille. Il implique de nombreux mouvements et des livraisons supplémentaires, en particulierité lorsqu'il y a sous-traitance externe au site de production

principal. Par conséquent, les flux de marchandises engendrés s'intensifient et la circulation augmente à l'intérieur et aux alentours du site. Éléments à part entière de la dynamique urbaine sur l'agglomération de Montbéliard, ces flux industriels sont pertinents à analyser du point de vue de leur logistique et de leur structure globale. Mais, étant donné l'importance économique et un marché soumis à une rude concurrence, l'accès à ces données est très limité, voire impossible, car il relève souvent d'un secret industriel classé confidentiel par l'organisme ; seul élément abordable, les mouvements quotidiens des employés du site.

Premier employeur du nord Franche-Comté, PSA Peugeot Citroën joue un rôle structurant sur son territoire environnant, autour de ses deux sites de production de l'est français – Sochaux et Montbéliard – distants à peine d'une cinquantaine de kilomètres. L'importance du site de production sochalien se manifeste par sa capacité de recrutement et l'étendue géographique de son bassin d'emploi. Afin de faciliter les déplacements de ses employés, le groupe automobile dispose d'un système de ramassage autonome de ses salariés par bus (Figure 2.11). Améliorant la qualité de vie et facilitant les déplacements quotidiens domicile-usine, ce système de transport en « interne » compte aujourd'hui 52 bus desservant 267 communes avec une étendue maximale de 60 km autour du site de production, couvrant quatre départements : le Doubs, le Territoire de Belfort, la Haute-Saône et le Haut-Rhin (Figure 2.12). Près de 36 % des employés (Figure 2.13) profitent quotidiennement des 167 lignes mises en place. Ceci représente environ 3 millions de kilomètres parcourus chaque année pour un budget de plus de 4 600 000 euros en 2004.

Figure 2.11 – Départ des cars Peugeot depuis le site sochalien en fin de journée



Crédit photographie : Maison du Temps et de la Mobilité

Figure 2.12 – Réseau de ramassage des employés du site sochalien de Peugeot

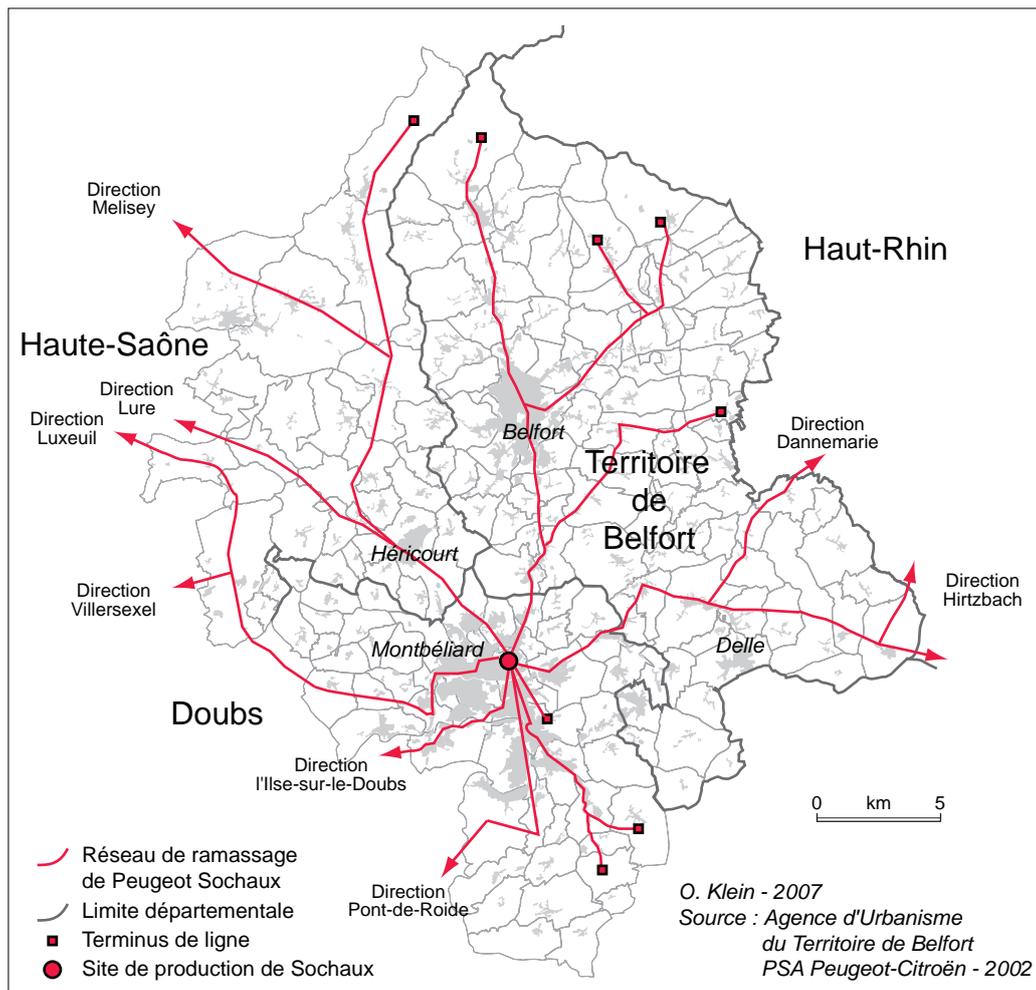


Figure 2.13 – Part de salariés transportés par les bus de ramassage

	Transporté		Non-transporté		Total
	Brut	Part (en %)	Brut	Part (en %)	
Belchamp	181	16,5	913	83,5	1094
Bessoncourt	7	2,1	327	97,9	334
Sochaux	5543	38,6	8817	61,4	14360
Technoland	67	18,6	293	81,4	360
Total	5798	35,9	10350	64,1	16148

O. Klein - 2007
Sources : Maison du Temps et de la Mobilité
PSA Peugeot-Citroën - 2004

Du fait de la mise en place de ce système de transport, l'entreprise dispose d'une liste du personnel (Figure 2.14) contenant des données professionnelles (catégorie professionnelle, type de contrat, unité et services d'appartenance...), le type d'horaire suivi (journée, nuit, doublage, vendredi-samedi-dimanche...) ainsi que la mention « transporté » si l'employé utilise le système de ramassage interne. Ce fichier, extrait du fichier du personnel, a une vocation purement gestionnaire. Il ne comporte pas de dimension temporelle explicite sur les horaires de travail et les temps de déplacement entre le domicile et le site de production, mais ces éléments peuvent, en partie, être reconstruits à l'aide des horaires collectés auprès

de chaque service. Ainsi, pour un jour donné, selon l'unité, le service d'appartenance et le type d'horaires, les temps d'activités dans l'usine peuvent être reconstruits. En juxtaposant le résultat aux fichiers de données fournies par le transporteur sur la desserte des arrêts des lignes internes, nous pouvons reconstituer le cheminement et les activités au quotidien pour un employé transporté. Mais, qu'en est-il des autres salariés, les « non-transportés » ? Aucune information n'est disponible pour eux ; on ne connaît ni le mode de transport utilisé, ni les horaires de départ et de retour au domicile⁶.

Figure 2.14 – Extrait du fichier salariés de PSA Peugeot Citroën – site de Sochaux

Nom	Prénom	Site	Direction	Unité	Service	Horaire	Catégorie professionnelle	Commune	Adresse	Code postal	Type de contrat	Classification	Sexe	Age	Indication transport
		Sochaux	DCPS	CPGE	FLV	Doublage	Ouvriers	BETHONCOURT		25200	CDI	APF		1 54	
		Sochaux	DCPS	CPGE	FLV	Doublage	Ouvriers	SELONCOURT		25230	CDI	APF		1 49	
		Sochaux	DCPS	CPGE	FLV	Doublage	Ouvriers	AUDINCOURT		25400	CDI	APF		1 54	
		Sochaux	DCPS	CPGE	FLC	Journée	Ing-cadres	MONTENOIS		25260	CDI			1 35	
		Sochaux	DCPS	EMB	MQMP	Doublage	Ouvriers	BAVANS		25550	CDI	Ouv.prof.		1 49	Transporté
		Sochaux	DCPS	EMB	LNF	Nuit	Ouvriers	BELFORT		90000	CDI	APF		1 37	Transporté
		Sochaux	DCPS	EMB	STN	Doublage	Ouvriers	HERICOURT		70400	CDI	Ouv.prof.		1 54	Transporté
		Sochaux	DCPS	EMB	LNF	Doublage	Ouvriers	LE HAUT DU THEM CHATEAU LA		70440	CDI	APF		1 46	Transporté

Information personnelle masquée

O. Klein - 2007

Sources : PSA-Peugeot Citroën,

Maison du Temps et de la Mobilité - Mars 2004

Même si une information exhaustive est disponible – au moins pour les salariés transportés – l'imprécision temporelle et la non-connaissance de près de deux tiers des mouvements amène à reconsidérer l'apport de ce fichier. En effet, en se limitant aux migrations alternantes, ces données se retrouvent fort bien représentées dans l'Enquête Ménages-Déplacements, vue précédemment. Même si ces données relatives à PSA Peugeot-Citroën sont intégrées à notre démarche, l'exploitation de l'EMD sera privilégiée pour appréhender les temps quotidiens.

3. Proposition d'une grille de lecture comparative des données à disposition

Après cette analyse des données existantes potentiellement les plus adaptées à notre démarche en provenance aussi bien de sources institutionnelles que de sources internes à des organismes privés, nous proposons une synthèse sous la forme d'un tableau spécifiant le niveau de précision de chaque dimension prise en compte (Figure 2.15). L'utilisation possible des sources est variable, le type d'études et leur but s'échelonnent selon un panel étendu allant de simples tendances nationales jusqu'aux trajectoires individuelles de ménages et d'individus en passant par les dynamiques quotidiennes selon des tranches horaires fines.

Avant de chercher à mettre en place une enquête pour compléter notre approche, différents problèmes, liés à la collecte des données déjà abordées, doivent être explicités pour tenter de les éliminer au mieux ultérieurement.

⁶ A noter que dans le cadre de la mise en place d'une démarche de Plan de Déplacement d'Entreprise (PDE), une enquête a été réalisée par la Maison du Temps et PSA, mais elle n'a pu être exploitée dans cette recherche.

En premier lieu, et plus spécifiquement pour les enquêtes portant sur des comportements déclarés *a posteriori* (déplacements ou activités effectués la veille), on peut s'interroger sur l'honnêteté des réponses. En effet, une des limites principales de ces enquêtes tient, dans certains cas, à la présence d'un grand nombre d'immobiles, c'est-à-dire d'individus n'ayant pas effectué de déplacement au cours de la période enquêtée. Certains auteurs (Axhausen et al., 2001, Madre et al., 2003) rattachent ces résultats à une attitude de rejet de l'enquête par l'individu enquêté. Ce comportement est bien connu dans la réalisation d'enquêtes : face à un questionnaire trop long, l'attention de l'enquêté peut diminuer et son intérêt peut s'amenuiser rapidement ; le sujet adopte alors une stratégie qui consiste à abrégé au plus vite l'exercice en évitant au mieux de se plier au cadre relativement complexe de la procédure d'enquête, il choisit donc les réponses qui prendront le moins de temps. En suivant cette stratégie, dans le cas d'une enquête sur les déplacements, la réponse la plus courte sera une déclaration d'immobilité sur toute la période. Cette attitude qualifiée de « refus mou » (Armoogum et al., 2003) peut difficilement être décelée pour chaque individu. Seul un « refus mou » d'une partie significative de la population interrogée pourra être décelé. Ainsi pour l'Enquête Ménages Déplacements menée dans notre zone d'étude, nous disposons de 17,7% de personnes qui se déclarent immobiles la veille de l'enquête. Ce taux semble en adéquation avec ce qu'on a pu observer sur d'autres enquêtes ménages déplacements effectuées par d'autres Autorités Organisatrices de Transports Urbains sur d'autres agglomérations ayant un profil similaire.

En second lieu, un autre problème doit être présent à l'esprit lors de l'exploitation des données : la question de l'estimation, non seulement des distances parcourues, mais aussi des temps d'activités ou de déplacements. Beaucoup d'enquêtés ont des difficultés à estimer les distances, difficultés qui augmentent d'autant plus si différents modes – aux vitesses contrastées – sont combinés pendant le déplacement. Cette tendance est également fortement marquée pour les horaires et les durées. Un exemple flagrant en est l'exploitation d'une enquête réalisée par le groupe Chronopost International avec l'institut de sondage Ipsos en 2001 sur les budgets-temps des européens, américains et japonais (Moutel, 2002). Il ressort de cette étude que la journée type d'un européen semble durer bien plus de 24 heures. Plus qu'un constat témoignant d'une pression temporelle intense sur chacun des individus surestimant la durée totale de la journée, ce mensonge évident montre également la difficulté à quantifier les durées renforcée par une tendance à surestimer des activités journalières valorisantes. De par sa structure, l'enquête Emploi du Temps de l'Insee permet d'éviter ce problème en posant clairement les questions d'activités selon des tranches horaires prédéfinies.

Troisièmement, l'accès est quasi impossible à une information spatiale fine du fait des dispositions mises en place par la Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés (CNIL), bien connue sous le nom de lois « Informatique et Libertés ». « En veillant à respecter l'identité humaine, les droits de l'homme, la vie privée et les libertés », cause noble, l'application de ces lois ne permet pas l'accès à des données fines localisées à l'adresse postale. Ce constat pose un délicat problème pour l'exploitation cartographique envisagée, notamment lorsqu'on cherche à reconstituer des trajectoires individuelles. Au-delà d'un complément des données par des enquêtes, il est également nécessaire de proposer une démarche permettant

de désagréger l'information et de passer d'une implantation surfacique fine à des données localisées ponctuellement selon des coordonnées géographiques (x,y) .

Enfin, en dernier lieu, nous constatons une absence généralisée d'informations sur les chemins parcourus au sein de toutes les bases de données ou enquêtes étudiées. La question « Par où ? », identifiée en introduction sur la figure 2.02, ne trouve de réponse dans aucune des données inventoriées. Or, cet élément est important dans notre démarche, non seulement, pour la connaissance des déplacements quotidiens, des trajectoires individuelles, mais aussi, plus simplement, pour connaître les distances parcourues.

Pour pallier certaines de ces difficultés, il est nécessaire de repenser, en partie, le contenu et le mode d'administration de ces enquêtes, en tirant profit de leurs points forts et de leurs points faibles explicités plus haut. Nous pouvons d'ores et déjà proposer deux solutions partielles.

D'une part, comment suivre simultanément l'ensemble des habitants de l'aire urbaine étudiée – soit plus de 300 000 habitants – ou un échantillon significatif et représentatif de celui-ci avec une grande précision spatiale et temporelle ? Ceci s'avère à l'heure actuelle un déficit d'une grande complexité. A moins d'équiper l'ensemble de ces individus de GPS (*Global Positioning System*, ou Système de localisation par satellite), il semble quasiment impossible de disposer d'informations précises concernant ces mouvements quotidiens. Si enregistrer les positions successives dans la ville au moyen d'un système de localisation par satellite semble une idée relativement séduisante, la mise en pratique, quant à elle, est beaucoup plus complexe, que ce soit pour l'ensemble de la population ou même pour un échantillon représentatif (qui sera tout de même de taille considérable, étant donné la configuration de notre zone d'étude). Il est vrai que des recherches ont déjà été menées dans cette direction, mais pour le moment le nombre d'individus suivis est trop faible pour disposer de résultats représentatifs. Bien que techniquement envisageable, la question du nombre de récepteurs GPS nécessaires (autant que d'individus enquêtés), ainsi que le problème de l'acceptation des enquêtés d'être suivi de manière continue, ont fait rapidement abandonner cette option. Une autre solution, développée dans le troisième chapitre, nous a amené, à utiliser les informations des enquêtes pour effectuer des déterminations *a posteriori* des chemins suivis.

D'autre part, alors que nous pouvions nous concentrer sur un nombre d'individus plus restreint avec une interview beaucoup plus longue, nous avons opté pour une enquête spécifique auprès d'un générateur de déplacements. Par une telle réalisation, directement sur le lieu d'un attracteur, en nous positionnant juste après les déplacements, nous devrions disposer de données estimées plus fiables : les temps d'arrivée étant très proches des temps de passation des enquêtes. Le générateur de déplacement retenu, lié aux territoires de l'événementiel, est assez particulier, prenant en compte une forme de mobilité non abordée par les enquêtes analysées au cours de ce chapitre : l'enquête sur les déplacements liées à un match de football au Stade Auguste Bonal de Sochaux-Montbéliard fait l'objet du chapitre suivant.

Figure 2.15 - Tableau de synthèse

	Enquête Ménages-Déplacements	Fichier Communes...Mobilités	Enquête Emploi du temps	Données internes à PSA - Sochaux
Quoi ?	Thème principal	Déplacements domicile-travail et domicile-études	Activités quotidiennes	Déplacement domicile-usine
	Thème secondaire	/	/	/
Où ?	Echantillon	Exhaustif	8 186 ménages soit 16 136 individus	uniquement les salariés transportés
	D'où ?	Zone fine	?	Arrêt de bus
	Vers où ?	Zone fine	?	Usine
	Par où ?	?	?	Lignes de bus
Quand ?	Quand ?	à la minute	à 10 minutes	Horaires de bus
	Combien de temps ?	à la minute	à 10 minutes	Calculé
Pourquoi ?	Motifs	Travail ou étude	/	Travail
	Modes	Choix parmi 25 modalités	/	Bus internes uniquement
Comment ?		Choix parmi 17 modalités	/	
Quel but ? Quel type d'études ?	Dynamiques urbaines quotidiennes	Mobilités quotidiennes, bassin d'emplois et liens entre territoires	Tendances nationales sur les rythmes de vie	Etudes spécifiques à un site de production (à compléter avec des informations sur les non-transportés)

Chapitre 2 - Une autre approche plus adaptée

Dans une ville où coexistent des rythmes différents dans un contexte de mobilité généralisée avec une société entièrement désynchronisée, surviennent des moments particuliers, fédérateurs, qui resynchronisent provisoirement les emplois du temps de chacun. C'est le cas de certains événements sportifs qui sont capables de mobiliser des milliers de personnes, devant leur petit écran ou sur le lieu même de la manifestation. Qui n'a pas vu les centre-villes se vider les soirs de Coupe de Monde de Football ? Exemple typique de création d'un temps urbain particulier, le match de football, cette « bagatelle la plus sérieuse du monde » (Bromberger, 1998), est un sport fédérateur, aussi bien, par sa pratique, qu'en tant que véritable spectacle de divertissement.

Lieu des rencontres de football, le stade, enceinte dédiée à cet événement, connaît régulièrement une certaine effervescence lors de la réunion de dizaines de milliers de spectateurs. S'en suivent d'énormes problèmes de mobilité et d'accessibilité, avant et après l'événement, lorsque tous les spectateurs convergent vers le lieu de réunion ou en divergent. De plus ces mobilités exceptionnelles viennent se greffer sur les mobilités quotidiennes et perturbent le fonctionnement quotidien de la ville.

Sur l'Aire urbaine Belfort-Montbéliard, le stade Auguste Bonal constitue un important pôle générateur de déplacements. Enceinte sportive vouée aux rencontres du Football Club de Sochaux-Montbéliard, ce stade, rénové et mis aux normes en 2000, possède désormais une capacité d'accueil de 20 000 places, toutes assises et couvertes (Figure 2.16). Cette augmentation de la capacité, conjuguée à l'ajout de bons résultats sportifs, font qu'à chaque rencontre le public est plus nombreux, avec une moyenne d'affluence tournant autour de 16 500 spectateurs pour la saison 2002-2003. Si l'on ajoute que plus de 85 % des spectateurs se

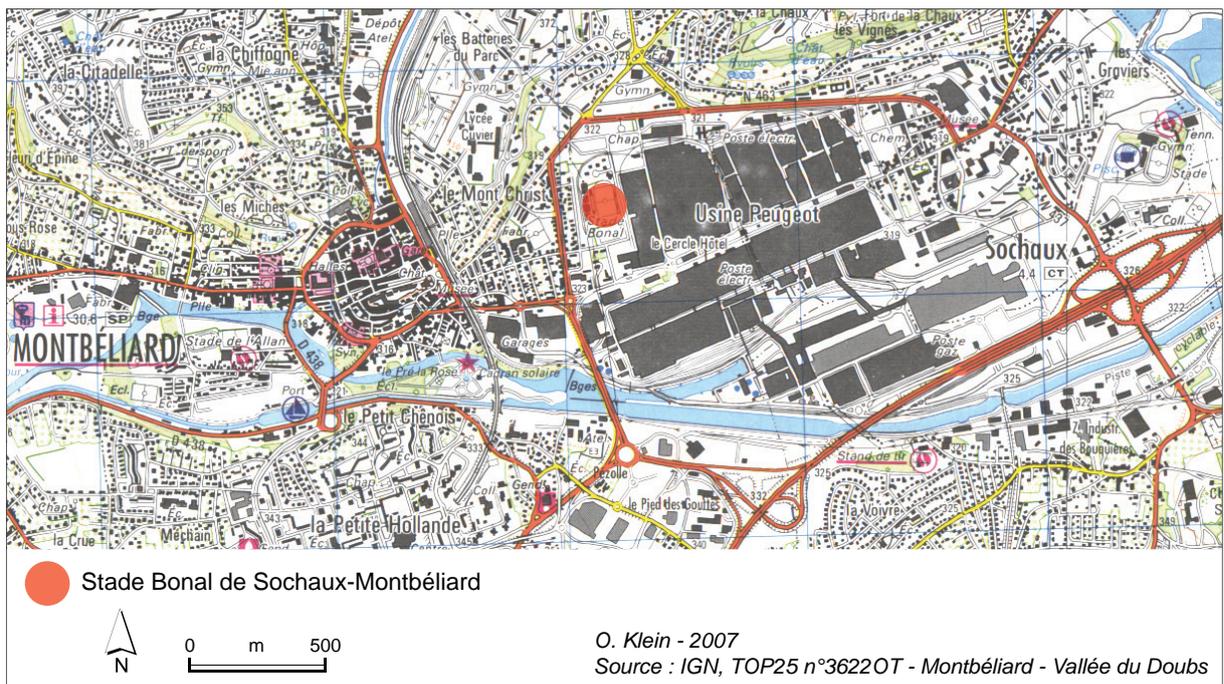
déplacent en voiture et que le stade est quasiment localisé dans l'enceinte du site de production automobile PSA Peugeot-Citroën (Figure 2.17), il est évident que chaque « avant » ou « après » match génère des flux exceptionnels, et par suite d'énormes problèmes d'accessibilité et de stationnement.

Figure 2.16 – Stade Bonal de Sochaux-Montbéliard



Crédit photo : F.C. Sochaux-Montbéliard - 2005

Figure 2.17 – Un stade situé entre le centre ville et le site de production automobile



C'est dans ce contexte que le Football Club de Sochaux-Montbéliard (FCSM) et la Communauté d'Agglomération du Pays de Montbéliard (CAPM) ont commandé à la Maison du Temps et de la Mobilité une étude sur l'accès au stade et les activités d'après-match au début de l'année 2003.

1. Une enquête à double objectif

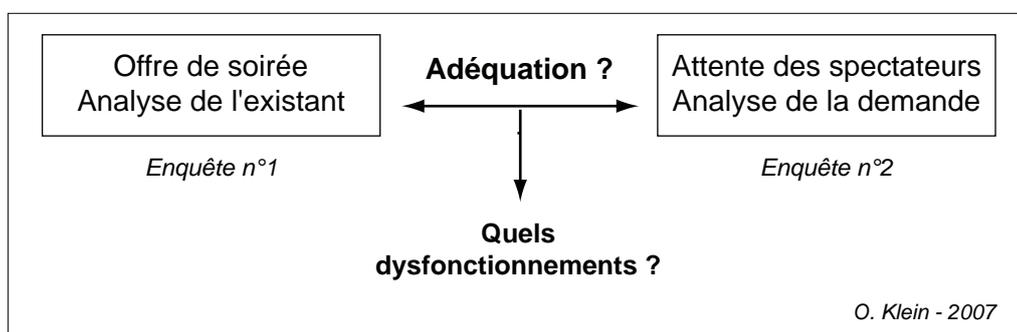
Né d'une rencontre entre Luc Gwiazdzinski, directeur de la Maison du Temps et de la Mobilité, et Christian Peugeot, directeur de la communication au sein du groupe PSA Peugeot-Citroën et membre de l'Institut pour la Ville en Mouvement (IVM), le projet autour du stade Bonal est initié au courant de l'année 2002. Cette étude, en grande partie menée par C. Oberlin (2003), se subdivise en deux volets, l'un consacré à un diagnostic de l'offre de soirée et l'autre davantage orienté sur l'analyse de la mobilité liée aux rencontres de football à Sochaux.

La première partie de l'étude (Oberlin, 2003 et Maison du temps, 2003) sur l'offre de soirée disponible dans l'agglomération de Montbéliard est un état des lieux recensant de manière exhaustive les activités de soirée et de nuit avec une attention particulière portée aux loisirs et aux divertissements. L'intérêt est d'identifier tous les lieux nocturnes fonctionnant sur la zone d'étude, en cherchant à connaître leurs capacités d'accueil, leurs horaires quotidiens et leurs périodes annuelles de fonctionnement. Des informations sont également collectées sur les soirs de matchs afin de recenser d'éventuelles particularités (horaires adaptés aux rencontres, variation de fréquentation, etc.). Cette première étude n'est ni développée ni intégrée dans cette recherche du fait qu'aucune mention des déplacements n'est faite.

La seconde partie de cette analyse consiste en une enquête menée auprès des spectateurs du F.C. Sochaux afin de cerner leur façon d'accéder au stade (horaires, modes de déplacements, stationnement...), de connaître l'organisation de leur soirée après le match (activités, retour à domicile...) et aussi de recenser leurs attentes en termes de transports et d'activités de soirée après les rencontres.

L'objectif des deux parties de cette recherche est de vérifier s'il y a adéquation, ou, au contraire, dysfonctionnement, entre l'offre de soirée en après-match et la demande réelle des spectateurs (Figure 2.18).

Figure 2.18 – Démarche du projet Bonal



Cette démarche globale étant construite pour répondre à une commande spécifique avec des objectifs définis par des partenaires, l'approche de ce projet ne sera pas totalement intégrée dans notre recherche. Seuls seront retenus les éléments relatifs aux déplacements tels qu'ils ont été précisés en introduction de cette partie.

Il faut à présent aborder plus en détail la méthodologie utilisée pour collecter ces données afin de valider ou non leur utilisation dans la démarche adoptée.

2. Méthodologie

Dans ce volet de l'étude sur le stade Bonal, deux objectifs principaux sont définis pour la constitution de l'enquête : tout d'abord déterminer les parcours des spectateurs (accès au stade et mode de déplacement), et ensuite cerner les attentes et les besoins en matière de transports, stationnement, information, services et animations d'après-match.

Nous allons donc préciser les modalités générales de l'enquête afin de savoir qui était interrogé, à quel moment et de quelle manière.

2.1. Qui interroger ?

Le « Qui interroger ? » ou la question de la représentativité de la population à questionner pose ici un sérieux problème. En effet, nous ne disposons d'aucune information *a priori* sur la composition de la population des stades donc, sur la population mère de l'échantillon. Le seul moyen d'obtenir une représentativité et d'éviter une sélection entièrement aléatoire des enquêtés, est de nous appuyer sur des recherches menées en sociologie et en ethnologie sur la composition de la foule fréquentant les stades avec des premiers éléments bien loin des idées préconçues.

2.1.1. Un public représentatif de la population

Le public fréquentant les stades de football est très souvent caricaturé dans l'esprit de personnes extérieures à ce type de spectacle. Avec l'idée pré-établie d'un public « populaire », « ouvrier » ou encore issu des « couches dominées, subalternes, exploitées » de la société (Brohm, 1993), ces images conventionnelles, un peu faciles, trop classiques et aujourd'hui dépassées, masquent une réalité bien plus complexe. Dans une étude sociologique sur les clubs anglais, effectuée par Malcom et *al.* (1992) et reprise par Bromberger (1995), les auteurs démontrent qu'il n'y a pas de prédominance ouvrière dans la composition de la foule des stades. En complétant cette approche par l'observation des supporters de l'Olympique de Marseille, Bromberger montre que le stade offre un « miroir fidèle de la population active de la ville » où se côtoient cadres supérieurs, professions libérales, chefs d'entreprises, commerçants et artisans... avec toutefois quelques déformations significatives et notamment une sur-représentation des classes moyennes de population.

Ainsi, le public du stade reflète, dans ses grandes lignes, la diversité professionnelle et résidentielle de la ville (Bromberger, 1989) – tous les quartiers étant quasiment représentés à poids égaux. Toutefois, au-delà d'une simple répartition fonction du prix des places, la réalité des gradins semblent suivre une réalité bien plus complexe. La répartition du public s'organise selon une combinaison de critères (âge, profession, quartier ou commune d'origine...), si bien que chaque espace compartimenté constitue une sorte de territoire symbolisant une appartenance distincte (Bromberger, 1995). En fait, dans bon nombre d'enceintes sportives, la géographie sociale de la cité se projette quasiment sur celle du stade, sorte de modèle réduit de la ville. On retrouve les tribunes officielles où se rassemblent le pouvoir politique, sportif et les spectateurs les plus « huppés ». A côté de cela, des espaces pour les entreprises marquent le territoire du pouvoir économique avec des loges louées à l'année pour inviter des partenaires et y faire sa promotion. Plus loin, se côtoient différents espaces regroupant pour les uns un public à dominante familiale, et pour les autres, de jeunes supporters les plus démonstratifs, les plus organisés et les plus engagés.

Cependant, dans cette comparaison « stade – ville », deux paramètres se démarquent de façon spectaculaire : le sexe et l'âge. En effet, le match de football reste une sortie essentiellement masculine avec rarement plus de 10 % de femmes parmi les spectateurs. Néanmoins, depuis la victoire de l'équipe de France à la coupe du monde de football en 1998 et la seconde place en 2006, ces chiffres doivent être pris avec davantage de précautions et vraisemblablement une tendance à la féminisation du public, mais très peu d'études en font la démonstration pour le moment. Autre élément de différenciation, ce public est également très jeune, caractéristique qui s'est accentuée depuis quelques dizaines d'années. A l'instar de l'étude de Bromberger (1989) sur Marseille, 83 % des spectateurs ont moins de 39 ans contre 55 % dans la population de la ville.

2.1.2. Construction de l'échantillon

Toutes ces données globales sur la vie des stades en France et en Europe, nous permettent de mettre en place les spécificités de l'enquête et notamment de constituer un échantillon représentatif de la population. Si, comme nous venons de le montrer, le public du stade reflète la diversité de la ville, et si la répartition de ce public dans les stades suit une logique de répartition dans les tribunes répondant à des critères sociologiques multiples, alors la meilleure représentativité devrait s'obtenir avec un échantillonnage par la méthode des quotas. Ainsi, la construction de l'échantillon s'est effectuée en fonction de l'emplacement des spectateurs en tribunes, qui lors de l'enquête peut être vérifiée au moyen du titre d'entrée au stade (abonnement ou billet).

Le stade Auguste Bonal est compartimenté en 6 secteurs principaux (Figure 2.18) qui composent les tribunes dénommées : populaire, seconde, latérale, forges, présidentielles et autres (rassemblant les loges, les places réservés aux personnes à mobilité réduite, etc.). Concrètement, la méthode des quotas consiste ici à reproduire les diverses catégories de

tribunes en respectant la proportionnalité avec le nombre de spectateurs. Trois matchs se déroulant avant l'enquête, dans les mêmes conditions d'un samedi soir à 20h (Figure 2.20), sont utilisés comme référence afin de disposer du remplissage par tribune (voir annexe). Une fréquentation moyenne a été calculée à partir de ces trois matchs à affluence variable et sert de base pour la constitution de l'échantillon.

Figure 2.19 – Configuration des tribunes du stade Bonal

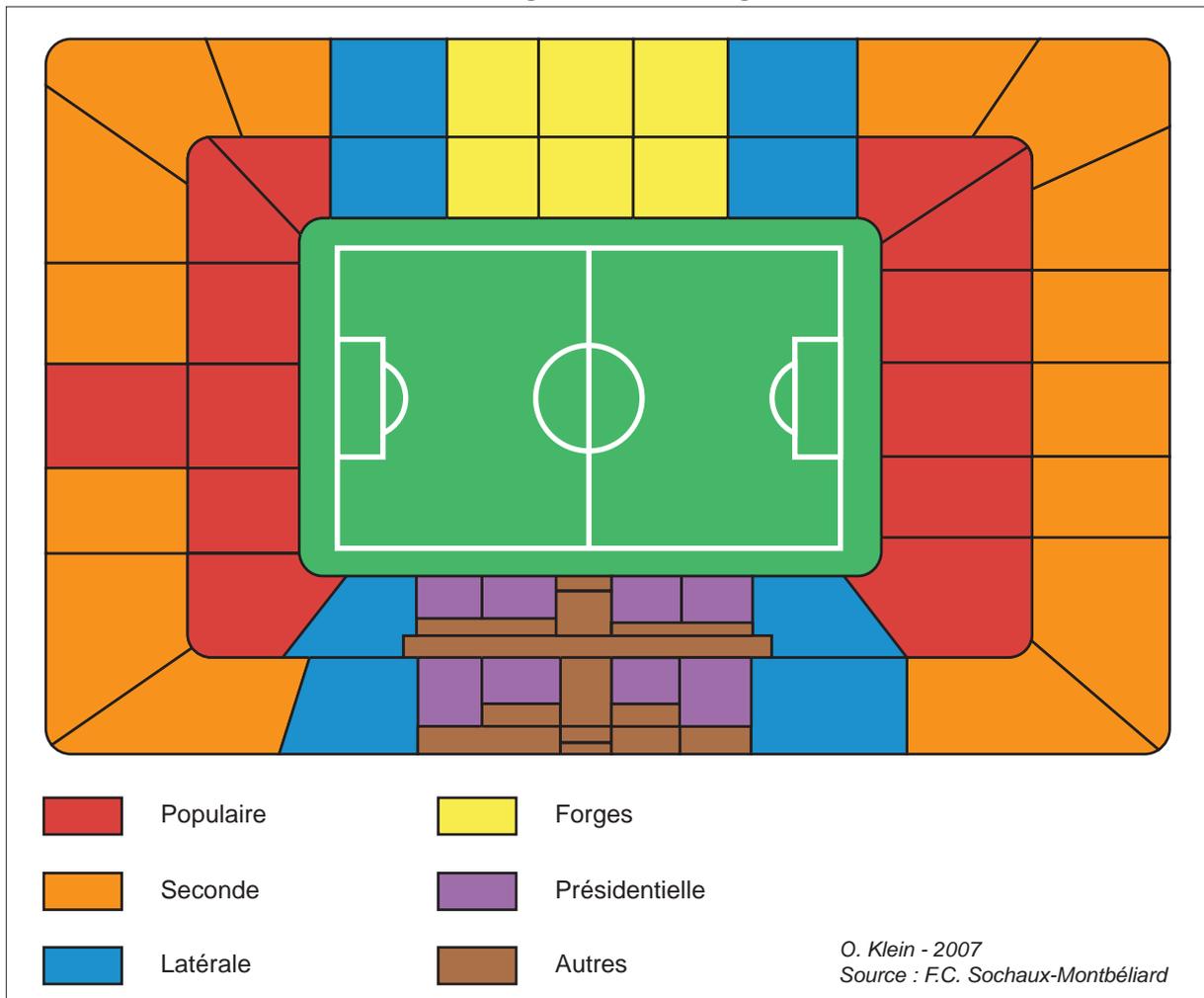


Figure 2.20 – Matchs de référence utilisés pour les données de fréquentation

RENCONTRE	DATE	HORAIRE
FC Sochaux - OGC Nice	samedi 28 septembre 2002	20h
FC Sochaux - FC Girondins de Bordeaux	samedi 19 octobre 2002	20h
FC Sochaux - SC Bastia	samedi 14 décembre 2002	20h

O. Klein - 2007
 Sources : FC Sochaux-Montbéliard - 2002

Toutefois, parmi les tribunes enquêtées, trois ont volontairement été écartées :

- les tribunes officielles, trop peu représentatives des habitudes des spectateurs, car l'accessibilité est ici facilitée par des parkings réservés, des invitations du club ou de partenaires et un après-match se déroulant dans des espaces commerciaux privés à l'intérieur du stade.
- les tribunes « Handi », destinées aux personnes à mobilité réduites ont été écartées, car elles nécessitent une approche spécifique qui n'a pas été mise en place dans cette étude.
- les tribunes « visiteurs », espaces clos destinés aux supporters des équipes adverses, avec une tribune non forcément remplie à chaque match ne regroupant que des spectateurs accompagnant l'équipe visiteuse et, de ce fait, ne résidant pas dans la zone d'étude.

A partir des données de fréquentation, nous disposons de la répartition moyenne du public par secteurs pour trois matchs de Ligue 1 professionnelle dont l'affluence est variable (Voir annexe 1).

La figure 2.21 montre, sur sa partie gauche, la fréquentation observée et le poids de chaque catégorie de tribune par rapport à l'ensemble lors des trois matchs témoins - poids sur lesquels se fondent les quotas de l'échantillon. Sur la partie de droite, nous avons les éléments enquêtés par secteur et également leur poids par rapport à l'affluence totale. Avec pour objectif de départ de disposer d'un échantillon de 10 % de la population du stade, ce sont finalement 1 075 enquêtes exploitables qui ont été réalisées avec une représentativité par secteurs relativement acceptable. L'écart maximum entre le nombre d'enquêtes théoriques à effectuer et le nombre effectivement réalisé étant au maximum de 5,1 points pour la tribune présidentielle.

Figure 2.21 – Fréquentation et population enquêtée par tribune

	Fréquentation observée				Enquête		
	Fréquentation	Capacité	Remplissage	Poids	Enquêté	Poids	Ecart
Populaire	4 748	5 869	80,9%	33,4%	385	35,8%	2,4
Seconde	3 791	4 592	82,5%	26,7%	338	31,4%	4,8
Latérale	2 514	3 596	69,9%	17,7%	175	16,3%	1,4
Forges	1 989	2 880	69,1%	14,0%	139	12,9%	1,1
Présidentielle	1 171	1 816	64,5%	8,2%	34	3,2%	5,1
Autres réponses	-	-	-	-	4	0,4%	0,4
Total	14 213	18 753	75,8%	100,0%	1075	100,0%	14,7
Autres secteurs (non enquêtés)	943	1 163	81,1%				
Total	15 156	19 916	76,1%				

O. Klein - 2007

2.2. Déroulement de l'enquête

L'ensemble de l'échantillon ne pouvant être interrogé lors d'une seule rencontre du fait d'une période trop courte avant les matchs (1h30 à 2h maximum), trois matchs se déroulant dans les mêmes conditions (jours et horaires) ont été retenus pour la passation de l'enquête : Sochaux - Paris SG (5 avril 2003), Sochaux - EA Guingamp (19 avril) et Sochaux - O. Marseille (le 10 mai). En parallèle, 500 questionnaires ont été envoyés aux membres d'associations de supporters qui pouvaient également déposer leur questionnaire dans un lieu pré-défini du stade lors des 3 rencontres citées ci-dessus. A noter que 90 ont été retournés selon ce mode d'administration.

Lors de la passation de l'enquête, la principale difficulté consiste à trouver le bon moment pour la mener afin d'avoir des enquêtés les plus réceptifs possibles. Par conséquent, l'enquête pendant la rencontre est impossible. Les moments « creux » ont été privilégiés c'est-à-dire pendant l'avant-match, à l'entrée du stade dès l'ouverture des grilles (soit 1h30 avant le coup d'envoi) et pendant le quart d'heure de la mi-temps à proximité des buvettes. A noter que la fin de match est très inadaptée pour mener à bien l'enquête, puisque la majorité des spectateurs quitte l'enceinte sportive en moins de 10 minutes.

2.3. Comment ? L'enquête et ses modalités

Pour répondre aux objectifs des commanditaires, le questionnaire a été élaboré en cinq parties validées par les partenaires du projet (Figure 2.22 et Annexe) :

- *Fréquentation*. Définir les habitudes de fréquentation du stade Bonal (placement en tribune, abonnement, assiduité aux rencontres, lieu d'achat des places...) ;
- *Déplacement*. Connaître l'accès au stade dans toute la période avant le match (l'avant match, lieu de départ, temps d'accès, mode de déplacement...)
- *Expérimentation*. Évaluer l'intérêt des spectateurs pour la mise en place de nouveaux services.
- *Après-match*. Connaître les activités et les itinéraires d'après-match, ainsi que les attentes concernant l'offre d'activités de soirée.
- *Signalétique*. Dresser le profil de l'enquêté (Profession, âge, sexe et coordonnées).

Ce sont essentiellement les parties « déplacement » et « avant-match » qui vont retenir notre attention.

Figure 2.22 – Extrait du questionnaire



maison du temps
ET DE LA MOBILITE



Stade Sochaux-Montbéliard



FC Sochaux

Enquête sur les déplacements des spectateurs du Stade Auguste Bonal de Sochaux-Montbéliard

Administration de l'enquête (partie pré-remplie)

A1. Date : A3. Nom de l'enquêteur :

A2. Rencontre : FC Sochaux - A4. Numéro d'enquête :

Fréquentation

1. Dans quelle tribune êtes-vous placé ?

Populaire
 Forges
 Seconde
 Latérale
 Présidentielle (ou équivalent)
 Autre

2. Êtes-vous abonné ?

Oui Non Invité
Si "Oui" ou "Invité", aller à la question 6

3. Si non, quand achetez-vous vos places ?

.....

4. Dans quel commerce achetez-vous vos places ?

.....

5. Dans quelle commune ?

.....

6. Faites-vous partie d'un club de supporter ?

Oui Non
Si "Non", aller à la question 8

7. Lequel ?

.....

8. A combien de rencontres assistez-vous chaque saison ?

1 à 5 6 à 10 Plus de 10

Déplacement

9. Dans quelle commune habitez-vous ?

.....

10. D'où venez-vous ?

De votre domicile De votre lieu de travail
 De chez des amis D'un bar
 D'un restaurant Autre
*Si "domicile", aller à la question 13
Si "travail", aller à la question 12
Si "amis", aller à la question 12*

11. Lequel ? (à préciser)

.....

12. Dans quelle commune ?

.....

13. A quelle heure en partez-vous ?

.....

14. A quelle heure arrivez-vous au stade ?

.....

15. Pourquoi venez-vous à ce moment ?

.....

16. Comment venez-vous au stade ? (plusieurs réponses possibles)

Voiture Bus
 Train Taxi
 2 roues à moteur Vélo
 À pied En stop
 Avec le réseau CTPM
Si réponse différente de "Voiture", aller à la question 22

17. Si vous venez en voiture, combien de personnes partagent votre véhicule ?

.....

18. Combien de temps mettez-vous pour trouver une place de parking ?

.....

19. Où vous garez-vous ?

.....

20. Pourquoi ?

.....

Expérimentation

21. Trouver une place de parking proche du stade est :

Très facile Facile
 Moyennement facile Difficile
 Très difficile Sans opinion

22. Connaissez-vous les possibilités de stationnement sur les parking des centres commerciaux ?

Oui Non
Si "Non", aller à la question 26

23. Si oui, les utilisez-vous ??

Oui Non
Si "Non", aller à la question 25

24. Pourquoi ?

.....

25. Connaissez-vous les possibilités de dessert de la SNCF sur Montbéliard les soirs de matchs ?

Oui Non
Si "Non", aller à la question 30

26. Si oui, les utilisez-vous ?

Oui Non
Si "Non", aller à la question 29

27. Pourquoi ?

.....

28. Connaissez-vous des parkings deux-roues au Stade Bonal ?

Oui Non

29. Seriez-vous prêt à vous rendre au Stade Bonal à vélo ou à deux roues motorisé ? (plusieurs réponses possibles)

Oui, à vélo Oui, à deux roues motorisé
 Non

30. Pourquoi ?

.....

31. Comment jugez-vous l'accessibilité au stade ? (plusieurs réponses possibles)

Très bonne Bonne
 Moyenne Mauvaise
 Très mauvaise Sans opinion

32. Pourquoi ?

.....

33. Seriez-vous prêt à utiliser un système de navette, avec rabattement sur parking ?

Oui Non

34. Pourquoi ?

.....

35. Combien seriez-vous prêt à dépenser pour un tel service, par personne ?

.....

36. Combien seriez-vous prêt à dépenser pour un tel service, par voiture ?

.....

37. Seriez-vous prêt à utiliser les transports en commun les soirs de match ?

Oui Non Sans opinion

38. Pourquoi ?

.....

39. Seriez-vous intéressé par un système de covoiturage ?

Oui Non

40. Pourquoi ?

.....

41. Combien de temps êtes-vous prêt à marcher entre votre place de parking et le stade ?

.....

42. A quel moment quittez-vous le stade ?

Avant la fin du match A la fin du match
 5 minutes après 10 minutes après
 15 minutes ou plus

43. Pourquoi ?

.....

44. Êtes-vous bloqué dans les embouteillages ?

Oui Non

45. Combien de temps ?

.....

Après-match

Maison du Temps et de la Mobilité - 2003

Le questionnaire complet figure en annexe 2

3. Résultats : vérification de l'adéquation des données avec la démarche globale

Bien qu'au départ cette enquête n'ait pas été destinée directement à cette recherche, elle apporte tout de même des éléments sur une forme particulière de mobilité liée à un événement sportif. Par contre, un certain nombre de limites sont identifiées mais l'ensemble est adaptable à notre démarche sous certaines conditions.

3.1. Limites de l'enquête

Cette enquête, définie et validée par un comité de pilotage regroupant les différents partenaires du projet, a un certain nombre de limites dans son exploitation. En laissant volontairement un grand nombre de questions ouvertes dans le but de ne pas influencer l'enquêté, beaucoup de réponses restent trop vagues ou sortent du cadre de l'étude. Ces

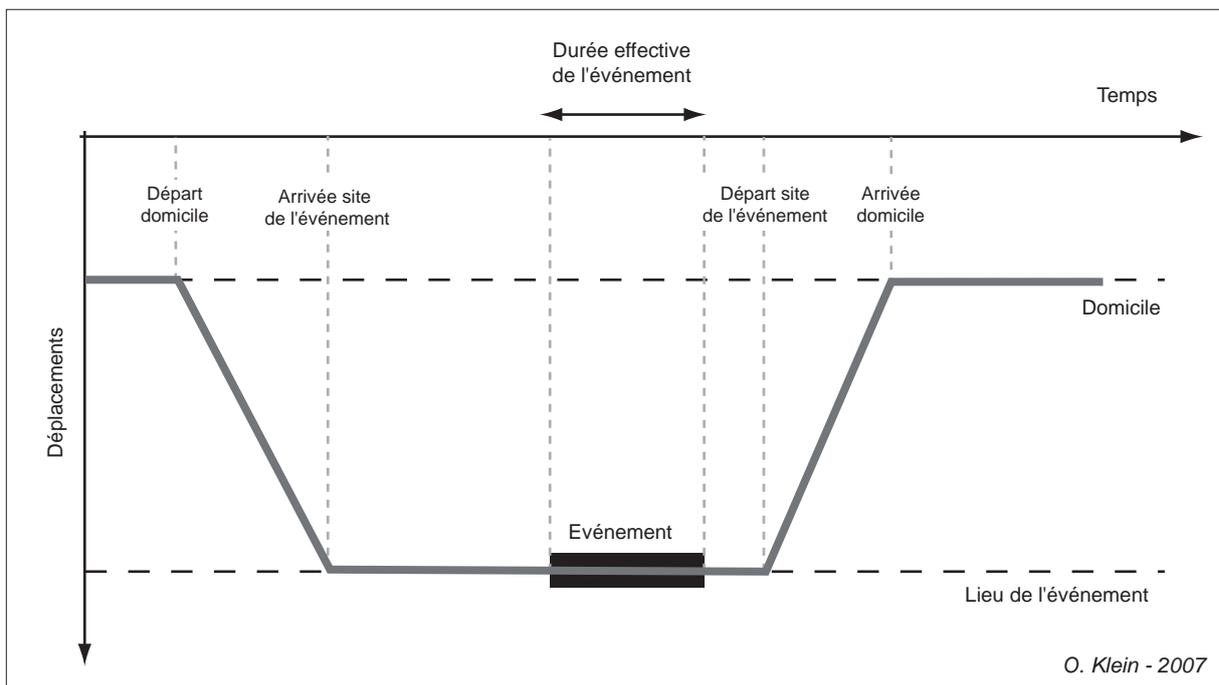
éléments sont tout de même utilisables, essentiellement pour cerner les tendances générales et les préoccupations communes aux spectateurs.

3.2. Adaptabilité à la démarche globale

Par rapport à ce que nous avons abordé dans le chapitre précédent, cette enquête fait figure de complément en abordant une autre forme de mobilité non prise en compte par les enquêtes classiques. Même si l'événement étudié, le match de football, est relativement éphémère et ne tient qu'une place infime dans la vie de la cité, il la bouleverse fortement par moments.

Du point de vue des données de mobilité, nous disposons, de par cette enquête des lieux de résidence (à la commune ou à l'adresse), des heures de départ du domicile et d'arrivée au stade ainsi que des heures de retour. Ces différents temps et lieux peuvent être schématisés sous la forme d'un diagramme combinant temps et déplacement (Figure 2.23).

Figure 2.23 – Schéma simplifié d'un déplacement domicile-stade



Si nous nous intéressons davantage à la forme de l'enquête, nous nous rendons rapidement compte qu'elle dispose d'un certain nombre de points communs avec celles abordées précédemment. Tout d'abord, de par sa thématique, avec un déplacement vers un lieu fixe en ayant un but commun – le divertissement - elle se rapproche des déplacements quotidiens domicile-travail du constructeur automobile PSA Peugeot-Citroën (Chapitre 1). Toutefois, dans le cas de Bonal, l'approche ne se limite pas à un seul mode de déplacement. Ensuite, de par son

contenu, l'enquête s'apparente davantage aux données de l'Enquête Ménages Déplacements avec une précision spatiale supplémentaire (figure 2.24).

Figure 2.24 – Synthèse des données et comparaison avec l'EMD

		Enquête Ménages-Déplacements	Enquête Stade Bonal
Quoi ?	Thème principal	Déplacements quotidiens	Déplacements domicile-stade
	Thème secondaire	Activités quotidiennes	Attente services et animations
	Echantillon	2 625 ménages soit 6 157 individus	1 075 spectateurs
Où ?	D'où ?	Zone fine	Adresse postale ou commune
	Vers où ?	Zone fine	Stade
	Par où ?	?	?
Quand ?	Quand ?	à la minute	à la minute
	Combien de temps ?	à la minute	à la minute
Pourquoi ?	Motifs	Choix parmi 25 modalités	Loisirs (match de football)
Comment ?	Modes	Choix parmi 17 modalités	Choix parmi 9 modalités
Quel but ? Quel type d'études ?		Dynamiques urbaines quotidiennes	Mobilités événementielles, déplacements domicile-stade et attentes pour l'après-match

O. Klein - 2007

Mais, comme pour toutes les autres enquêtes analysées, les trajets, du fait de leur complexité, ne sont pas appréhendés et font toujours défaut.

Initialement, des informations sur les trajets devaient être introduites dans cette enquête sous la forme d'une identification de lieux de passage. Compte tenu de la taille de l'Aire urbaine et du temps très court consacré par les enquêtés aux réponses aux questions, cette approche a été écartée.

L'option choisie dans notre démarche est de proposer une méthodologie, présentée dans le chapitre suivant, permettant de reconstituer *a posteriori* les trajets à partir d'un certain nombre d'hypothèses.

Chapitre 3 - Une nécessaire modélisation des données : affiner et reconstruire *a posteriori*

Toutes les données analysées jusqu'à présent – institutionnelles, internes à des organismes privés ou issues d'enquêtes – abordent les déplacements selon des niveaux de précision variables. Toutefois, plusieurs manquements communs ont été identifiés précédemment concernant essentiellement la dimension spatiale. En premier, mis à part pour l'enquête sur les déplacements événementiels liés à un match de football, la localisation des lieux de résidence et d'activités manque généralement de précision. Au mieux, nous connaissons l'appartenance à une unité spatiale fine, à l'exemple de la zone fine de l'Enquête Ménages Déplacements. En second, aucune des bases de données analysées n'intègre d'éléments sur les chemins parcourus par les individus. La question « par où ? » identifiée comme un élément incontournable en introduction de cette seconde partie (figure 2.02) n'est jamais appréhendée.

De ce fait, le recours à un affinement et une re-construction des données, *a posteriori*, avec pour base de travail les données collectées à disposition, semble être une des seules solutions répondant aux besoins de l'approche choisie et à une visualisation à différentes échelles des mouvements quotidiens urbains.

Cet ajout de connaissance aux données s'effectue en deux étapes successives : dans un premier temps un affinement de la position spatiale des individus, puis dans un second temps, la reconstruction des chemins parcourus entre les différents lieux fréquentés pendant une journée.

1. Affiner les localisations des individus et des lieux d'activités

Affiner, c'est-à-dire « rendre plus précis », consiste, dans notre démarche, à chercher à déterminer de manière plus précise, la position d'individus appartenant à une unité spatiale. Pour ce faire, nous allons expliciter plus précisément le problème posé avant d'exposer les solutions adoptées.

1.1. Enoncé du problème

Inhérent au respect de la législation mise en place par la CNIL, l'accès aux données, qu'elles soient collectées par des institutions ou issues d'enquêtes, est rarement possible à l'échelle de l'individu avec une précision spatiale à l'adresse. De manière courante, un regroupement des données est effectué avant diffusion afin de garantir une impossibilité d'identification et veiller ainsi au respect des libertés individuelles. Du point de vue de leurs composantes spatiales, ces données sont alors agrégées sous la forme d'unités spatiales plus ou moins fines.

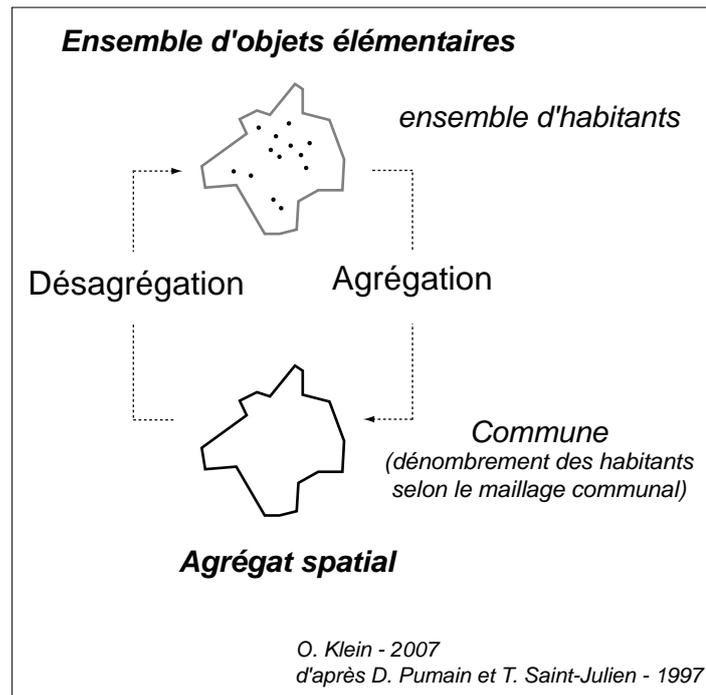
Agréger, c'est-à-dire « unir en un tout », consiste à créer un nouvel objet spatial résultant de la réunion d'un ensemble d'éléments distincts de nature homogène ou non. L'agrégation est généralement utilisée pour constituer une nouvelle entité, considérée comme homogène, à partir de ces unités spatiales élémentaires. Le plus souvent, c'est le passage d'une échelle géographique à une autre qui conduit à ce type de procédure lors d'un processus de généralisation de l'information. Cette opération vise notamment à éliminer les détails superflus.

L'agrégation peut s'accompagner d'un changement d'implantation géométrique comme le passage de points localisés à des surfaces, à savoir le passage d'une implantation ponctuelle à une implantation surfacique. Une telle modification s'accompagne bien évidemment d'une nouvelle conceptualisation et d'un changement dans le phénomène représenté. Nous pouvons, par exemple, passer d'un ensemble d'objets élémentaires, comme un groupe d'habitants localisés, à un agrégat spatial formant une commune dans laquelle nous pouvons dénombrer l'ensemble des habitants précédemment identifiées (Figure 2.25).

Cette agrégation d'information est un processus maîtrisé et souvent utilisé lors de changements d'échelles ou de volontés à masquer des localisations précises.

Or, dans notre approche, nous souhaitons mettre en place la démarche inverse, c'est-à-dire procéder à une désagrégation de l'information. Celle-ci s'obtient par la décomposition d'un agrégat spatial en un ensemble d'objets élémentaires (Figure 2.25). Dans le cas de l'EMD, nous souhaitons passer d'individus localisés dans des zones fines à des localisations selon une implantation ponctuelle. Plusieurs solutions sont envisageables en fonction de l'exploitation ultérieure des données.

Figure 2.25 – Agrégation et désagrégation d'information



1.2. Propositions de solution

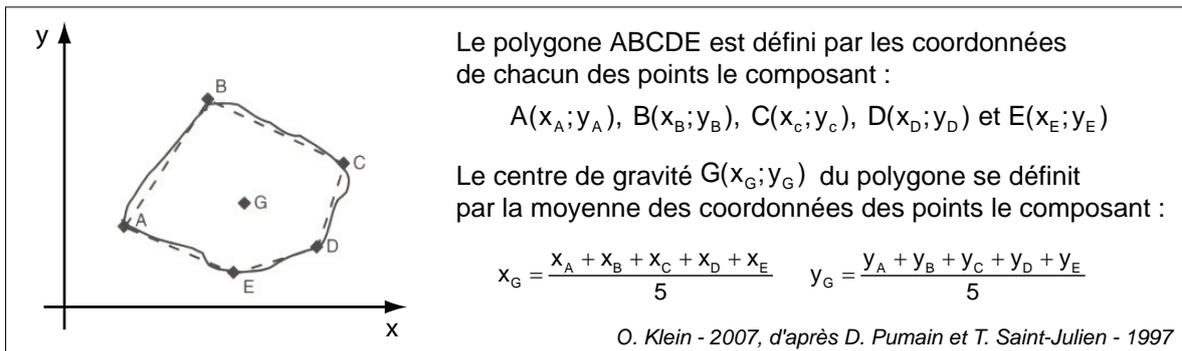
La démarche adoptée est sensiblement différente pour les lieux de résidence et ceux d'activités, principalement du fait des différences marquées entre les caractéristiques et les informations connexes à ces lieux.

1.2.1. Localisation des lieux de résidence

Chercher à déterminer la position du lieu de résidence d'un individu ou d'un ménage, connaissant son unité spatiale d'appartenance peut être envisagé selon différentes approches plus ou moins complexes, plus ou moins élaborées et en fonction de la structure de l'unité spatiale considérée ainsi que des données à disposition.

1.2.1.1. Cas d'une structure spatiale homogène

Si la finesse du découpage permet de disposer d'une structure urbaine homogène sur l'ensemble de l'unité spatiale, la position du lieu de résidence de l'individu peut être déterminée de manière systématique en la localisant sur le centre moyen de l'unité spatiale (Figure 2.26). Par ce positionnement, statistiquement, l'erreur entre l'observation réelle et théorique, induite par le calcul du centre moyen, est minimale.

Figure 2.26 – Le centre moyen : cas d'un polygone convexe


Une telle affectation systématique peut pourtant être gênante dès lors que plusieurs individus résident dans la même unité spatiale. En effet, ils sont alors affectés, à la même localisation, comme s'ils habitaient à la même adresse, ce qui est loin d'être représentatif des individus de l'unité spatiale de départ. Cependant, il est possible de procéder à un peuplement de l'unité spatiale – c'est-à-dire de pourvoir l'unité spatiale d'une population – en répartissant l'ensemble des individus soit de manière homogène, soit aléatoirement sur la surface considérée.

Néanmoins, les propriétés spatiales ne sont ici pas prises en compte alors que l'unité spatiale est généralement loin d'être homogène.

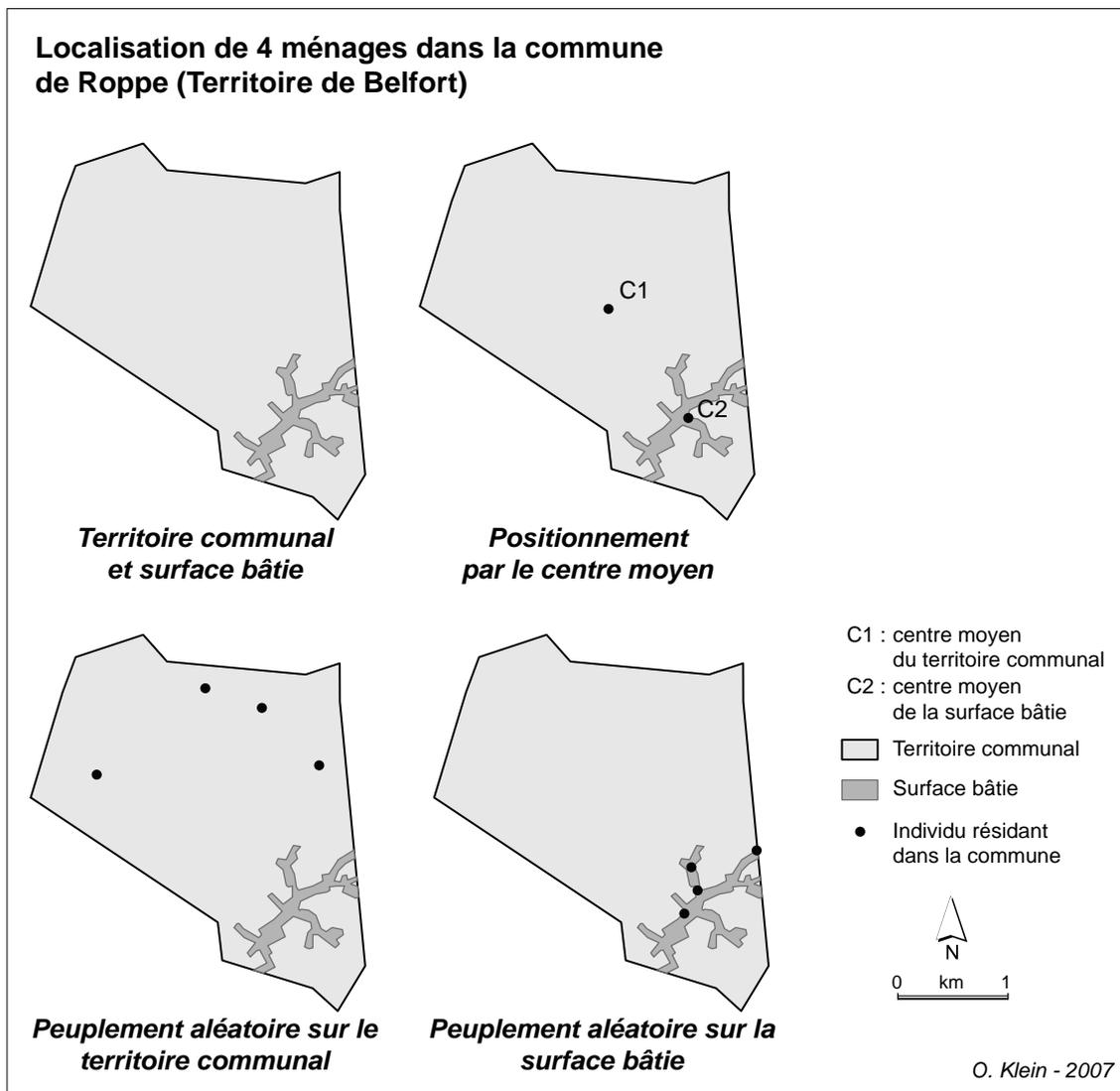
1.2.1.2. Cas d'une structure spatiale homogène

Si la structure de l'unité spatiale est hétérogène – avec, par exemple, la co-présence de zones bâties et de zone non-bâties – l'individu pourra être localisé au centre moyen d'une sous-structure comme le centre moyen de la zone bâtie.

En exposant et en comparant ces différentes solutions sur l'exemple d'une commune, avec pour illustration les données de l'EMD, nous obtenons quatre réponses bien distinctes (Figure 2.27). En tout état de cause, la solution du peuplement sur la surface bâtie semble être l'approximation la plus adéquate se rapprochant au mieux de la structure interne de l'unité spatiale.

Toutefois, si nous disposons de plus amples informations, nous pouvons approfondir la démarche avec notamment une meilleure approximation en tenant compte des caractéristiques des individus.

Figure 2.27 – Comparaison des approches à partir d'un exemple



1.2.1.3. Une localisation fondée sur les caractéristiques de l'individu

Si l'unité spatiale à laquelle est rattachée l'individu peut être décomposée en unités spatiales élémentaires ayant chacune leurs propres caractéristiques, nous pouvons alors envisager une approche se fondant sur les propriétés des individus à localiser. Cette approche peut s'appliquer aux zones fines de l'EMD qui sont en fait un agrégat d'îlots Insee.

Disposant à la fois de données attributaires socio-résidentielles sur les unités spatiales élémentaires (îlots Insee) et d'informations sur le profil de chaque individu, nous pouvons dès lors définir des probabilités d'appartenance à chacune de ces zones en fonction de l'adéquation entre les caractéristiques définies précédemment. En appliquant cette démarche à l'EMD, nous pouvons re-construire les localisations des individus en nous appuyant sur les données de logements présentes à la fois au niveau des îlots Insee et des fiches ménages de l'EMD.

De là, nous allons pouvoir déterminer des probabilités d'appartenance d'un individu à un îlot (Figure 2.28 – 2 et 3).

La formule générale utilisée pour la détermination des probabilités est la suivante :

$$p(I \in A) = \frac{M_A}{\sum_I M_I}$$

avec I : un individu à localiser

A : un îlot d'appartenance potentiel

M_A : une caractéristique associée à l'îlot A

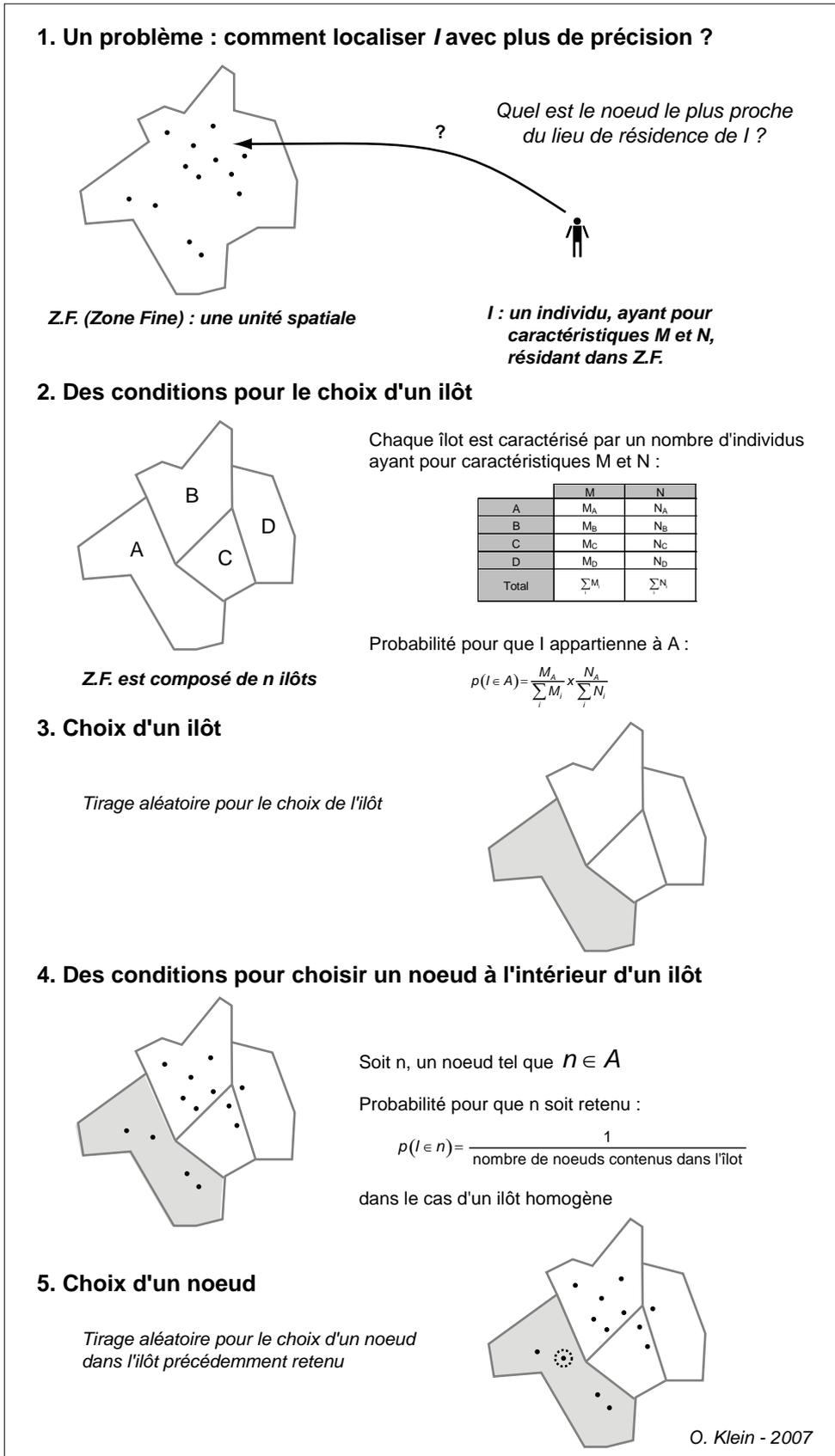
$\sum_I M_I$: somme des caractéristiques sur la zone fine

Lorsque les probabilités ont été assignées à chaque îlot, le tirage aléatoire peut être effectué. Une fois l'îlot déterminé, nous allons chercher à positionner plus précisément le ménage avec cette fois-ci une implantation ponctuelle. L'objectif final étant de modéliser et de visualiser les déplacements, nous allons nous appuyer sur les données des réseaux routiers pour positionner les individus. Finalement, nous procédons à une approximation au carrefour le plus proche du domicile du ménage, représenté par un noeud dans les données du réseau routier. Pour déterminer le carrefour retenu, nous procédons à un tirage aléatoire équiprobable entre l'ensemble des noeuds présents dans la surface bâtie de l'îlot retenu dans l'étape précédente (Figure 2.28 – 3 et 4).

Par cet affinage en deux étapes successives nous pouvons reconstruire les localisations les plus probables des individus au sein des zones fines, ce qui nous permettra de tester ultérieurement des formes de visualisations des déplacements adaptées aux données à implantations ponctuelles.

Toutes les communes de la zone d'étude n'étant pas îlotées, nous sommes finalement dans l'obligation de combiner les approches en retenant d'une part une procédure de peuplement des unités spatiales, fonction des caractéristiques des populations, et, d'autre part, une procédure de peuplement adaptée aux structures spatiales hétérogènes (Annexe 3).

Figure 2.28 – Comparaison des approches à partir d'un exemple



1.2.2. Localisation des lieux d'activité

Pour la localisation des lieux d'activités, nous pouvons procéder selon les mêmes approches que celles présentées aux paragraphes 1.2.1.1 et 1.2.1.2, avec un positionnement s'appuyant sur le centre moyen, et au paragraphe 1.2.1.3 avec un positionnement fonction du type d'activité et de la structure internes des unités spatiales. Cette approche satisfaisante peut constituer une approximation suffisante pour notre démarche.

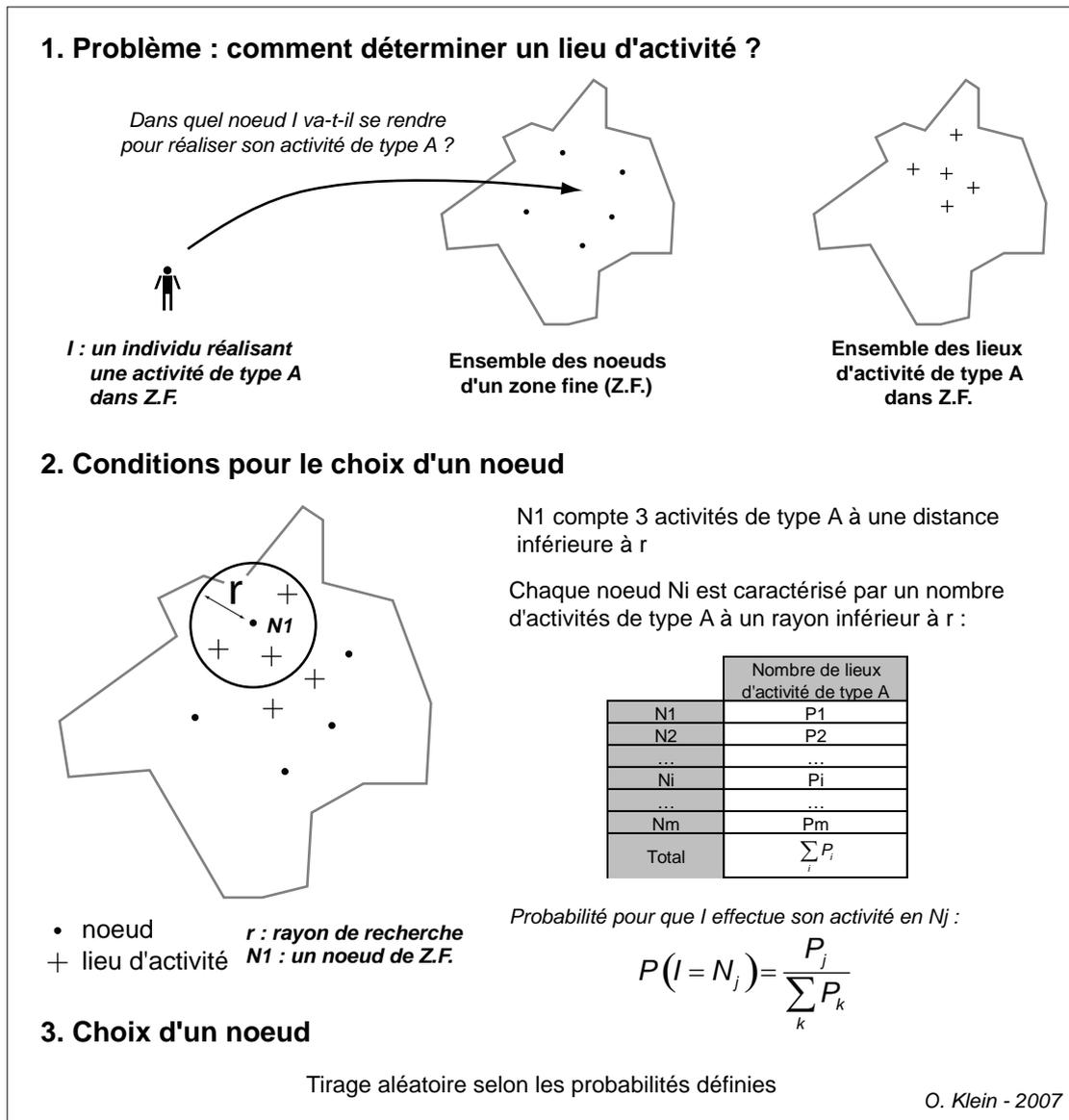
Néanmoins, disposant de données complémentaires sur une partie de la zone d'étude (Ville de Belfort), issues d'un programme de recherche mené au sein du Laboratoire Image et Ville pour la Datar sur l'offre urbaine de services urbains au public, nous avons expérimenté une autre approche sur une partie de la zone d'étude. Connaissant la localisation et les caractéristiques de lieux d'activités par le biais de l'offre de service au public, les lieux fréquentés par un individu sont plus facilement appréhendables au sein d'une zone fine.

La démarche adoptée s'établit en deux étapes. Dans un premier temps, chaque noeud du réseau (carrefour) est valué en fonction du nombre d'activités du type recherché dans un rayon de 250 m⁶ dans le but de définir la probabilité qu'un individu ait pour destination ce noeud compte tenu de son motif de déplacement (le type d'activité à réaliser). Dans un second temps, le choix du noeud est effectué en se fondant sur les probabilités définies précédemment (Figure 2.29).

La diversité des méthodes d'affinement des localisations est fonction des données à disposition : surface bâtie, typologie des surfaces habitées, données socio-résidentielles. Elle nous amène à développer la démarche finalement adoptée.

⁶ La distance de 250 mètres, paramétrable lors de la visualisation des noeuds, semble un bon compromis compte tenu de la diversité de structure de la zone d'étude (combinaison d'urbain et de rural) et de la densité variable du réseau.

Figure 2.29 – Affiner la localisation des lieux d'activités

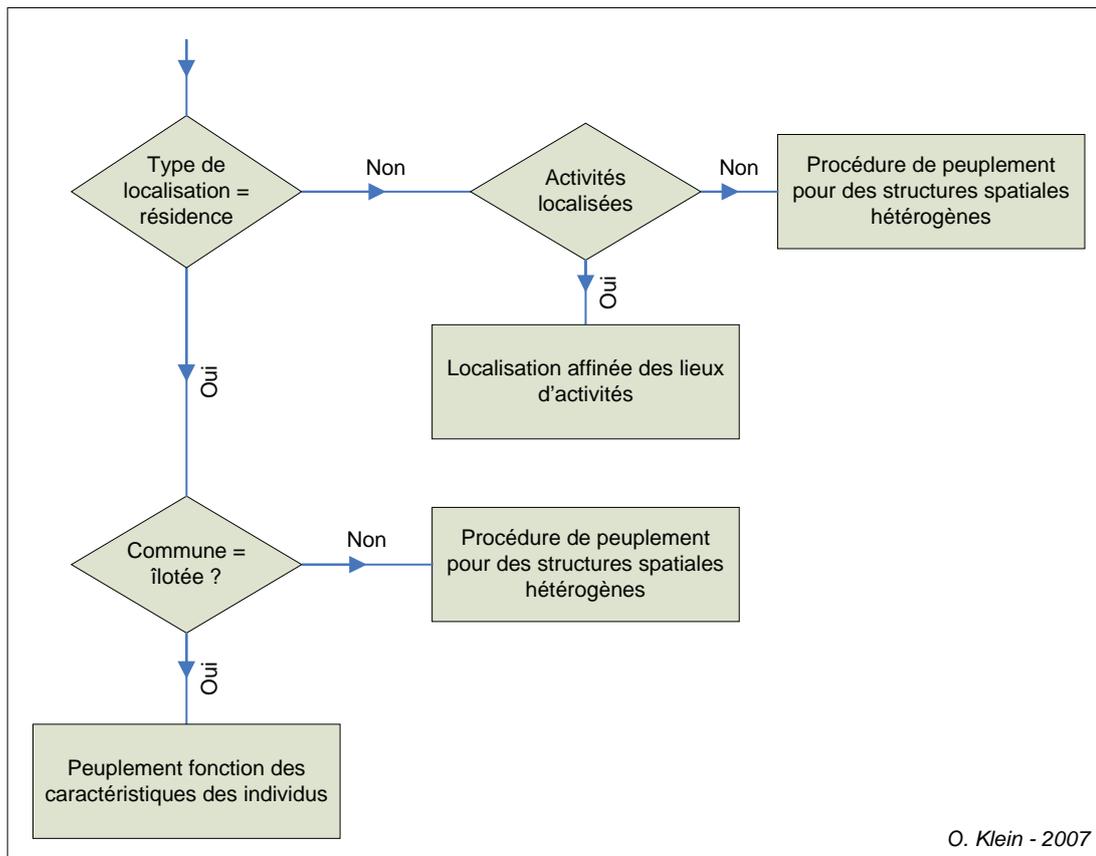


1.3. Démarche adoptée

Les localisations des lieux de résidence et d'activités ne s'effectuant pas de manière unique du fait de l'hétérogénéité des données sur l'ensemble de la zone d'étude, la construction d'un organigramme de décision s'avère nécessaire (figure 2.30). Il permet de déterminer les conditions d'utilisation des différentes procédures retenues.

Avec l'objectif de reconstruire des trajectoires individuelles et des formes de représentations particulières partant de ces données d'activités ayant une implantation ponctuelle, il est maintenant nécessaire de disposer d'informations spatiales adaptées sur les chemins parcourus. Ces informations n'étant pas présentes dans les enquêtes abordées, nous sommes dans l'obligation de les reconstruire.

Figure 2.30 – Organigramme de décision



2. Reconstruire les trajets

La caractéristique commune à toutes ces enquêtes, comme nous venons de le voir précédemment, est l'absence d'information sur le cheminement précis des individus enquêtés. Sauf exception, nous disposons au mieux d'activités localisées ou d'origines et de destinations de déplacements avec une précision spatiale et temporelle relativement fine.

A partir de ces données à implantation ponctuelle – adresse localisée en (X, Y) – nous allons chercher à reconstituer les parcours des individus entre les différents lieux qu'ils fréquentent au cours d'une journée, c'est-à-dire reconstituer avec précision les chemins empruntés en se fondant sur les origines/destinations.

Nous allons donc chercher à modéliser les parcours quotidiens des citoyens à l'aide des seules données d'emplois du temps localisées. Image de la réalité, le modèle est entendu comme une représentation abstraite d'une réalité concrète. « représentation du réel simplifiée pour être intelligible » (Durand, 1992) ; il est une vue subjective mais pertinente de la réalité. Dans notre cas de figure, où nous cherchons à mettre en place une traduction de la réalité, la mise en place d'un modèle descriptif doit permettre de faciliter la compréhension de ce système ville, système dynamique, en réduisant sa complexité.

Partant des caractéristiques du terrain (type de voirie, vitesse maximale autorisée par tronçon, etc.), la modélisation doit nous permettre de reproduire, par approximation des conditions de déplacements se rapprochant du réel. Avec la simulation (dans le sens où l'on reproduit à l'aide d'un modèle une situation et son évolution), nous disposons des principaux éléments nécessaires pour la détermination des chemins quotidiens.

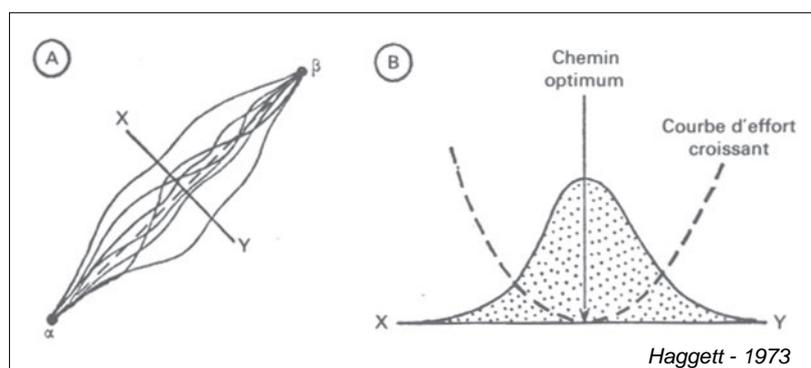
La démarche mise en place étant ouverte, c'est-à-dire paramétrable, les conditions de circulation pourraient être reproduites avec davantage de réalisme à l'aide d'un simulateur de trafic introduisant notamment des variations selon les moments de la journée ou l'utilisation combinée de différents modes de transport.

2.1. Le postulat du plus court chemin : justification d'un choix

Dans un réseau qu'il parcourt quotidiennement et pour faire face à la pression quotidienne des nouveaux rythmes sociétaux, l'individu va chercher à adopter une stratégie de déplacement qui lui permet de libérer du temps. Cette recherche de gain de temps se manifestera par une minimisation du temps de déplacement nécessaire entre les différentes activités de la journée.

La figure 2.31-A montre sur un plan uniforme le plus court chemin, à vol d'oiseau, entre deux points α et β représenté par une ligne droite en tireté. Les itinéraires réels pratiqués, exprimés par des tracés continus, s'écartent de cet optimum pour des raisons qui peuvent être d'origines variées : temps d'accès, distance métrique sur le réseau, préférence... Dans la pratique, si l'on en croit P. Haggett (1973), les itinéraires auront tendance à fluctuer autour de l'optimum selon une distribution de Laplace-Gauss centrée sur ce chemin optimum coïncidant avec la valeur minimale de la courbe d'effort ou de moindre coût (figure 2.31-B).

Figure 2.31 – Chemin optimum et moindre effort



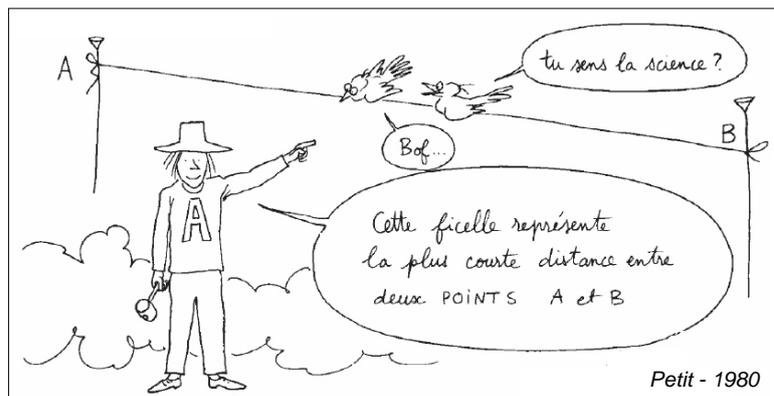
Reste alors à caractériser cet optimum : distance métrique la plus courte, temps le plus court, coût de transfert, capacité, fiabilité ou autres facteurs plus difficiles à modéliser, car plus subjectifs, comme les habitudes, les préférences voire le manque d'orientation ou même la combinaison de plusieurs de ces facteurs. Avec le postulat d'une recherche de gain de temps, cet optimum correspond au temps le plus court nécessaire à relier α à β .

Le chemin potentiel le plus représentatif effectué par un individu pour rallier ses différentes destinations dans le but de réaliser ses activités quotidiennes semble être le chemin le plus court d'un point de vue temporel. C'est ce postulat du plus court chemin que nous allons retenir pour la construction des parcours quotidiens.

2.2. Le problème du plus court chemin

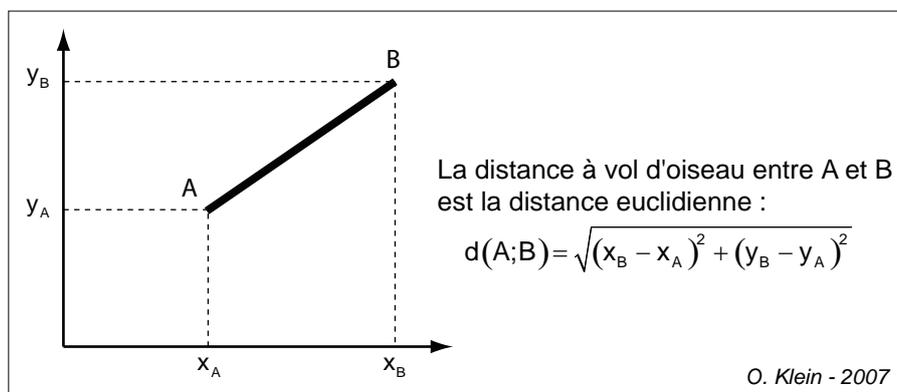
Le problème du plus court chemin semble être, *a priori*, bien anodin pour Anselme Lanturlu, personnage bien connu de J. P. Petit, toujours en quête de savoir (Figure 2.32). Sans contrainte de déplacement, le plus court chemin entre deux points A et B se matérialise par un segment représentant la distance minimale à parcourir pour rejoindre les deux points à vol d'oiseau.

Figure 2.32 – Le plus court chemin, un problème anodin...



Par ce principe, nous pouvons aisément calculer la distance euclidienne reliant un point à un autre (Figure 2.33).

Figure 2.33 – Chemin optimum et moindre effort



En estimant les distances par ce procédé, le parcours sur les réseaux de communication n'est pas pris en compte. La connaissance de la distance réellement parcourue peut être approchée à l'aide de coefficients correcteurs « forfaitaires » voisins de 1,3 appliqués aux

distances euclidiennes (figure 2.34), tel que le propose le Certu (2005). Ces estimations sont issues de l'exploitation d'un certain nombre d'enquêtes ménages déplacements. Ainsi, l'EMD réalisée dans l'arrondissement de Lille en 1998, par exemple, a été utilisée pour estimer la longueur des déplacements internes effectués à pied au sein des zones fines.

Figure 2.34 – Méthode « Certu » de reconstitution des distances à partir des distances à vol d'oiseau

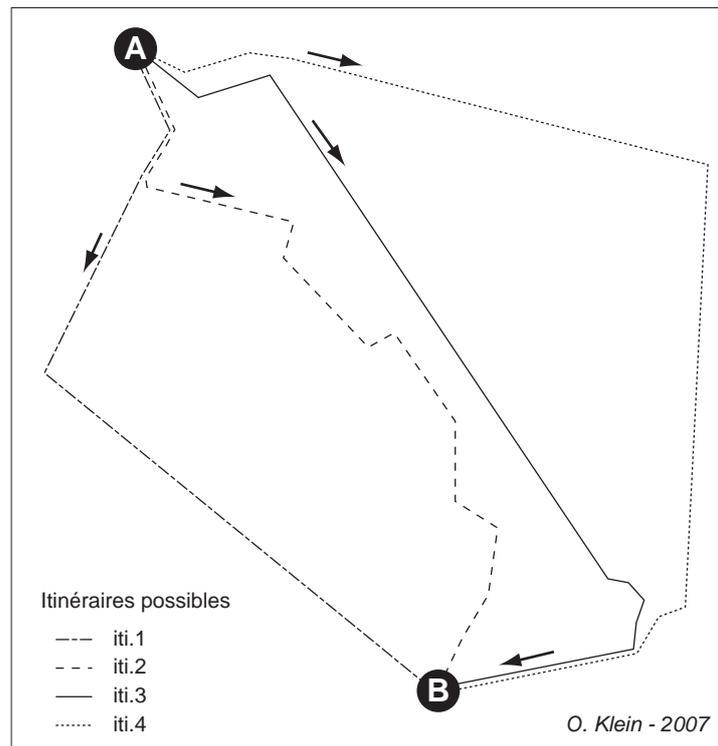
<p>Soient DVO : la distance à vol d'oiseau DIST : la distance du déplacement</p> <p>1. Pour les trajets en véhicule particulier motorisé :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Si $DVO \leq 1$ km, alors $DIST = (2,2 - 0,72 \times DVO) \times DVO$ - Si $DVO > 1$ km, $DIST = 1,4 \times DVO$ <p>2. Pour les trajets en transports collectifs</p> <ul style="list-style-type: none"> - $DIST = 1,5 \times DVO$ <p>3. Pour les trajets à vélo</p> <ul style="list-style-type: none"> - $DIST = 1,15 \times DVO$ <p style="text-align: right;"><i>Certu - 2005</i></p>
--

En se restreignant aux parcours à vol d'oiseau, les déplacements quotidiens subissent une trop grande approximation pour notre approche multi-échelle. Aussi allons-nous développer une approche basée sur le réseau physique.

2.3. Distance s'appuyant sur le réseau physique

Dans un cas plus concret que précédemment (figure 2.35), avec pour contrainte d'effectuer le déplacement sur un réseau existant, la solution de recherche du plus court chemin semble bien moins évidente que pour la distance à vol d'oiseau. La figure 2.35 montre ainsi qu'entre les lieux A et B, quatre itinéraires coexistent et sont envisageables, chacun avec ses spécificités :

- Iti. 1 : une succession de petites ruelles, d'un boulevard et d'une autoroute urbaine ;
- Iti. 2 : une succession unique de petites ruelles ;
- Iti. 3 : un boulevard ;
- Iti. 4 : une autoroute urbaine avec une distance métrique plus longue, mais un temps plus court dans des conditions normales de circulation.

Figure 2.35 – Le plus court chemin, une réalité plus complexe

Le nombre de trajets possibles étant restreint, le plus court chemin s'obtient simplement en calculant les longueurs de chacun des trajets et en comparant les longueurs obtenues. Une telle solution devient impossible à réaliser, dès lors que le nombre de trajets possible est grand. Si nous prenons l'exemple d'un réseau composé de 20 noeuds, ce qui reste un réseau bien modeste, tous reliés entre eux, celui-ci est alors constitué de 20×19 soit 380 liens orientés. De là, si l'on doit examiner tous les chemins possibles afin de déterminer le plus court, il faudra alors analyser plus de $18!$ chemins c'est-à-dire $6.4.10^{15}$ possibilités. Même assisté d'un ordinateur, avec une puissance de calcul permettant de déterminer en moyenne un chemin en $1 \mu\text{s}$ (soit 10^{-6}s), cette opération nécessiterait une durée de $6.4.10^9\text{s}$ soit environ 74 000 jours, ce qui représenterait plus de 200 ans de temps de calcul !

Pour être épargné d'une si longue attente, nous aurons recours à des algorithmes - « description d'une suite d'opérations élémentaires non ambiguës [...] qui s'achève après un nombre fini d'étapes et produit un résultat » (Hernert, 1995) - qui évitent d'avoir à calculer tous les possibles avec des stratégies adaptées aux besoins. Ces algorithmes sont issus de recherches relativement anciennes en mathématique et en informatique (avec notamment les travaux de E. W. Dijkstra, 1959 et de Floyd, 1962). Cette thématique de recherche est toujours d'actualité en informatique avec des travaux ayant des objectifs assez variés. Dans ce vaste champ de recherche, nous pouvons citer, par exemple, la recherche de plusieurs plus courts chemins (Eppstein, 1998) afin de disposer d'alternatives en cas de problèmes, ou l'optimisation de l'implémentation mémoire d'un algorithme de plus court chemin dans le but d'une exécution sur un support nomade (Goldberg et al., 2005) ou encore l'optimisation de l'algorithme de

Dijkstra dans le but de réduire le temps de réponse lors de requêtes de distances via l'internet (Wagner et *al.*, 2003). Point commun de toutes ces recherches, la question de l'optimisation et de la réduction du temps de calcul principalement pour une utilisation sur des systèmes de navigation embarqués.

Dans notre cas, l'objectif n'étant pas de mettre en place un outil de navigation, la solution d'un pré-calcul, stratégie envisagée par un certain nombre de chercheurs, semble être à privilégier. Avec cette solution, nous disposerons d'une meilleure interactivité lors de la visualisation de l'information. Néanmoins, comme toujours, ce système reste adaptable à une éventuelle évolution ultérieure avec un calcul en temps réel.

2.3.1. Vers une représentation informatisée du réseau

Afin de pouvoir mettre en place les algorithmes de résolution des problèmes de plus court chemin, le réseau doit être représenté d'un point de vue topologique. Dans cette représentation, le réseau s'apparente à un graphe G formé d'un ensemble de sommets S – les intersections du réseau – et d'un ensemble d'arcs A – les tracés orientés des différentes tronçons routiers –, noté :

$$G = (S, A)$$

avec G : un graphe ;

S : l'ensemble des sommets composants G ;

A : l'ensemble des paires de sommets formant les arcs de G .

Ce graphe G peut être valué et à chaque arc de A est associé un poids donné par la fonction de pondération p tel que $p : A \rightarrow \mathbb{R}^*$. Dans notre application, la pondération de chaque arc est fonction de la vitesse moyenne du tronçon qu'il représente et peut être calculé comme ci-après :

$$p(u, v) = k \frac{d_{u,v}}{v_{u,v}}$$

avec $p(u, v)$: poids de l'arc uv

$d_{u,v}$: distance métrique entre u et v

$v_{u,v}$: vitesse maximale autorisée entre u et v

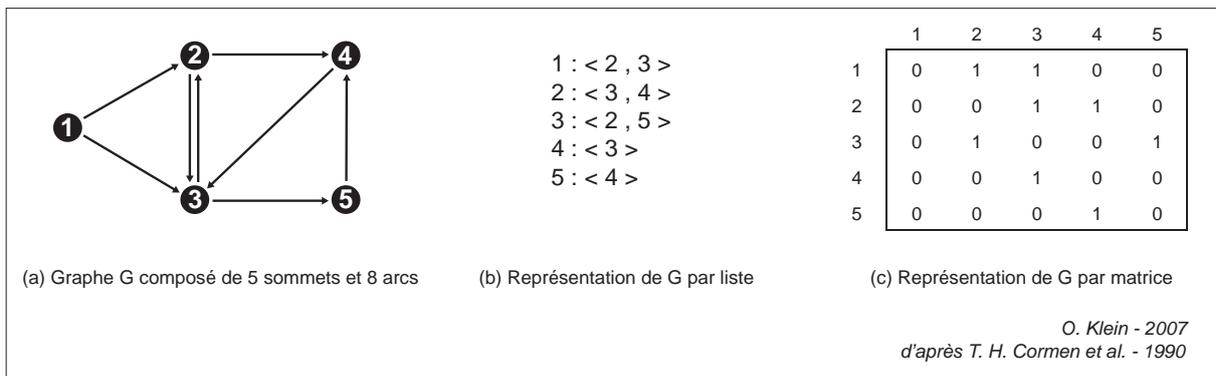
k : coefficient d'ajustement de la vitesse

Reste à voir comment stocker cette information numériquement à l'aide de deux solutions qui permettent de modéliser le réseau par le biais de la contiguïté entre les sommets du graphe : une liste ou une matrice (Cormen et *al.*, 1990).

2.3.1.1. Représentation par listes d'adjacences

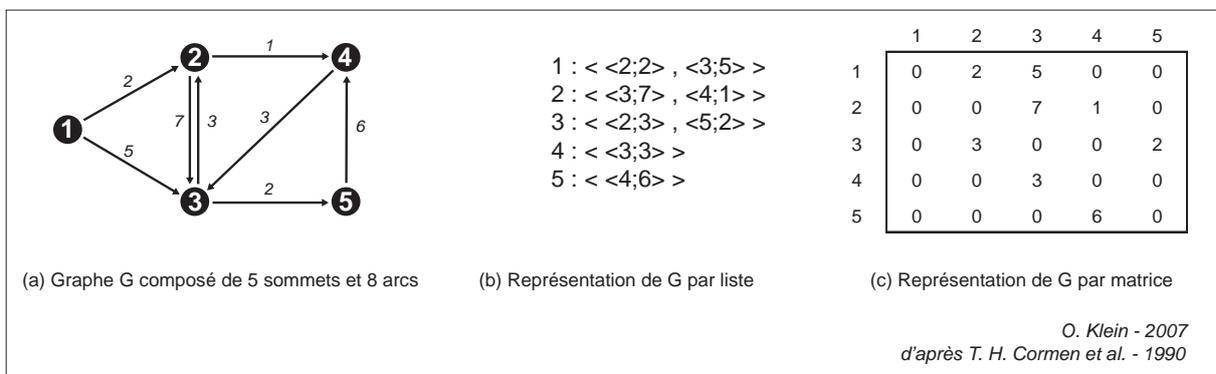
Forme de représentation d'un graphe qui énumère pour chaque sommet tous les sommets auquel il est directement relié, la liste d'adjacence est préférable d'un point de vue informatique lorsqu'on cherche à compacter le stockage d'un graphe clairsemé qui se caractérise par un nombre d'arcs $|A|$ beaucoup plus petit que l'ensemble de tous les arcs possibles $|S^2|$. Cette représentation, partiellement dynamique, consiste en un tableau t de $|S|$ listes, où chaque cellule du tableau correspond à un sommet de S . De la sorte pour chaque sommet $u \in S$ la liste d'adjacences $t[u]$ contient tous les sommets v_i adjacents à u dans G , tel qu'il existe une arête $(u, v_i) \in A$. Il est à noter que dans cette représentation, les arcs n'existent pas en tant que tel. D'un point de vue informatique, cette liste contient en réalité les adresses physiques (pointeurs) de tous les sommets reliés par une arête au sommet initial considéré. La figure 2.36-b représente un tel tableau de listes correspondant au graphe G de la figure 2.36-a.

Figure 2.36 – Représentation de l'adjacence des sommets par listes et par matrices de continuité



Lorsque ce graphique G est valué, le poids $p(u, v)$ d'un arc $(u, v) \in A$ est alors enregistré avec le sommet v dans la liste d'adjacence $t[u]$ (figure 2.37-b).

Figure 2.37 – Représentation des poids des arcs par listes et par matrices



Bien que cette possibilité de représentation du graphe G par tableau de listes soit optimal du point de vue du stockage, il n'en est pas de même pour ce qui est du temps d'accès à l'information. En effet, pour déterminer si une arête (u, v) est présente dans le graphe G , il est nécessaire de chercher v dans la liste d'adjacences $t[u]$.

2.3.1.2. Représentation par matrices d'adjacences

Forme de représentation la plus intuitive d'un graphe $G = (S, A)$, une matrice d'adjacences consiste en un tableau T de taille $S \times S$ (figure 2.36-c), où l'arc $a_{ij} \in T$ tel que :

$$\begin{cases} a_{ij} = 1, & \text{si } (i, j) \in A \\ 0, & \text{sinon} \end{cases}$$

Lorsque ce graphique G est valué, le poids $p(u, v)$ d'un arc $(u, v) \in A$ est alors enregistré dans le tableau T (figure 2.37-c), où $a_{ij} \in T$ tel que :

$$\begin{cases} a_{ij} = p(i, j), & \text{si } (i, j) \in A \\ \infty, & \text{sinon} \end{cases}$$

Cette représentation est préférable à la représentation par listes lorsque le graphique est dense, c'est-à-dire lorsque le nombre d'arcs A de G est proche de l'ensemble formé par tous les arcs possibles S^2 . Bien qu'encombrante en termes d'espace mémoire, cette implémentation permet de connaître rapidement l'existence ou non d'une arête entre deux sommets donnés.

2.3.2. Vers une modélisation du plus court chemin

Une fois que le graphe est modélisé du point de vue informatique, son parcours va supposer un certain nombre de questions que nous serons amenés à résoudre :

- deux sommets du graphe sont-ils reliés ?
- quels sont les chemins élémentaires permettant de joindre A et B ?
- parmi ces chemins, quel est le plus court ?

C'est sur ce dernier problème que nous allons focaliser notre attention et qui nécessite de définir quelques préalables avant de détailler des algorithmes.

Dans le graphe $G = (S, A)$ orienté et valué par la fonction de pondération associée $p : A \rightarrow \mathbb{R}^*$, le poids d'un chemin – suite de sommets à traverser pour joindre deux sommets quelconques – $C = \langle v_0, v_1, \dots, v_i, \dots, v_n \rangle$ s'obtient par la sommation du poids des arêtes qui le constitue :

$$p(C) = \sum_{i=1}^n p(v_{i-1}, v_i)$$

Dans notre cas, la sommation s'effectuera sur le temps de parcours des arcs tel qu'il a été défini précédemment.

Un plus court chemin peut être défini entre les sommets u et v tel que ce poids soit $p(C) = \delta(u, v)$ et le chemin le plus court du sommet u au sommet v s'écrit donc :

$$\delta(u, v) = \begin{cases} \min \{p(c) : u \rightarrow v\}, & \text{s'il existe un chemin de } u \text{ à } v \\ \infty, & \text{sinon} \end{cases}$$

Pour résoudre efficacement ce problème de plus court chemin, trois cas de figures peuvent être distingués :

- Le plus court chemin *entre deux sommets donnés* : c'est chercher à trouver un plus court chemin de u à v pour des sommets u et v donnés.
- Les plus courts chemins *depuis une origine fixée* vers toutes les autres extrémités (ou inversement les plus courts chemins à partir de toutes les extrémités jusque vers une destination fixée) : pour un graphe $G = (S, A)$ donné, on cherche à trouver un plus court chemin d'un sommet $u \in S$ à tous les sommets $v_i \in S$.
- Les plus courts chemins *depuis toutes les origines vers toutes les destinations*, c'est-à-dire trouver le plus court chemin de u à v ; ce problème pourrait être ramené à l'exécution d'un algorithme à source unique pour chaque sommet, mais des algorithmes spécifiques s'avèreront plus efficaces.

Dans chacun de ces cas, le résultat recherché est la valeur minimale ainsi que le tracé d'un chemin ayant cette valeur. Pour l'application qui nous intéresse, à savoir reconstruire la dynamique urbaine quotidienne, ce sont les deux dernières catégories d'algorithmes qui vont nous intéresser.

2.3.2.1. Un algorithme à origine unique et destinations multiples (ou inversement) : l'algorithme de Dijkstra

Le problème posé semble assez simple, contrairement, de prime abord, à sa réalisation. Énonçons le problème : *Étant donné un ensemble de points S - ensemble des sommets du graphe G - et un ensemble de liens A joignant ces sommets – ensemble des arcs de G -, comment trouver le chemin le plus court entre un sommet initial et tous ou une liste de sommets terminaux ?*

Parmi les algorithmes permettant de résoudre ce problème, celui de Dijkstra, le plus connu, semble le plus adapté. Son nom provenant du mathématicien et informaticien hollandais, Edsger Dijkstra (1930-2002), reconnu en informatique par son article fondateur sur la programmation structurée (1968).

Pour chaque sommet $v \in S$, nous cherchons à calculer la valeur minimale $min(v)$ des chemins allant du sommet de départ u à v . L'algorithme de Dijkstra repose sur un principe d'exploration du graphe à partir du « meilleur », c'est-à-dire à partir du meilleur prédécesseur visité que l'on note $pred(v)$.

Un sommet v est dit « visité » si au moins un chemin de u à v a été évalué. Ce sommet visité possède alors les valeurs $min(v)$ et $pred(v)$ provisoires. Ces deux valeurs sont définitives et donc correctes, lorsque le sommet v est dit « calculé ». Initialement, avant la première étape, de l'algorithme, seul le sommet u - point de départ des chemins - est calculé avec $min(u)=0$ et $pred(u)=\{\}$. Ensuite, chaque successeur $succ(u)$ est visité avec $min(succ(u))=p(u, succ(u))$ et $pred(succ(u))=u$. A partir de ce principe, l'exploration se poursuit et consiste à chercher, parmi les sommets visités non encore calculés, un sommet dont la valeur $min(v)$ est minimale. $min(v)$ et $pred(v)$ sont alors définitifs et v sera marqué comme étant calculé. Chaque successeur v non encore visité devient visité avec $min(v)=min(u)+p(u,v)$ et $pred(v)=u$ si $min(v) > min(u)+p(u,v)$.

A partir des travaux de E. W. Dijkstra (1959) repris notamment par T. Cormen et al. (1990), l'algorithme de Dijkstra peut être écrit comme présenté sur la figure 2.38.

Figure 2.38 – Algorithme de Dijkstra

```

InitialisationSourceSimple (G, s)
  Pour chaque sommet  $v \in V[G]$ 
    Faire  $min(v) \leftarrow \infty$ 
          $pred(v) \leftarrow nil$ 
   $min(s) \leftarrow 0$ 

Relax (u, v, p)
  Si  $min(v) > min(u) + p(u, v)$ 
    alors  $min(v) \leftarrow min(u) + p(u, v)$ 
          $pred(v) \leftarrow u$ 

Dijkstra (G, p, s)
  InitialisationSourceSimple (G, s)
   $s \leftarrow \emptyset$ 
   $Q \leftarrow V[G]$ 
  Tant que  $Q \neq \emptyset$ 
    Faire  $u \leftarrow \text{ExtraitMinimum}(Q)$ 
          $s \leftarrow s \cup \{u\}$ 
         Pour chaque sommet  $v \in t[u]$ 
           Relax (u, v, p)

```

O. Klein - 2007
d'après E.W. Dijkstra - 1959 et T.H. Cormen et al. - 1990

La logique de cet algorithme repose sur deux structures : un graphe, représentation mathématique du réseau de déplacement et des «tas», files de priorités qui organisent les noeuds du graphe sous la forme d'une relation d'ordre.

Par ailleurs, il existe un autre algorithme, celui de Bellman-Ford, qui est adapté aux arcs ayant des poids négatifs. Comme ce cas de figure ne peut exister dans notre application, il ne sera pas développé.

2.3.2.2. Un algorithme à origines et destinations multiples : l'algorithme de Floyd

Publié en 1962, l'algorithme de Floyd (Figure 2.39) – que l'on retrouve également sous le nom de Roy-Warshall-Floyd – permet de calculer pour tout sommet u et pour tout sommet v , la valeur minimale des chemins de u à v que l'on note $dist(u,v)$.

La procédure mise en place dans cet algorithme calcule dans le graphe $G = (S, A)$, pour chaque paire de sommets $(i, j) \in S$, la distance minimale $dist(i,j)$ de tous les chemins entre i et j dont les sommets sont intermédiaires.

Figure 2.39 – Algorithme de Floyd

```

Initialisation ( $G, dist, pred, n$ )
 $dist \leftarrow G$ 
Faire Pour  $i \leftarrow 1$  à  $n$ 
  Faire Pour  $j \leftarrow 1$  à  $n$ 
    Si  $dist(i, j) > 0$ 
       $pred(i, j) = i$ 

FloydWarshall( $G$ )
 $n \leftarrow compter(sommets(G))$ 
Initialisation ( $G, dist, pred, n$ )
Faire Pour  $k \leftarrow 1$  à  $n$ 
  Faire Pour  $i \leftarrow 1$  à  $n$ 
    Faire Pour  $j \leftarrow 1$  à  $n$ 
      Si  $dist(i, j) > dist(i, k) + dist(k, j)$ 
         $dist(i, j) \leftarrow dist(i, k) + dist(k, j)$ 
         $pred(i, j) \leftarrow pred(k, j)$ 

```

O. Klein - 2007

d'après R.W. Floyd - 1962, T.H. Cormen et al. - 1990

A partir de ces algorithmes, nous pouvons à présent construire les chemins entre origines et destinations sur la base de notre hypothèse de départ reposant sur l'utilisation du plus court chemin – d'un point de vue temporel – par les individus. L'annexe 4 détaille la fenêtre de paramétrage du prototype d'application permettant de valuer les tronçons en fonction de leurs classements physique et fonctionnel ; classements issus de la *BD Géoroute* de l'IGN.

A présent, l'ensemble des données nécessaires étant collecté et/ou recalculé, il convient de leur créer une structure cohérente afin de pouvoir les exploiter dans toutes leurs dimensions avec pour objectif final leur visualisation.

Chapitre 4 - De la reconstruction des données à leur structuration

Les données nécessaires à notre approche étant désormais complètes – grâce aux étapes successives de collecte et de modélisation de l'information – il convient de les organiser pour les rendre exploitables et opérationnelles. Pourvoir ces données d'une structure doit permettre de simplifier les traitements en aval, qu'il s'agisse de les interroger dans toutes leurs dimensions ou de les représenter selon des approches traditionnelles ou novatrices. Leur particularité étant leur nature spatio-temporelle, une attention particulière est portée simultanément à leurs dimensions constituantes, spatiales et temporelles.

1. Une nécessaire structuration appuyée sur les SGBD⁶

De manière classique, pour une exploitation statistique, une cartographie assistée par ordinateur ou dans les cas les plus usuels d'utilisation d'un SIG (Système d'Information Géographique), l'information est structurée sous la forme d'un tableau d'information. Les informations nécessaires sont réunies en associant à une composante spatiale désignée par un identifiant, une composante sémantique composée des caractéristiques et des propriétés de l'unité spatiale. Deux types de tableaux se distinguent de par leur forme avec, d'une part, des tableaux d'information géographique et, d'autre part, des tableaux d'échanges.

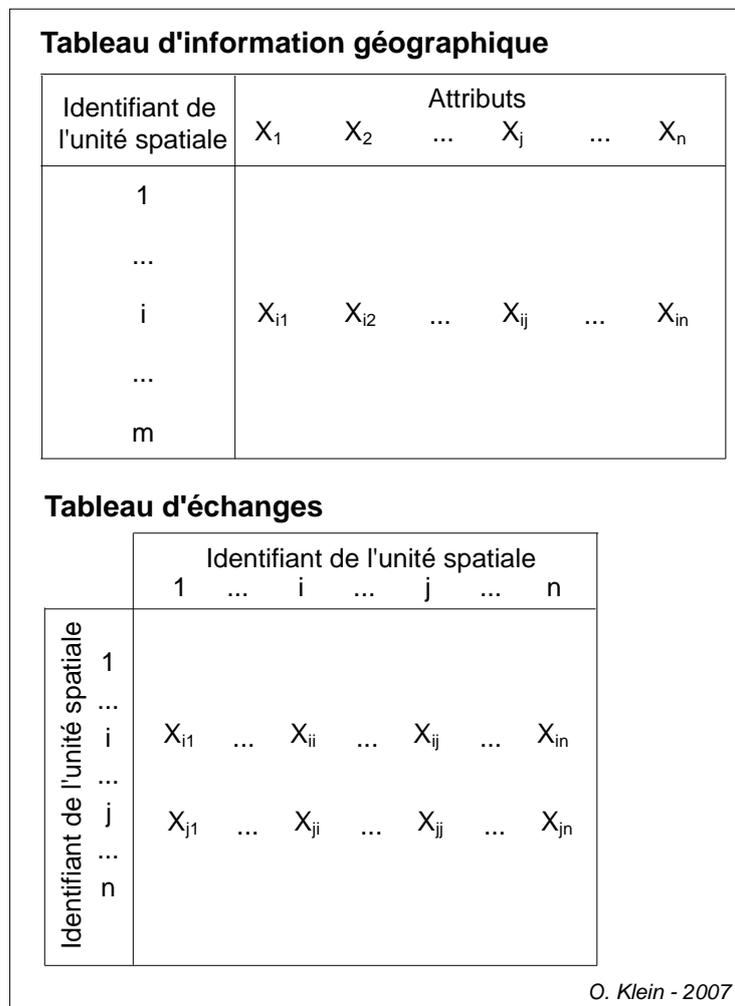
Dans un *tableau d'information géographique*, une ligne correspond à une unité spatiale et une colonne à un attribut (Figure 2.40). Ces attributs peuvent être de natures diverses,

⁶ *Système de Gestion de Bases de Données (SGBD)* : ensemble des programmes informatiques de gestion et d'accès à une base de données.

aussi bien qualitatifs – avec un niveau de mesure nominal ou ordinal – que quantitatif – avec un niveau de mesure d’intervalle ou de rapport -. Avec cette organisation de l’information, divers traitements et analyses sont possibles : statistiques, analyse spatiale, etc. Mais, cette forme d’organisation des données s’avère inadaptée dès lors que la dimension temporelle est introduite et que ces temporalités sont nombreuses. En effet, à tout changement mesuré, il faudrait associer un nouvel attribut, c’est-à-dire une nouvelle colonne dans le tableau. Si ces changements sont limités, une grande part de l’information sera redondante et la taille de la matrice devient rapidement considérable et difficilement gérable.

Dans un *tableau d’échanges*, chaque cellule – intersection d’une ligne et d’une colonne – décrit les relations entre unités spatiales. Il est généralement utilisé pour appréhender les échanges entre les unités spatiales. De toute évidence, il s’avère inadapté lorsque les modalités temporelles sont multiples et lorsqu’on introduit les chemins suivies par les échanges.

Figure 2.40 – Tableaux d’informations classiques



Il est par conséquent nécessaire de dépasser cette vision classique et statique d’organisation de l’information pour s’orienter vers une structuration des données plus adaptative comme le permettent les Systèmes de Gestion de Bases de Données (SGBD) pour introduire le temps et par la suite une dynamique.

2. Une question permanente et mal résolue : la prise en compte du temps dans les bases de données

La question du temps, enjeu central et décisif de la société actuelle, comme nous avons pu le voir en première partie, a également son importance en informatique, notamment lorsqu'on cherche à modéliser les caractéristiques du monde qui nous entoure et qui est, de par sa nature même, dynamique et en perpétuelle évolution.

2.1. Les rapports entre informatique et temps

Informatique et temps ont des liens et des rapports très étroits que l'on peut qualifier d'internes (Gruet *et al.*, 2002), qui font manifestement référence au séquençage dans le temps d'un ensemble d'actions élémentaires réalisées par le processeur au cours du temps. Ainsi, de par leur constitution – une suite d'étapes à réaliser dans un ordre déterminé, les programmes informatiques s'appuient sur la propriété d'ordonnement du temps, témoignant de leur dépendance au concept de temps. Par ailleurs, ce temps est également utilisé comme mesure de l'efficacité d'un programme, qui intrinsèquement traduit la complexité d'un problème.

Aux côtés de ce rapport interne, avec une gestion de l'information dans le temps, l'informatique manipule de l'information ayant des composantes temporelles. Ce rapport entre informatique et temps, que l'on peut qualifier d'externe, pose le problème de la représentation et de la modélisation de ce temps au sein de systèmes numériques. Comment et sous quelle forme manipuler des objets temporels ?

Pour J. Allen (1983), différentes possibilités de représentations sont envisageables, qui dépendent des conceptions temporelles sur lesquelles nous nous appuyons et dont nous avons fait état en première partie. Ainsi la représentation du temps retenue dépend des hypothèses de départ tout en faisant intervenir des notions qui peuvent être envisagées comme des paramètres des modèles de structuration des données :

- l'**ordre**, c'est-à-dire la relation entre les différents éléments d'un ensemble, qui permet d'agencer les événements ;
- le **degré** d'exactitude qui renvoie aux niveaux de mesure retenus : ordinal pour un simple ordonnancement d'événements, intervalle pour des datations exactes, ou de rapport si l'on s'intéresse davantage aux durées des phénomènes ;
- la **durée** qui se définit comme un espace de temps qui s'écoule par rapport à un phénomène, entre deux limites observées, avec soit une mesure instantanée, soit une mesure par intervalles temporels.

Pour représenter le temps, il faut également déterminer le type d'objets temporels manipulés pour pouvoir les modéliser de manière adaptée dans le système informatique. Il faut des éléments d'ontologie des temps, indispensables à une structuration adaptée de l'information.

Définie comme la spécification d'une conceptualisation d'un domaine de connaissance (T. Gruber, 1993), l'ontologie a une étymologie qui renvoie à des notions tournant autour de la théorie de l'existence. Cette dernière cherche à expliquer les concepts qui coexistent dans le monde et leur organisation. En informatique, cette connaissance se limite à ce que l'on peut représenter numériquement, aux objets et à leurs composantes. Alors, comment représenter numériquement le temps comme objet dans un système d'information ? Une approximation préalable est nécessaire : comme pour l'espace, alors que la réalité est de nature continue, une approximation discrète est nécessaire pour appréhender le temps. Concrètement, deux façons de représenter le temps sont envisageables selon l'élément d'ontologie retenu : instant ou intervalle.

En premier, une représentation par un domaine ponctuel, c'est-à-dire une simplification du temps sous la forme d'un ordonnancement linéaire d'instantants dont la formalisation mathématique est la suivante :

$$T_p = (T, <)$$

T_p : un temps selon un domaine ponctuel

T : ensemble d'instantants

$<$: relation d'ordre linéaire sur T

En second, une représentation par un domaine d'intervalles qui renvoie à une description assez naturelle des périodes de temps et qui se formalise de la manière suivante :

$$\text{Soit } T_p = (T, <)$$

$$I(T) = \{(a, b) : a \leq b, a \in T \cup \{-\infty\}, b \in T \cup \{\infty\}\}$$

$I(T)$: un temps selon un domaine d'intervalle

a, b : des instants bornant l'intervalle

Si l'on en croit de nombreux auteurs comme J. Allen, la conception du temps selon un domaine d'intervalle serait généralement davantage utilisée en intelligence artificielle alors que le domaine ponctuel serait mieux adapté pour les bases de données.

Avant de poursuivre le développement de la modélisation de l'information temporelle et spatio-temporelle dans une base de données, il faut préalablement lever une ambiguïté de nature ontologique, à savoir la spécification du temps manipulé dans le système d'information.

2.2. Identification des temps des bases de données

En cherchant à intégrer le temps dans les systèmes d'information géographiques, il faut, tout d'abord, distinguer les différents temps manipulés pour éviter toute ambiguïté. Un consensus sur le vocabulaire relatif aux différents temps a été entrepris notamment par R. T. Snodgrass et I. Ahn (1985) et C. S. Jensen et *al.* (1992, 1994 puis 1998).

Tout d'abord, il paraît évident de distinguer un temps de la réalité observée et un temps stocké dans la base de données. Dans ce dernier cas, le temps valide d'un fait correspond au moment ou à la période où le fait est vrai dans la réalité modélisée (Jensen, 1994). Quant au temps du réel, il correspond au temps où les faits sont valides et observés ou mesurés dans la réalité étudiée. Plusieurs auteurs distinguent ces deux temps avec des appellations divergentes. Cette opposition entre temps valide et réel devient logique et physique pour V. Lum et *al.* (1984), d'un niveau objet et système pour A. Boulour et L. J. Dekeyser (1983) ou plus simplement temps du monde et temps de la base de données pour G. Langran (1993).

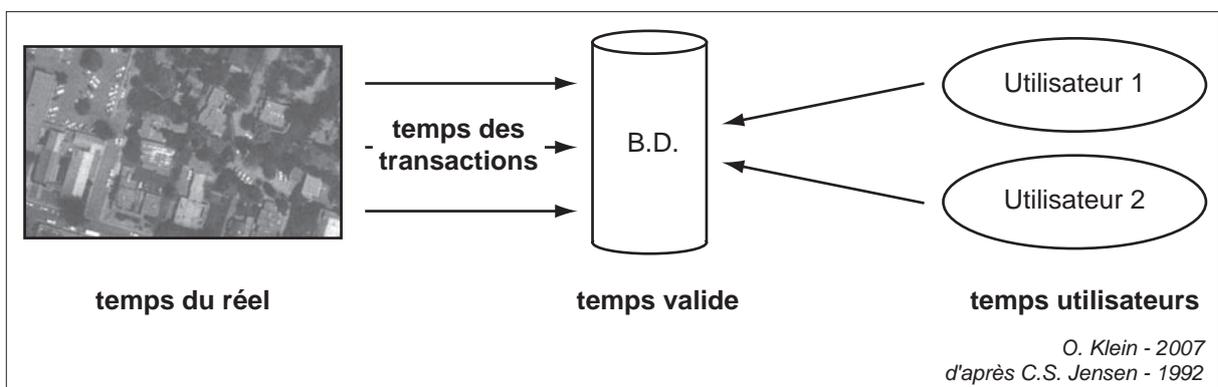
A cela, il convient d'ajouter un temps des transactions, qui se caractérise par la succession d'opérations effectuées sur la base de données en distinguant éventuellement les transactions d'acquisition des transactions de modification. Ce temps particulier se replace au niveau des métadonnées pour assurer un suivi et une traçabilité des opérations effectuées dans la base.

L'utilisateur qui consulte la base de données se situe dans ses propres temporalités – un temps utilisateur – qui se rapprochent d'un temps d'observation de la réalité qui peut être direct ou différé en fonction du décalage existant entre temps réel et temps valide :

Temps réel - Temps valide \approx 0	Etat en temps réel
Temps réel - Temps valide $<$ 0	Archives et exploitation <i>a posteriori</i>
Temps réel - Temps valide $>$ 0	Simulation et prospective

Ces différents temps qui coexistent dans et autour des bases de données sont illustrés sur la figure 2.41.

Figure 2.41 – Les temps de la base de données



Les différenciations entre les temps multiples et coexistant dans et autour des bases de données étant posées, il convient d'aborder maintenant les possibilités de modélisation du temps – et plus précisément du temps valide – à partir des grandes approches existantes.

3. Approches et classification des modèles de données spatio-temporels

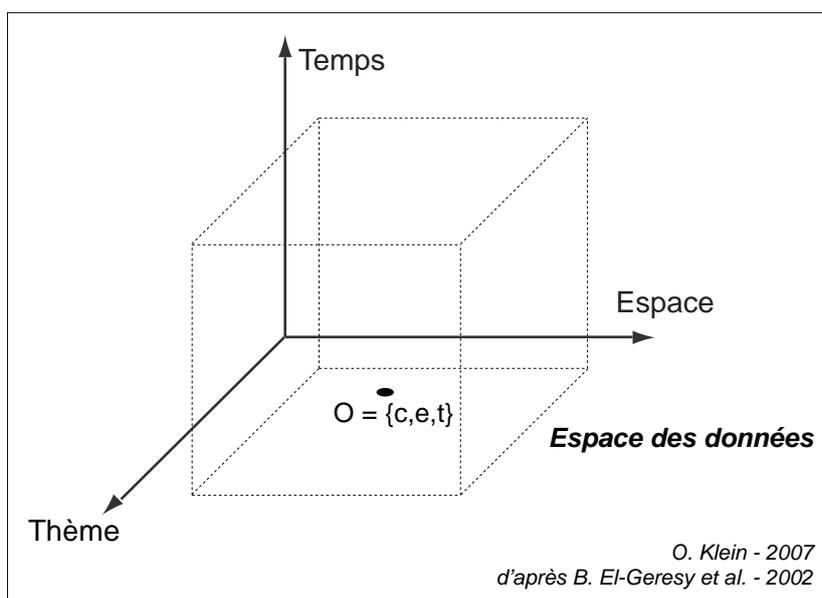
L'objectif est de proposer une organisation des données spatio-temporelles se conformant à la fois à la conceptualisation du monde, telle qu'elle apparaît dans les concepts géographiques, et aux contraintes techniques combinant précision et flexibilité.

Traiter informatiquement les données collectées précédemment nécessite, d'une part, un codage de l'information dans un langage compréhensible par la machine, et d'autre part, une organisation cohérente et optimisée de l'information pour éviter notamment toute redondance tel que le propose E. F. Codd, dès 1970 avec les modèles relationnels de données. Un modèle de données est le noyau conceptuel d'un système d'information ; il définit les types de données, les relations, les opérations et maintient l'intégrité de la base de données (Codd, 1980), en bref il pose les éléments d'organisation et de structuration de l'information.

Cette structuration des données est abordée par diverses méthodes d'analyses, de modélisation et de traitements comme Merise (Tardieu et al., 1983) ou UML – Unified Modeling Language – (Muller et Gartner, 2004). Dans notre approche des mouvements quotidiens, une particularité réside dans le fait que l'information manipulée combine trois types de dimension : spatiales, temporelles et thématiques.

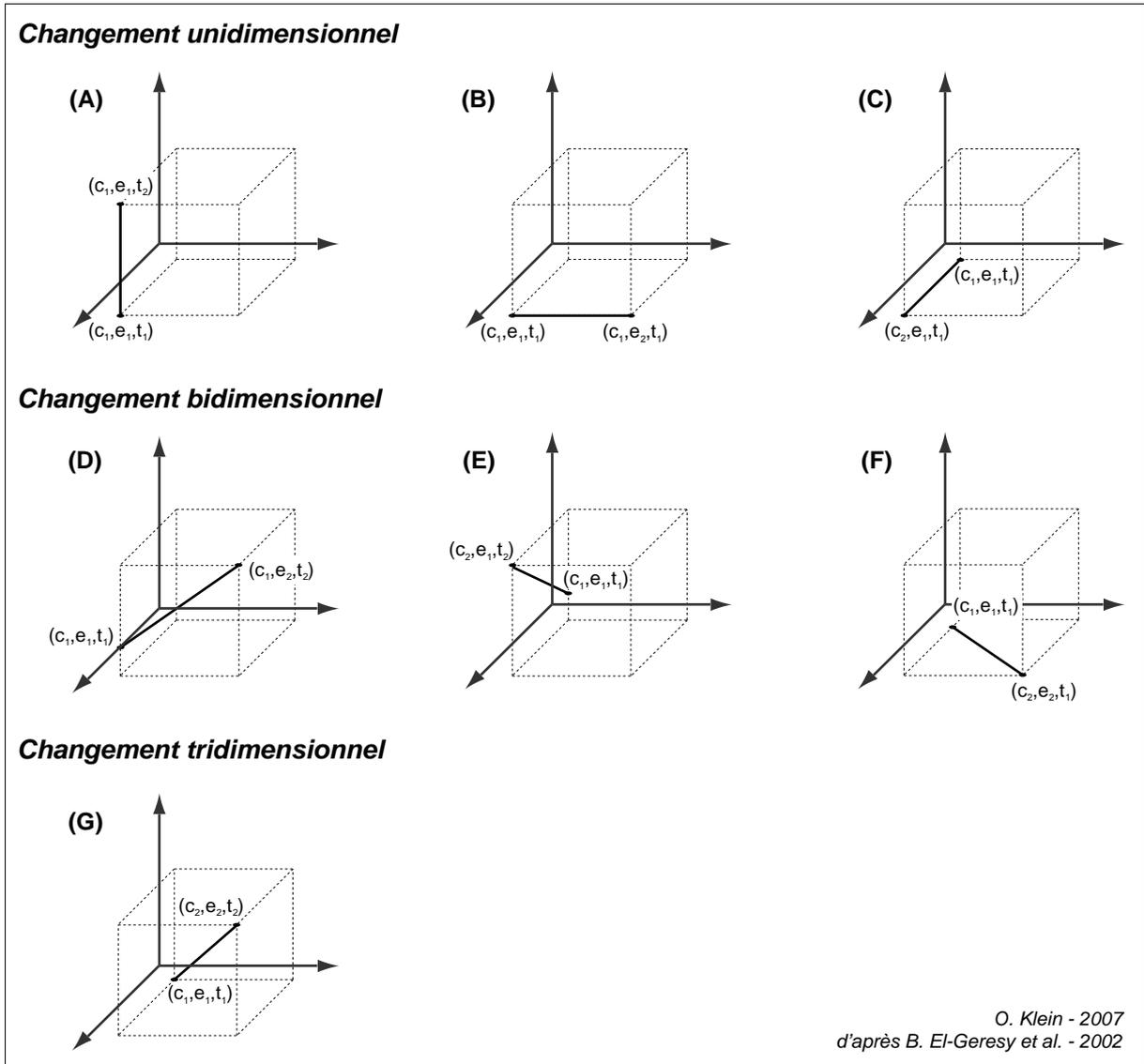
Il faut alors se placer dans une approche conforme à celle proposée par B. A. El-Geresy et al. (2002), où toute information ou tout objet présent dans la base de données est caractérisé par un état. Cette notion signifie que tout objet spatio-temporel, noté O , peut être défini par le triplet thème – espace – temps noté $O = \{c, e, t\}$, où c est une instance de la thématique définissant l'objet manipulé, e une instance définissant ses propriétés spatiales et t une instance de ses propriétés temporelles. Cet objet spatio-temporel O se positionne donc dans un espace tridimensionnel espace-thème-temps tel que présenté sur la figure 2.42.

Figure 2.42 – Position d'un objet spatio-temporel dans un espace tridimensionnel



Par ailleurs, une suite d'états SE d'un objet spatio-temporel notée $SE = \langle O_1, O_2, \dots, O_i, \dots, O_n \rangle$ définit les changements et les transformations successives selon une ou plusieurs dimensions le constituant. Ainsi, *états* et *changements* permettent d'appréhender l'information spatio-temporelle et son évolutivité quelle que soient la ou les dimensions considérées (Figure 2.43).

Figure 2.43 – Changements d'états possibles d'un objet spatio-temporel



Les changements d'états d'un objet peuvent être simplement unidimensionnels (Figure 2.43 – A, B et C). S'ils sont uniquement spatiaux, nous disposerons par exemple de plusieurs niveaux de précisions spatiales de l'objet avec des caractéristiques et des temps constants. Mais ils peuvent également être uniquement temporels avec la variation dans le temps d'une même combinaison espace-attributs ou uniquement thématique avec une déclinaison de thèmes à espace et temps constants.

Des changements plus complexes peuvent survenir simultanément dans deux dimensions (Figure 2.43 – D, E et F) avec, par exemple, pour un thème fixé, une modification dans les dimensions spatiales et temporelles qui se traduisent par des changements de positions de l'objet étudié dans l'espace en fonction du temps. Enfin, le cas le plus complexe est constitué par les changements dans les trois dimensions où des modifications s'effectuent dans chaque composante spatiale, temporelle et thématique.

Ces différentes combinaisons d'états et de changements doivent apparaître dans la structure finale du modèle de données qui sera retenu. Toutefois, nous allons d'abord nous attarder sur une analyse des grandes familles de modèles de données spatio-temporels afin de disposer de bases solides pour la construction ultérieure du modèle adapté à notre démarche et à nos données.

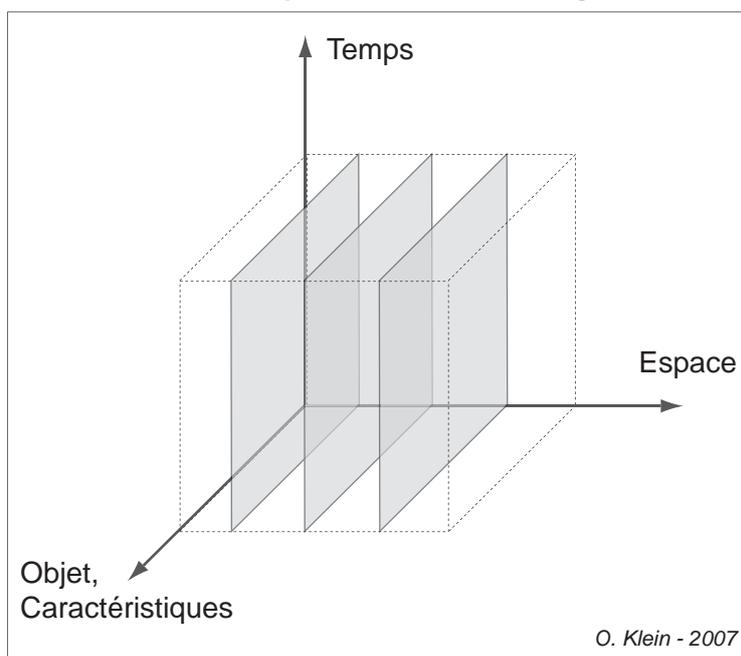
3.1. Les modèles de données à base unique

Les modèles de données spatio-temporels les plus simples s'appuient sur une des dimensions élémentaires identifiée sur la figure 2.42 – espace, temps ou caractéristique - pour l'utiliser comme support central à l'organisation des données.

3.1.1. Cas des modèles à base spatiale

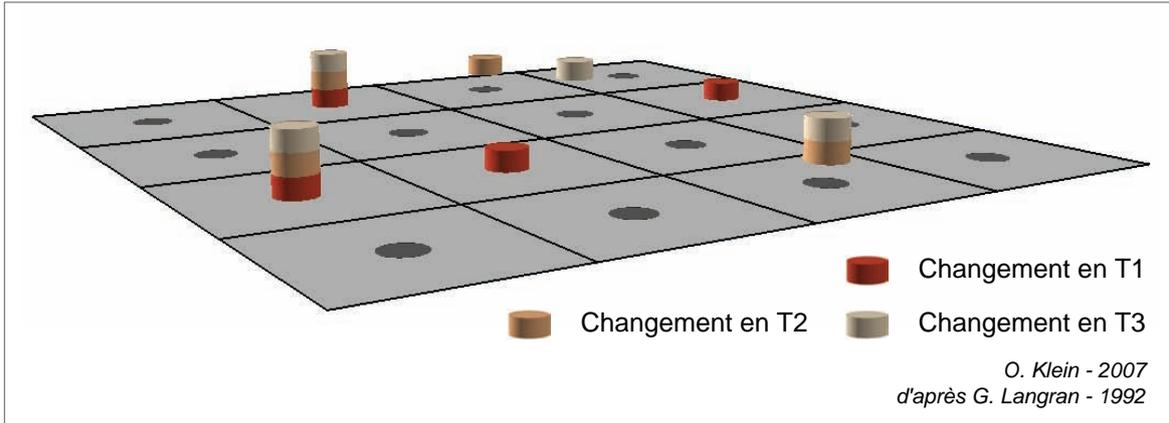
Dans ce premier cas de base de données à support de structuration unique, l'espace est utilisé comme base organisationnelle, une approche qui semble bien évidente à tout géographe. En reprenant l'approche et les éléments posés par B. A. El-Geresy, cités précédemment et explicités sur la figure 2.42, ce modèle, nous permet de disposer d'une collection de caractéristiques-temps le long d'un axe spatial (Figure 2.44).

Figure 2.44 – La dimension spatiale comme base organisationnelle



Cette approche est similaire aux modèles de structuration que l'on retrouve dans les systèmes d'information géographique de type raster, où chaque cellule de la grille contient une liste d'attributs qui changent. Ceci a l'avantage de résoudre le problème de la redondance d'information en ne stockant que les attributs changeants à leur position spatiale (figure 2.45). Toutefois, avec ce type de modélisation, la manipulation des entités géographiques est délicate. Retenir une telle solution de structuration n'est adaptée que pour les cas de figure où les éléments spatiaux sont relativement stables c'est-à-dire avec peu ou pas de modification dans la géométrie et la position des objets.

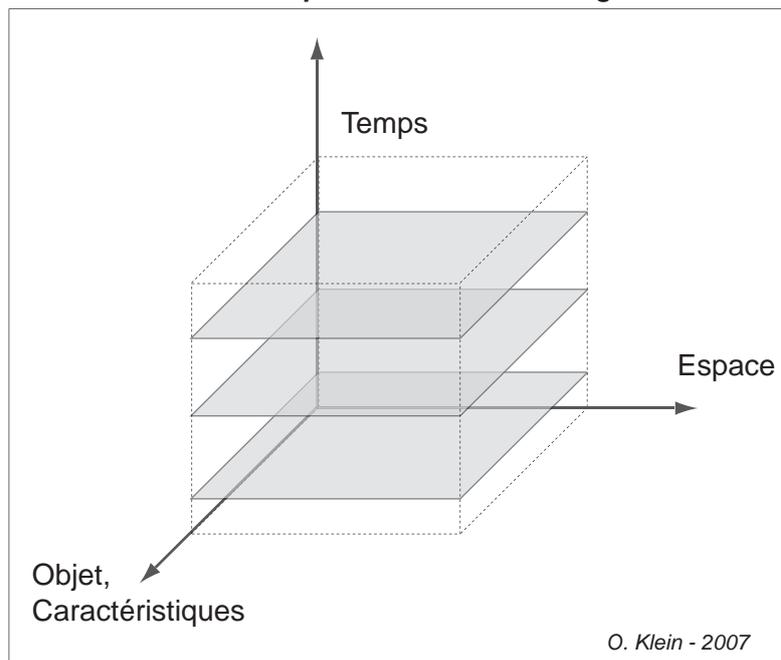
Figure 2.45 – Un exemple issu d'une structuration à base spatiale



3.1.2. Cas des modèles à base temporelle

En prenant le temps comme base organisationnelle du modèle de données, les enregistrements correspondent à une collection d'association espace-thématique le long d'un axe temporel (Figure 2.46) ; chaque état ou changement est collecté à un temps spécifique, qui peut être établi soit à intervalles réguliers, soit de manière irrégulière, c'est-à-dire seulement au moment où des changements significatifs surviennent.

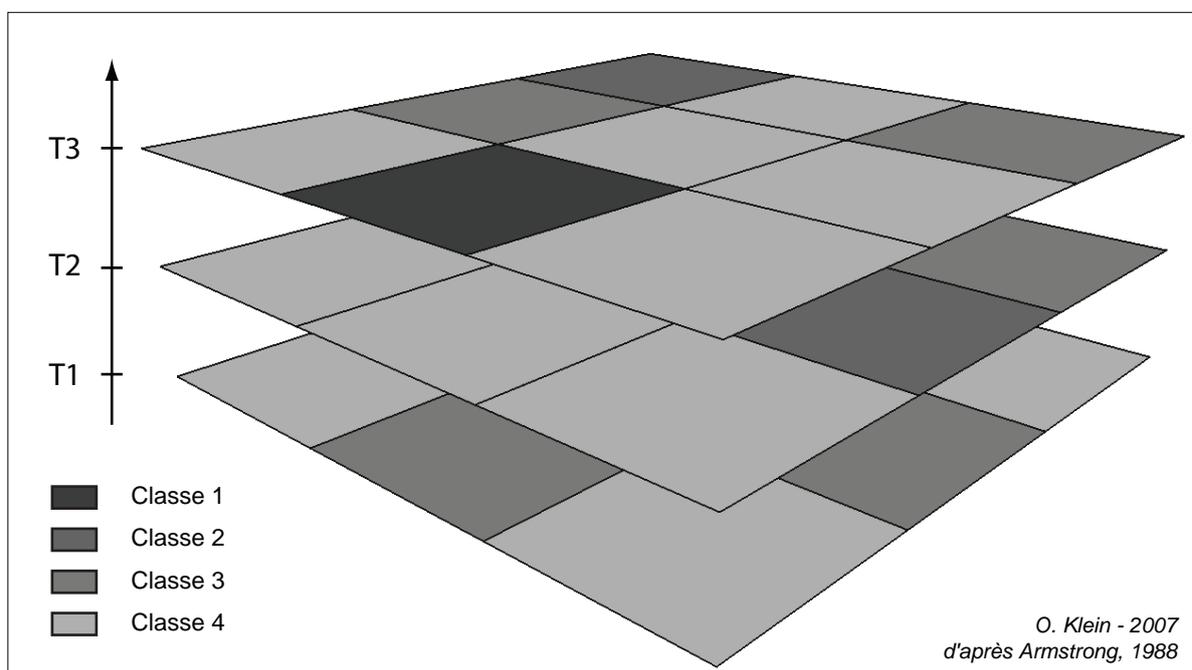
Figure 2.46 – La dimension temporelle comme base organisationnelle



Trois approches peuvent être différenciées, selon le type de représentation du temps adopté. Nous distinguons ainsi des modélisations des données à base d'états, à base d'événements et à base de processus.

L'approche à base d'états proposée pour la première fois par M. P. Armstrong (1988) sous l'appellation *Snapshot Model*, cette modélisation temporelle à base d'états se conçoit assez aisément comme une série de photographies réalisée sur un territoire. Cette modélisation repose sur la manipulation d'une série d'états, pouvant être notée $SE = \langle O_1, O_2, \dots, O_i, \dots, O_n \rangle$. La structure du système d'information est construite comme un empilement de couches espace-caractéristiques selon le temps (Figure 2.47).

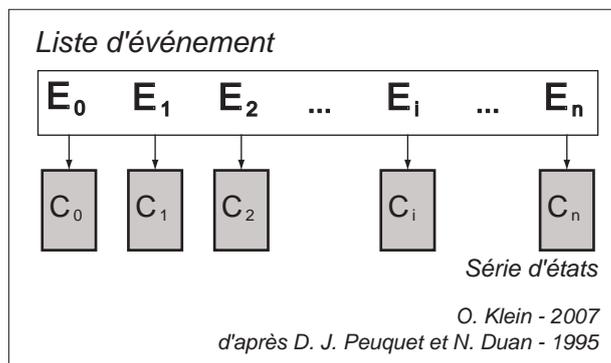
Figure 2.47 – La modélisation temporelle d'états : un empilement de couches



Une telle modélisation est avantageuse dans le cas de requêtes nombreuses selon des critères et des entrées temporels. Le résultat correspond alors à un état directement extrait du système d'information. Cependant, la structuration de l'information étant établie sur une suite d'états, la redondance d'information est très forte dès lors que peu de changements surviennent. De plus, un autre inconvénient réside dans le fait que ce modèle ne permet pas de gérer l'évolution spatio-temporelle des objets. Cette lacune est due à une gestion impossible des relations spatiales dans le temps.

Pour résoudre les problèmes de la précédente approche, c'est-à-dire une trop forte redondance d'information lorsque les changements sont peu nombreux, D. J. Peuquet et N. Duan (1995) proposent un modèle à base événementielle intitulé *Event-based Spatio-Temporal Data Model* (ESTDM). Ce modèle (Figure 2.48) ne stocke qu'une liste d'événements ordonnés dans le temps, notés E_i , et les changements associés notés C_i .

Figure 2.48 – Une modélisation temporelle à base événementielle



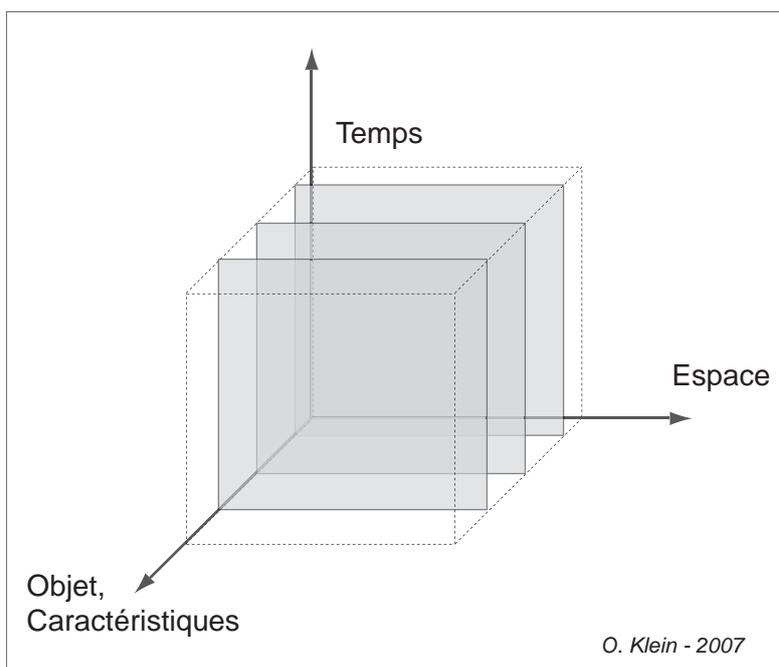
L'avantage principal de cette approche consiste bien à régler le problème de la redondance d'informations inutiles lorsque peu de changements surviennent. De toute évidence, cet avantage implique un inconvénient de taille lié à l'interrogation de la base de données à des temporalités non présentes dans le système d'information. Que faire si le temps sur lequel porte la requête n'est pas présent dans la liste d'événements ? Avant toute chose, une bonne connaissance de la thématique étudiée est indispensable afin de procéder à des interpolations temporelles pertinentes et adaptées pour reconstituer au mieux les éléments manquants.

La modélisation à base processuelle proposée par C. Claramunt et M. Thériault (1995) est un cas particulier de modélisation à base événementielle. Reprenant les principes de l'approche précédente, la modélisation à base processuelle enrichit le concept de changement en prenant en compte, notamment, les transformations des entités spatiales. Ainsi, l'évolution des entités, les relations fonctionnelles entre elles et l'évolution des structures spatiales comportant plusieurs entités peuvent être envisagés. Si l'on en croit les auteurs, cette approche aurait des capacités d'interrogations et d'analyses spatio-temporelles nombreuses, mais elle ne semble pas répondre à nos attentes.

3.1.3. Cas des modèles à base thématique

Afin de développer cette approche jusqu'au bout, une troisième grande catégorie de modèles structurés autour d'une base organisationnelle unique est à aborder, à savoir celle avec une base thématique. Elle se construit avec une collection d'espace-temps disposés le long de d'un axe thématique (Figure 2.49).

Cette structuration repose sur le concept d'objet, issu de la programmation informatique, où un objet est considéré comme une représentation d'une entité du monde réel avec des attributs et des traitements spécifiques associés. Cette approche considère que le système d'information est composé d'une collection d'objets définis par des propriétés, c'est-à-dire des données décrivant l'état de l'objet, avec dans notre cas une localisation, une description géométrique et une temporalité, et des opérations décrivant son comportement. De par ces caractéristiques, cette structuration des données introduit des notions inhérentes à l'approche orientée objet comme l'identité, la classification, le polymorphisme et l'héritage.

Figure 2.49 – Une organisation des données à base thématique

Dans la mise au point de modèles de données spatio-temporels, à notre connaissance peu de développements suivent une approche basée sur une organisation purement thématique. La définition même de cette notion d'objet est en général associée à une des deux autres dimensions, espace ou temps.

En définitive, cette modélisation informatique des données organisée autour d'une base unique possède, dans chacun des cas, les mêmes inconvénients en raison des limites dans l'interrogation pluri-dimensionnelle des données. En effet, alors que les requêtes s'appuyant sur les dimensions organisationnelles sont effectuées aisément, le résultat est bien différent lorsque l'interrogation s'effectue par les deux autres dimensions. En effet, une interrogation selon les autres dimensions nécessite soit l'usage d'une imbrication de requêtes successives, soit la mise au point de procédures plus ou moins complexes pour reconstituer l'information dans la base de données (interpolation...), voire même l'impossibilité de disposer de certaines informations dans les cas les plus extrêmes. Par conséquent, toutes ces approches sont inadaptées pour notre démarche. Il est nécessaire d'élaborer un modèle selon des bases organisationnelles multiples pour une exploitation ultérieure pluri-dimensionnelle.

3.2. Les structurations selon des bases organisationnelles multiples

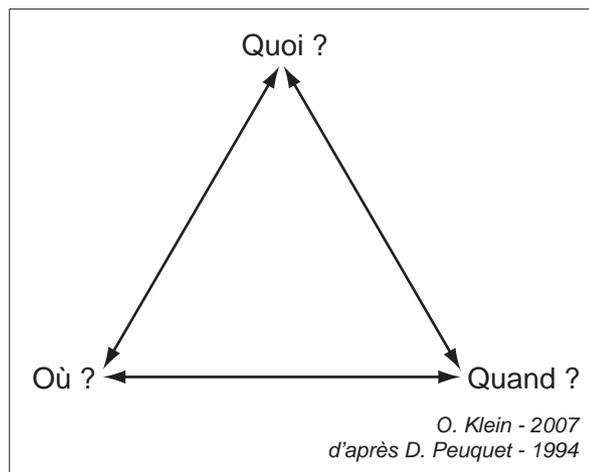
Les approches construites selon une structuration organisationnelle à bases multiples s'appuient sur les questions fondamentales émises en début de cette partie et correspondant au questionnement suivant : Quoi ? Où ? et Quand ?

Les deux approches qui ont retenu notre attention et qui sont présentées successivement ont servi de support à la création de notre modèle de données adapté aux déplacements quotidiens.

3.2.1. Le modèle Triad

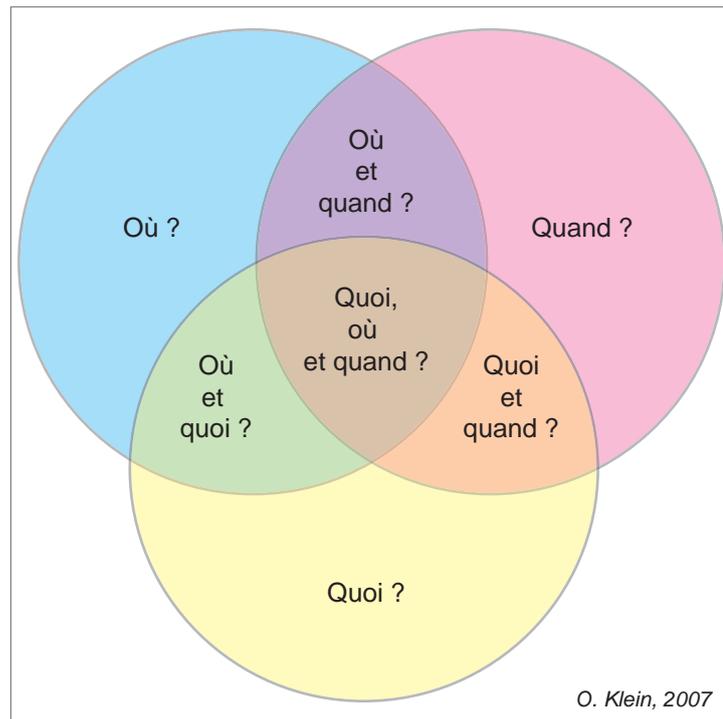
Le modèle de données Triad proposé par D. Peuquet (1994) expose les éléments pour la construction d'une structure de données organisée autour de l'interrelation entre les dimensions élémentaires espace-thème-temps (Figure 2.50).

Figure 2.50 – Les dimensions composant la structure du modèle Triad



On retrouve au sein de ce modèle les données décrites précédemment, à savoir l'espace avec la localisation des entités spatiales dans un espace à deux ou trois dimensions, le temps défini le long d'une ligne temporelle et le thème caractérisé par des attributs observés ou mesurés, associés à une localisation et un temps particulier.

Dans la conception d'un modèle de données selon les principes établis dans Triad, les données peuvent être stockées et interrogées de manière adaptée pour une exploration multidimensionnelle ultérieure, par exemple pour la recherche de structures ou de relations interdimensionnelles. Grâce à une telle structuration, l'interrogation de la base de données peut s'effectuer sur plusieurs niveaux : d'abord selon des dimensions élémentaires, ensuite par la combinaison de deux dimensions, et à l'extrême par la réunion des trois (Figure 2.51).

Figure 2.51 – Imbrication des requêtes possibles

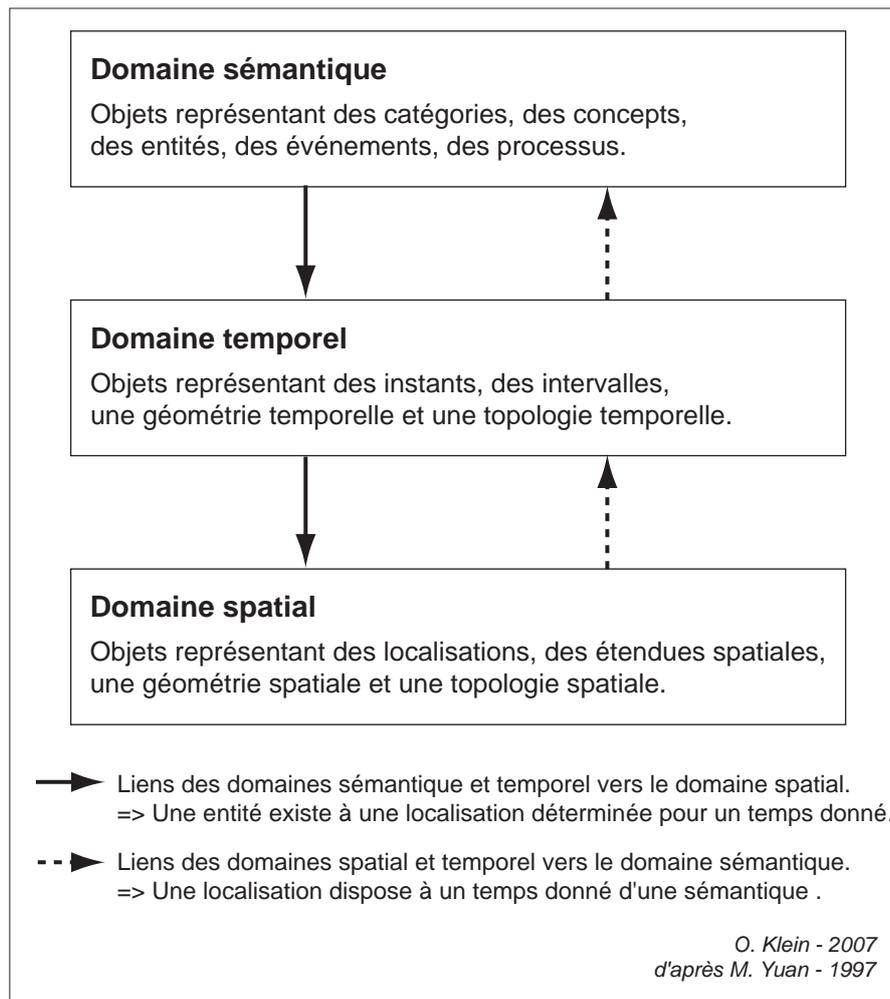
Parallèlement à ce modèle Triad, un autre modèle de données propose une structuration s'appuyant sur des bases organisationnelles multiples.

3.2.2. Le modèle trois domaines

M. Yuan (1996) a proposé, sous l'appellation Three-domain Model, une base conceptuelle pour une représentation de l'information dans une base de données sous la forme de trois domaines interreliés correspondant aux dimensions que nous avons identifiées. La figure 2.52 expose la structure d'une telle représentation qui se compose d'un domaine sémantique, d'un domaine temporel et d'un domaine spatial auxquels nous pouvons rajouter un domaine de liens.

Le domaine sémantique, que nous avons appelé dimension thématique ou caractéristique dans l'approche générale, représente ici des objets, dans le sens informatique du terme, structurés par des classes d'entités thématiques. Ceci signifie que les objets sont regroupés par thèmes dans des tables séparées mais interreliées par des relations de hiérarchie afin de maintenir une intégrité sémantique.

Le domaine temporel regroupe tous les éléments relatifs à cette dimension sous la forme d'objets temporels constitués d'attributs (mesure du temps par exemple) et de relations (comme les éléments liés à une transformation).

Figure 2.52 – Base conceptuelle du modèle trois domaines

Le domaine spatial consiste en la représentation d'objets spatiaux ou à composante spatiale. A noter que ce domaine contient un graphe spatial permettant d'enregistrer les transitions entre objets spatiaux, ce qui assure un suivi en cas d'évolution ou de transformation de ces objets.

Le domaine des liens fait état des relations entre les trois domaines précédents. Il faut prévoir qu'il n'y ait pas de lien direct entre les domaines sémantique et spatial, tout simplement du fait que pour qu'un objet soit spatial, il doit avoir une existence et donc une temporalité caractérisée par un début et une fin (validité de l'objet délimitée par sa naissance et sa mort).

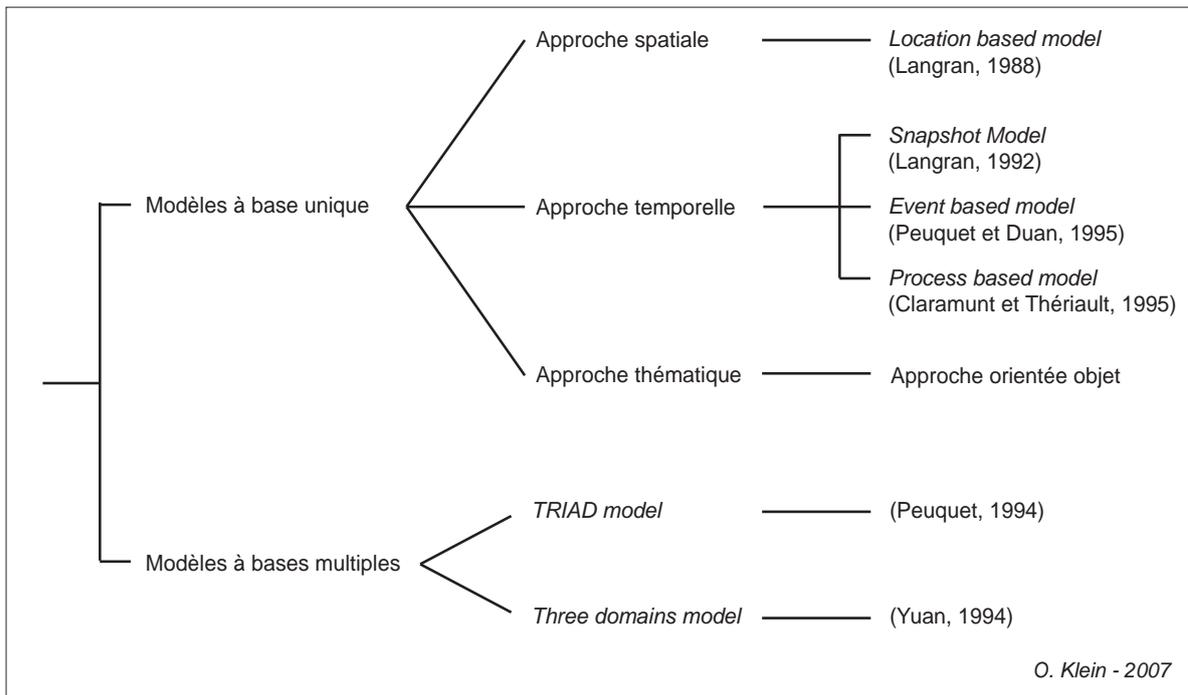
En raison de sa structure multidimensionnelle, tout comme l'approche Triad, cette approche facilite la modélisation et l'interrogation des données dans un système d'information.

3.3. Une classification des modèles : un premier bilan

Cette approche comparative des grandes catégories de modèles de données est indispensable pour opérer le choix le plus judicieux et le mieux adapté à l'exploitation ultérieure qui sera menée sur le contenu de la base de données.

Les différents modèles analysés peuvent être principalement classés selon le nombre de dimensions servant de base à la structuration et selon les catégories de dimensions impliquées (figure 2.53).

Figure 2.53 – Proposition de classification des modèles de données analysés



Parmi ces approches, aucune de celles construites autour d'une base organisationnelle unique ne peut être retenue. En effet, le fait de s'appuyer sur une base unique restreint les potentialités d'une exploitation multidimensionnelle aisée. Les problèmes fondamentaux de telles approches restent, d'une part, la complexité des relations qu'entretiennent les données entre elles et, d'autre part, la taille considérable des bases de données.

Les structures à bases multiples, quant à elles, facilitent les entrées et les questionnements inter-dimensionnels dans la base de données. Les deux approches abordées respectivement par D. J. Peuquet et M. Yuan vont servir de base pour la construction de notre propre modèle adapté à notre problématique des déplacements quotidiens.

4. Vers une structuration des données adaptée à notre démarche

L'organisation des données pour notre objet d'étude doit refléter une vision cohérente des déplacements quotidiens conceptualisés spatialement et temporellement dans le système d'information par des déplacements qui y prennent place et qui ont pour support le réseau. Tout comme les approches de D. J. Peuquet et M. Yuan, notre conception de la structure des données repose sur une interrelation entre les dimensions – ou domaines – thème, espace et temps qui correspondent bien au questionnement posé en introduction de cette partie, à savoir « Quoi ? », « Où ? » et « Quand ? ».

Nous allons à présent aborder les éléments constituant le modèle de données avant de présenter la solution de structuration retenue répondant à notre problématique et exposer la structure générale de notre système d'information.

4.1. Éléments constitutifs du modèle de données

Les trois éléments constituant les bases organisationnelles de notre modèle de données « espace, temps » et thème peuvent être appréhendés séparément avant de procéder à leur réunion dans le modèle de données proposé.

4.1.1 Modélisation de l'information géographique

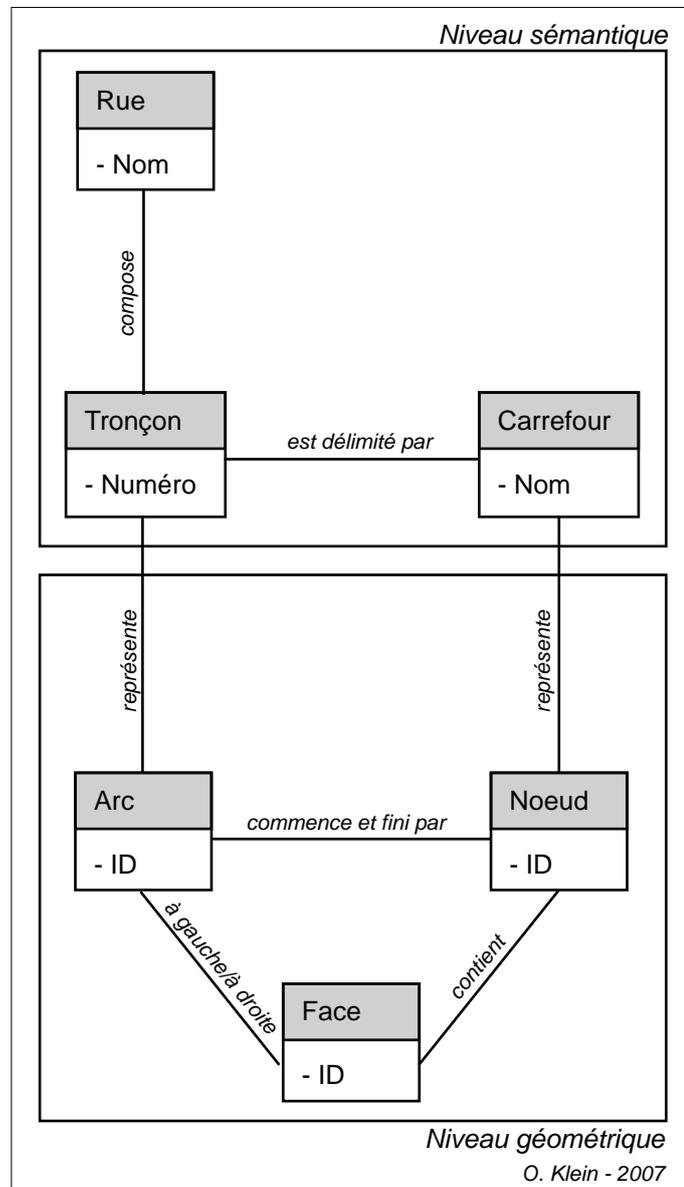
La modélisation de l'information géographique repose sur des standards reconnus par la communauté scientifique et par la communauté des utilisateurs des SIG, ceux-ci ont même fait l'objet de certifications ISO, que l'on retrouve dans la majorité des SIG du marché actuel.

Cette modélisation repose sur une conceptualisation de l'information spatiale qui distingue un niveau géométrique d'un niveau sémantique. Le premier correspond à une représentation graphique qui rend compte de la position et de la forme des objets ainsi que des relations spatiales qu'ils entretiennent entre eux. Dans cette recherche, nous avons retenu un mode de représentation vectoriel car il est plus adapté pour la modélisation des réseaux de déplacements. Dans un tel mode, les objets géographiques complexes se décomposent en objets ponctuels, linéaires et surfaciques topologiquement construits à partir de noeuds, d'arcs et de faces. Le second, le niveau sémantique, définit la nature des entités modélisées à l'aide de caractéristiques qui les différencient. De la sorte, la dimension spatiale se traduit par les relations entre les objets du niveau sémantique et les objets du niveau géométrique.

Prenons l'exemple d'une rue, un objet géographique complexe (Figure 2.54). A un niveau sémantique, elle est composée d'objets géographiques élémentaires linéaires – des tronçons – et ponctuels - des carrefours - délimitant chaque tronçon. Géométriquement, cette rue se construit par un ensemble d'arcs et de sommets. A noter que, quel que soit le niveau

d'abstraction, une rue commence toujours par une forme ponctuelle suivie d'une ou plusieurs formes linéaires et se conclut par une forme ponctuelle.

Figure 2.54 – Modélisation de l'information géographique : exemple d'une rue



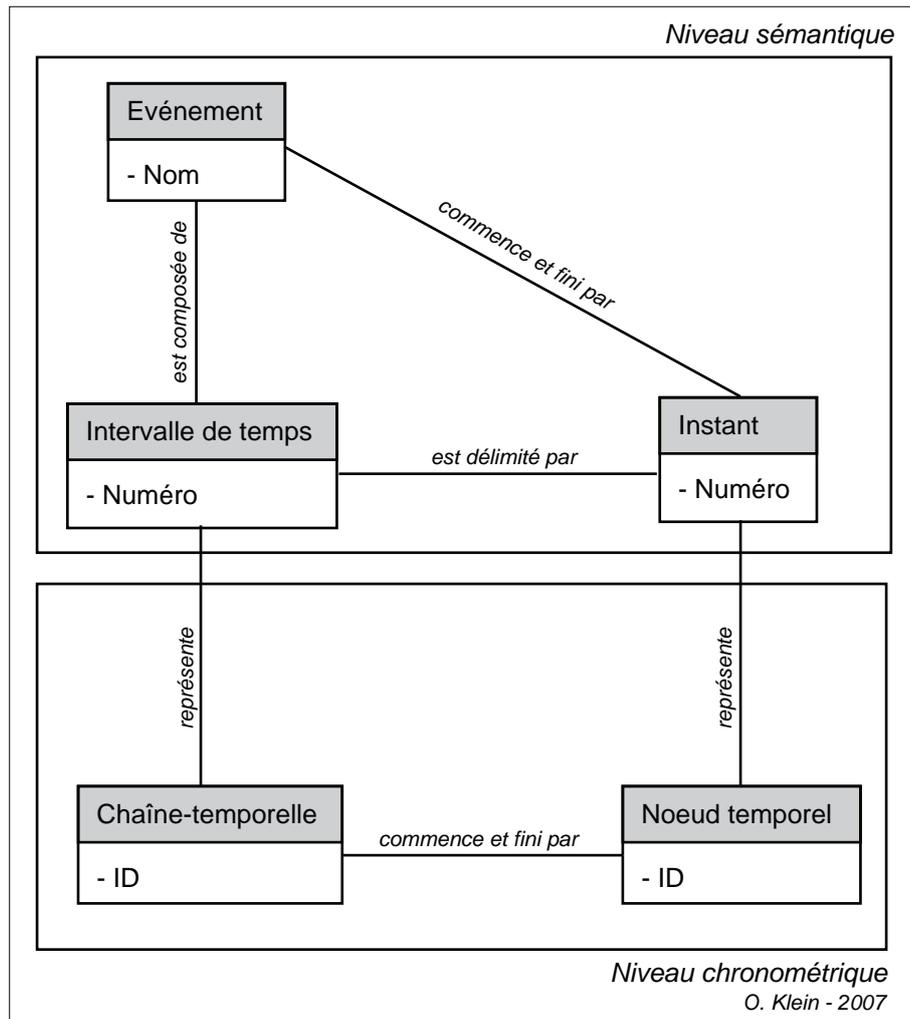
4.1.2. Modélisation de l'information temporelle

Par analogie, la modélisation de l'information temporelle peut être envisagée selon la même approche que l'information spatiale avec une conceptualisation de l'information qui repose sur un niveau chronométrique (équivalent au niveau géométrique dans la conceptualisation de l'information temporelle) et un niveau sémantique. A un niveau sémantique, des objets temporels complexes, comme des événements, peuvent être décomposés, dans un espace à une dimension, en objets élémentaires ponctuels et linéaires respectivement sous la forme d'instantanés et d'intervalles (cf. paragraphe 2.1). Il est à noter que chaque intervalle commence

et se termine par des instants. A un niveau chronométrique, les instants et les intervalles sont représentés par des noeuds et des chaînes temporels (Figure 2.55).

Une telle modélisation pourrait servir de base à la mise en place de ce que l'on pourrait appeler un Système d'Information Temporel (SIT). Toutefois, dans notre approche, nous nous limiterons aux noeuds temporels et aux instants sachant que les intervalles pourront être reconstruits à partir de différences entre deux instants.

Figure 2.55 – Modélisation de l'information temporelle

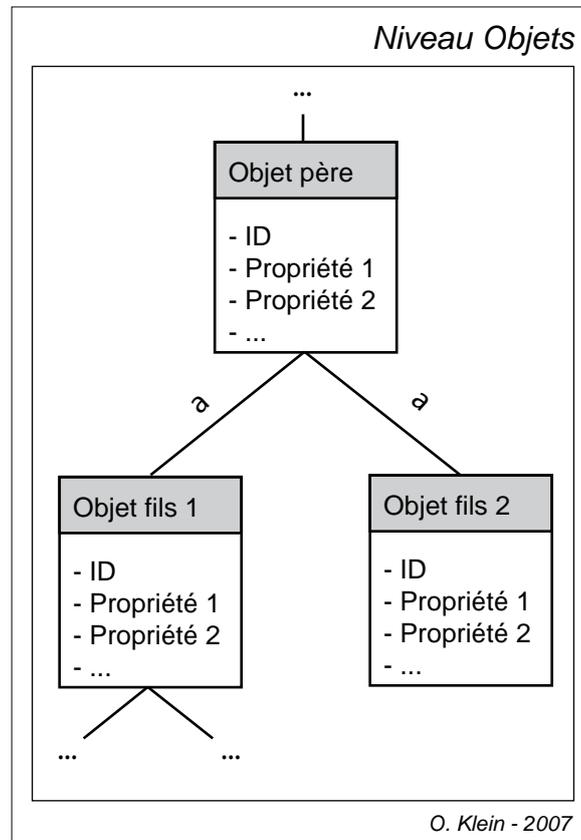


4.1.3. Modélisation de l'information thématique

Concernant la modélisation de l'information thématique, elle s'appuie sur une organisation hiérarchisée allant de l'entité la plus générale et globale jusqu'aux entités les plus particulières et les plus fines. Dans cette hiérarchie, coexistent des éléments parents et enfants qui partagent des caractéristiques communes (notion d'héritage) : les entités enfants héritant des propriétés des entités parentes. Un exemple géographique est celui des caractéristiques associées à différents découpages territoriaux : au sommet le territoire national, en dessous les

régions, puis les départements, les communes, les îlots. Un îlot, du fait de sa position dans la hiérarchie, hérite des caractéristiques communes d'une région tout en ayant ses spécificités.

Figure 2.56 – Modélisation de l'information thématique



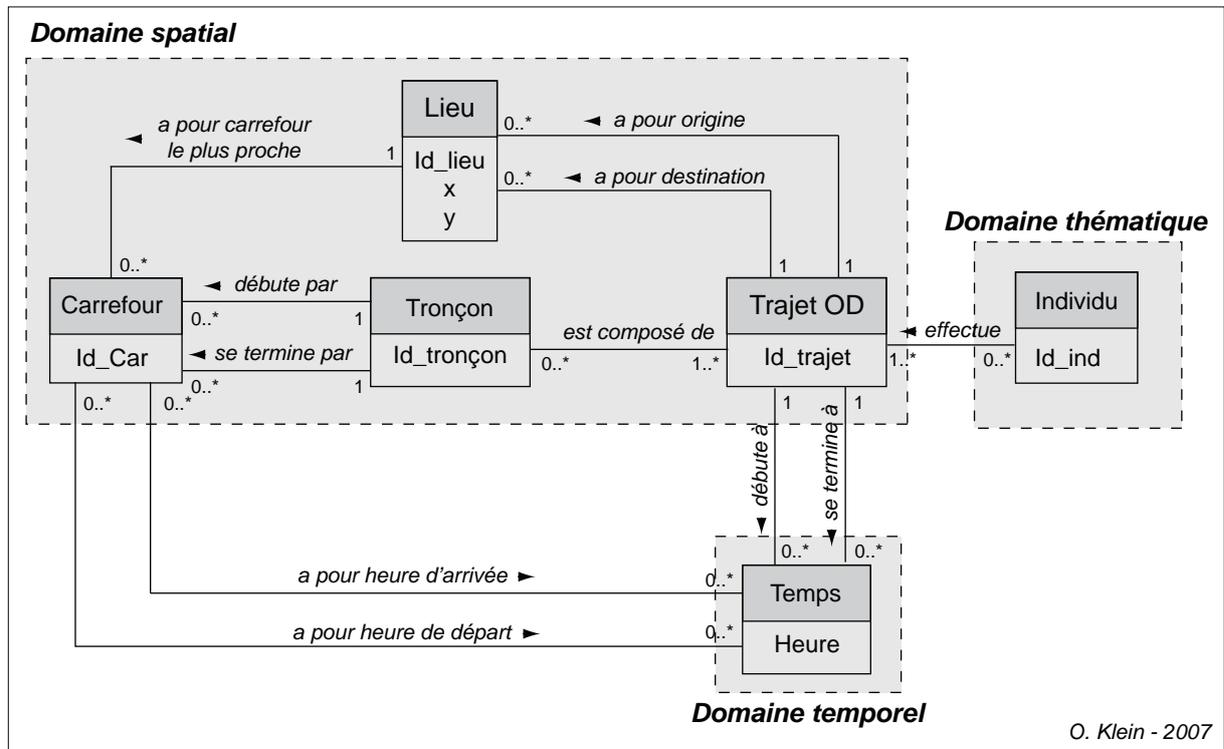
A présent, il est possible d'intégrer ces notions prises séparément dans la proposition de modèle de données adapté aux déplacements que nous souhaitons mettre en place.

4.2. Proposition d'un modèle de données

Les informations liées à un déplacement sont structurées selon les trois bases organisationnelles définies précédemment : spatiales, thématiques et temporelles (figure 2.57). Dans cet extrait du modèle de données, la dimension thématique contient une classe individu regroupant toutes les informations sur le profil de la personne se déplaçant (âge, profession, niveau d'étude, etc.). Cette classe est reliée à une classe trajet OD, décrivant l'ensemble des trajets effectués et qui mentionne notamment les motifs de déplacement et les modes utilisés. Ce trajet est délimité spatialement par un lieu origine et un lieu destination, tout deux localisés en (x,y), et temporellement par un horaire de départ et d'arrivée. Il est également composé de tronçons élémentaires, chacun étant délimité par des carrefours. Dans le cas où les lieux origines et destinations ne sont pas connectés au réseau, la jonction est assurée par le carrefour le plus proche. Ce dernier est caractérisé par un temps de passage, décomposé

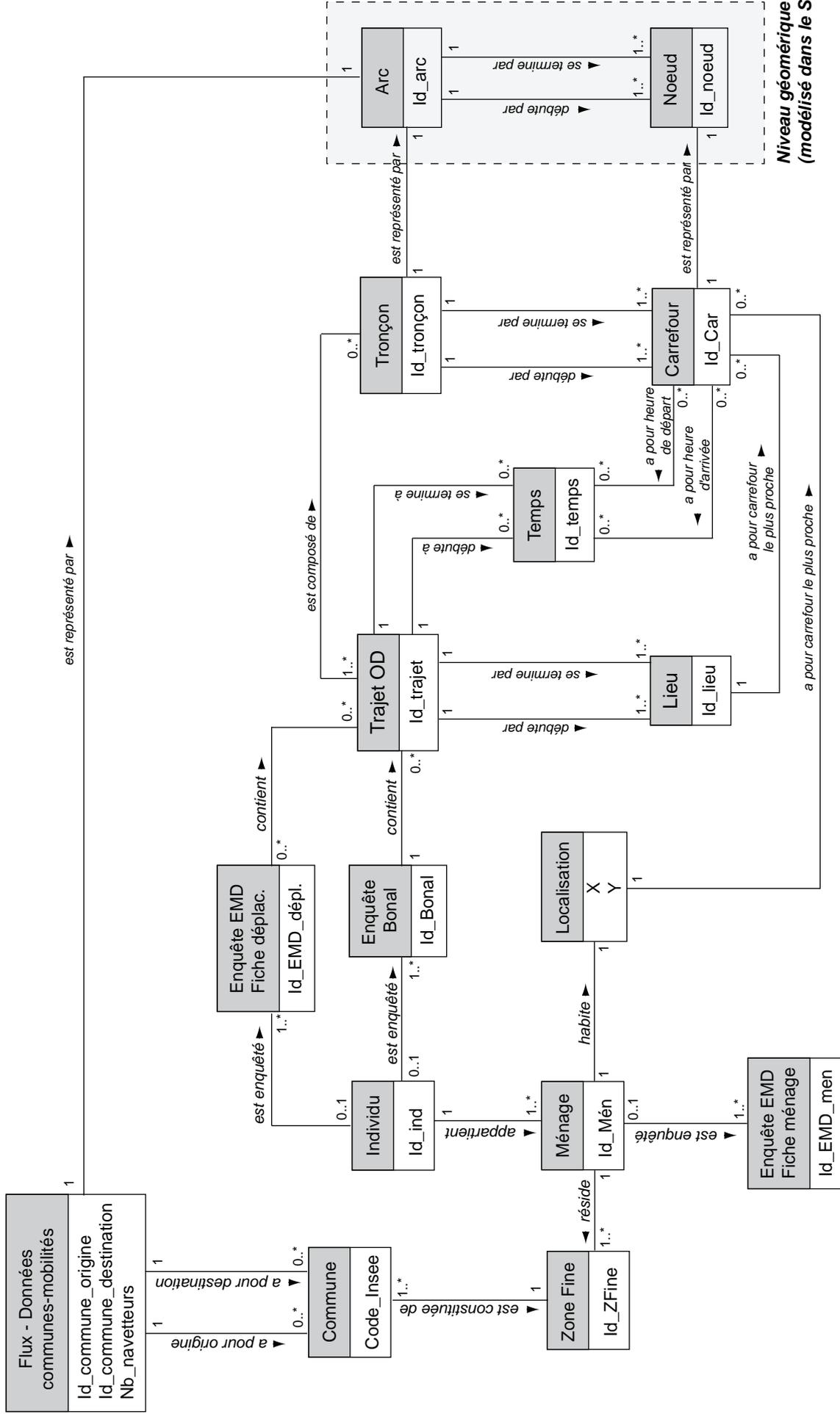
en une heure d'arrivée et une heure de départ, permettant éventuellement d'inclure un temps de franchissement d'obstacle (carrefour complexe, feux tricolores...).

Figure 2.57 – Principe de modélisation des déplacements



Les relations entre les autres éléments sont construits selon la même approche en distinguant les différentes sources de données comme l'EMD, les données « Communes-Mobilité » de l'INSEE ou les données de l'enquête réalisée au stade Bonal (Figure 2.58).

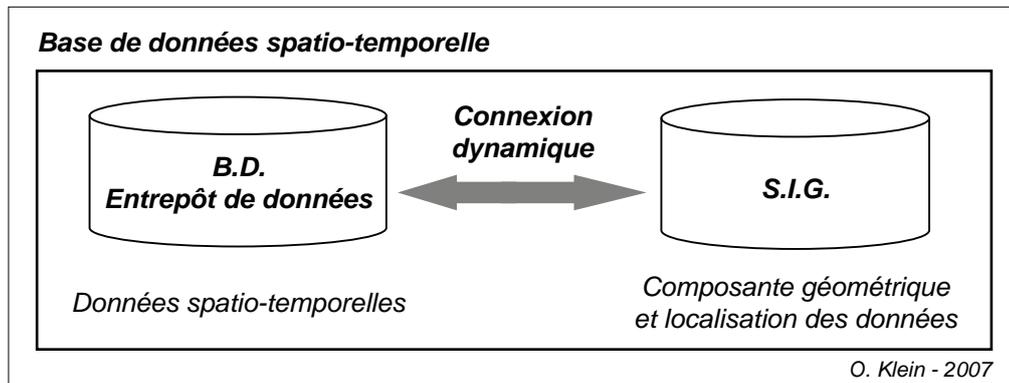
Figure 2.58 - Base de données spatio-temporelle
Modèle Conceptuel des Données



4.3. Structure générale du système d'information

Le modèle de données spatio-temporel proposé est implémenté conjointement dans un SIG et un SGBD. Le SIG contient la composante géométrique et la dimension spatiale des données tandis que le SGBD gère le reste de l'information (Figure 2.59).

Figure 2.59 – Connexion entre la base de données spatio-temporelle et le SIG



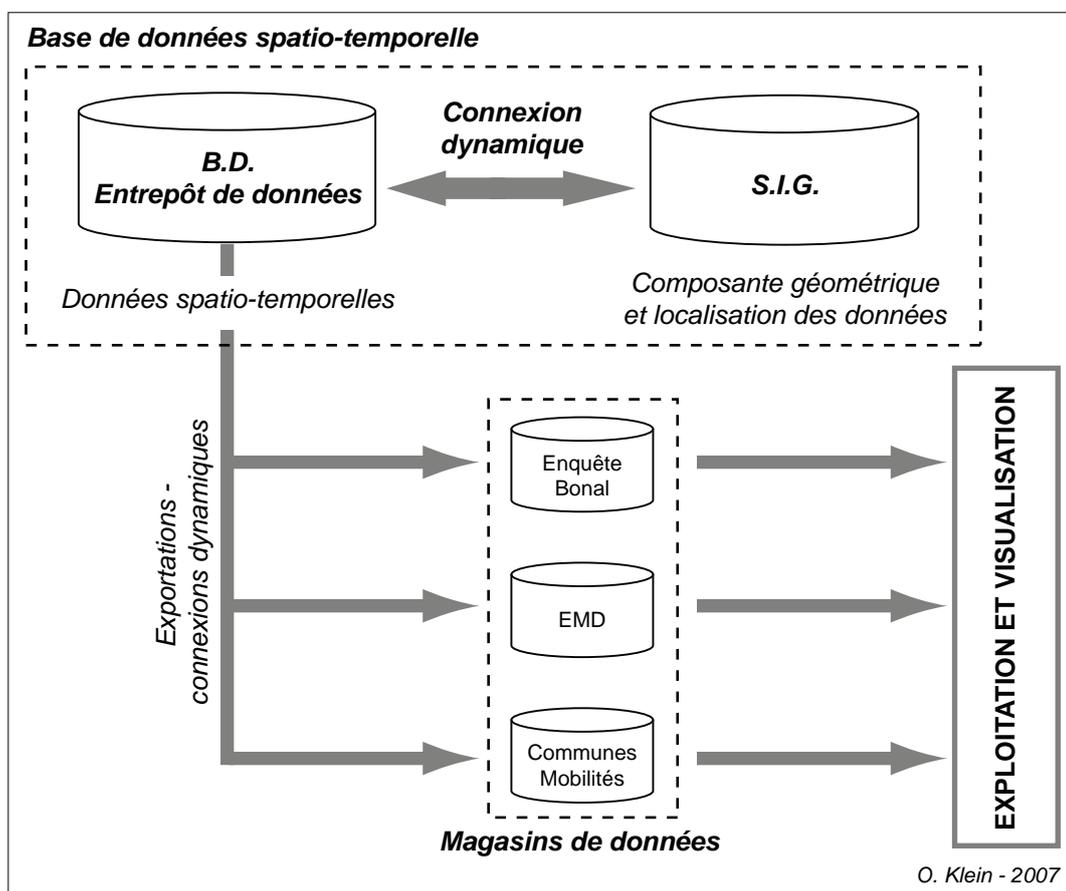
Techniquement, la liaison entre le SGBD et le SIG est rendue possible par un lien OLE (*Object Linking Embedding*) et une connexion ODBC (*Open Database Connectivity*), deux fonctions propres à Microsoft Windows (voir annexe 5 pour un descriptif détaillé de la démarche utilisée). Conséquences d'une telle structure, les traitements peuvent être effectués indifféremment au sein du SIG avec un appel vers le SGBD ou réciproquement du SGBD vers le SIG.

Cette mise en place sur deux systèmes parallèles s'explique par une volonté de relative indépendance au niveau des logiciels utilisés. Notre approche et la mise en place sous la forme d'un prototype a été réalisée sous le SIG ArcGIS de Esri et le SGBD Microsoft Access. Il aurait également pu être envisagé sous MapInfo ou Géoconcept pour la partie SIG ou sous MySQL pour la partie SGBD. Avec les spécifications du modèle de données, un transfert vers d'autres plateformes est tout à fait envisageable. Le choix d'une plateforme d'implémentation sous deux systèmes interreliés permet une plus grande souplesse dans la conception des modèles de données. L'approche selon 3 bases structurelles n'étant pas réalisables avec les SIG à disposition au moment de la construction du prototype, il a semblé plus judicieux de mettre en place un développement externalisé dans un SGBD.

L'ensemble de l'information constituée en base de données spatio-temporelle peut être envisagé sous la forme d'un entrepôt de données (*datawarehouse*), que l'on peut comparer à un « réservoir » de données regroupant l'ensemble de l'information disponible. Ce concept d'entrepôt se caractérise par des données orientées « sujet » - en l'occurrence les déplacements quotidiens -, une présentation selon différents axes d'analyse – les trois bases organisationnelles -, avec des sources d'origines diverses – données institutionnelles, d'entreprises et d'enquêtes -, avec des possibilités de conservation historique – élément non développé dans notre approche mais possible avec l'ajout d'un « temps long » historique.

Tel que nous l'avons envisagé, les données sont conservées avec un maximum de détails et de précision. Par ce principe d'entrepôt, les données peuvent être continuellement enrichies par l'apport de nouvelles informations disponibles. L'enjeu de ce système étant de transformer les données présentes dans le SGBD en informations pertinentes directement exploitables par les utilisateurs. Pour ce faire, nous pouvons procéder à des extractions de cet entrepôt vers d'autres bases structurées selon les usages spécifiques souhaités dans un ensemble cohérent qui forme un magasin de données (*datamart*). Plusieurs *datamart* peuvent être élaborés en parallèle pour répondre à des besoins spécifiques. Dans notre cas, les exploitations partielles des données peuvent se faire autour des déplacements domicile-travail, des déplacements relatifs à une zone spécifique, relatifs à une population particulière, etc. Il faut préciser que dans notre cas cette approche est plus orientée sur la visualisation des données et doit donc forcément inclure une composante spatiale.

Figure 2.60 – Principes organisationnels du SGBD



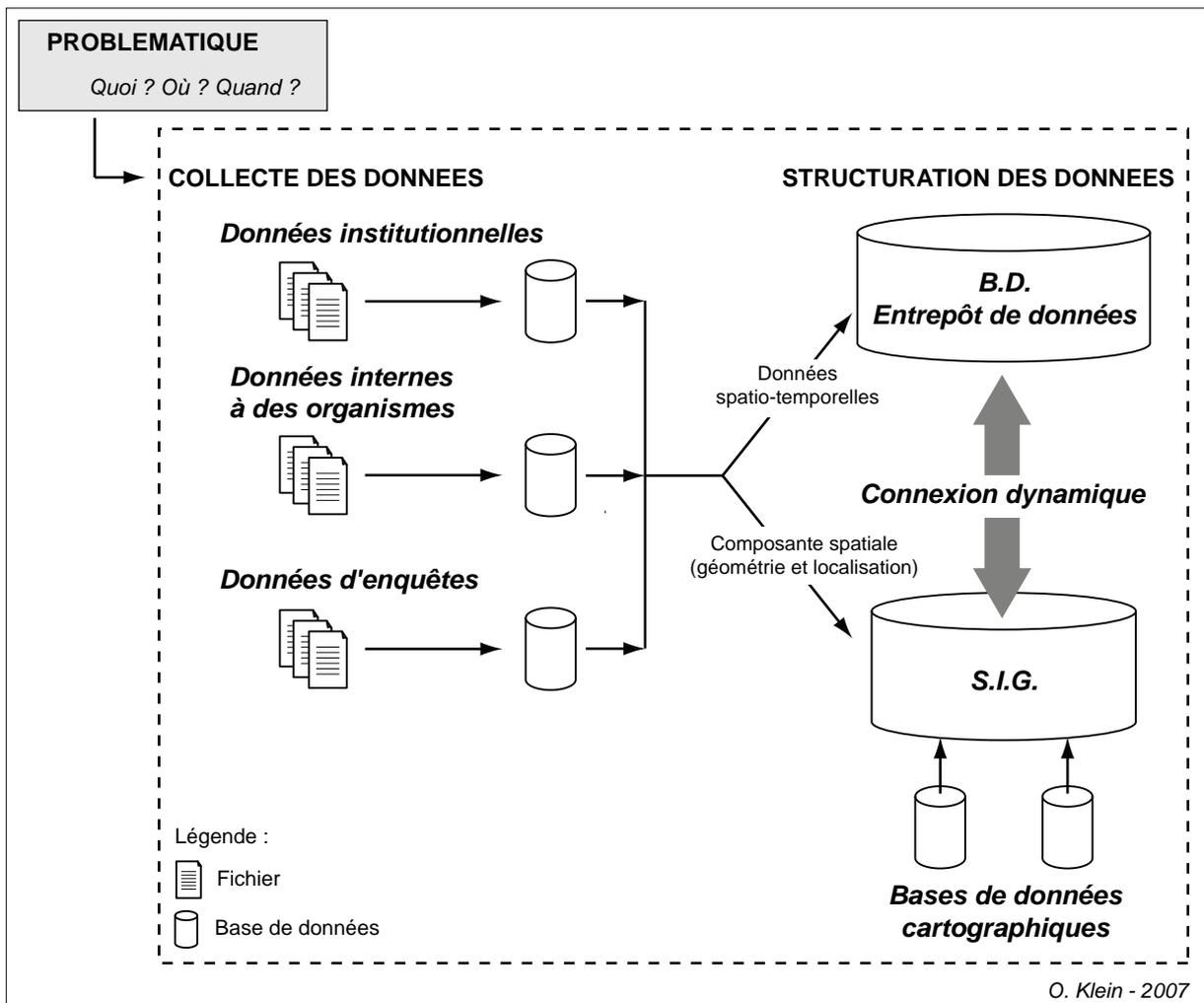
Conclusion

A l'issue de cette seconde partie, la démarche mise en place a conduit à résoudre – du moins partiellement – le problème des données. Ainsi la collecte auprès des différentes sources de d'informations nous a permis de disposer d'un certain nombre de données compléter par la suite par une enquête, démarche indispensable pour disposer des données les mieux adaptées à notre problématique. La collecte étant insuffisante en ne fournissant que des informations partielles sur les déplacements (origine, destination et horaire), une modélisation complémentaire a été proposée pour reconstruire les cheminements des individus enquêtés. L'ensemble des données obtenues doit ensuite être organisée de manière pertinente dans un système d'information dont l'objectif final est l'exploration et la communication de résultats via une interface cartographique dont les contraintes sont spécifiées dans la partie suivante. Le cheminement général adopté dans cette seconde partie est résumé sur la figure 2.61.

L'approche théorique développée a été appliquée sous la forme d'un prototype associant le SIG ArcGIS d'Esri au SGBD Access de Microsoft. Ce prototype reste évolutif aussi bien dans la structure des données que dans le contenu et peut être adaptable à d'autres thématiques ou à d'autres formes de modélisations.

La constitution de cette base de données est un élément indispensable de la démarche induisant à la visualisation qui est en quelque sorte l'aboutissement de cette recherche.

Figure 2.61 – Schéma général de la démarche après les étapes de collecte et de structuration des données



Troisième partie

Une première approche des mouvements
quotidiens par la géovisualisation

Introduction

La représentation, problème principal lorsqu'on cherche à appréhender les mouvements quotidiens, est le point clé abordé par la présente partie. Cette étape du raisonnement prend place dans le raisonnement après les étapes de collecte, de modélisation et de structuration des données (Figure 3.01) abordées dans la seconde partie.

Figure 3.01 – L'étape de représentation de l'information dans le raisonnement



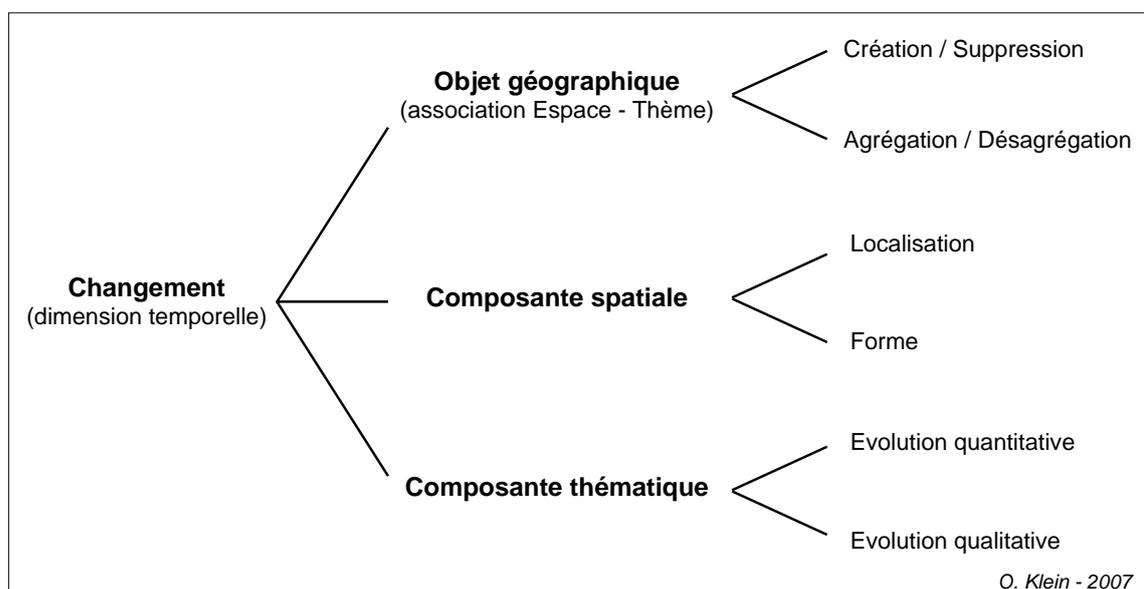
L'objectif principal de cette recherche est de représenter graphiquement les mouvements quotidiens en portant l'attention sur l'aspect dynamique des données. Pour ce faire, il est nécessaire de disposer d'outils adaptés à ce type de représentation afin d'améliorer l'aide à la décision en fournissant, notamment, des éléments déterminants pour des prises de décisions d'aménagement. Disposer des meilleures clés pour améliorer l'aide à la décision en fournissant, notamment, des éléments déterminants pour les aménagements futurs.

Cette partie s'organise en deux chapitres : un chapitre théorique, d'abord, sur la représentation des mouvements et leur géovisualisation mettant l'accent sur de nouvelles possibilités de représentations et leurs implications en cartographie, suivi d'un chapitre, plus opérationnel, montrant l'application de la démarche adoptée avec une mise en oeuvre sur l'Aire urbaine Belfort-Montbéliard-Héricourt-Delle.

Chapitre 1 - Un état de l'art et ses implications

Représenter l'information, issue de la base de données présentée dans le chapitre 3, revêt certaines particularités liées au caractère spatio-temporel des données, qui complexifient considérablement le problème. En effet, introduire le temps dans les données géographiques implique la prise en compte des possibilités de changements et d'évolutions du phénomène étudié. Les variations peuvent être uniquement spatiales (un changement de position par exemple), ou uniquement thématiques (comme le changement de valeur d'un attribut), ou bien intégrer les deux dimensions, et porter alors sur les objets géographiques dans leur globalité (Figure 3.02).

Figure 3.02 – Temps et changement



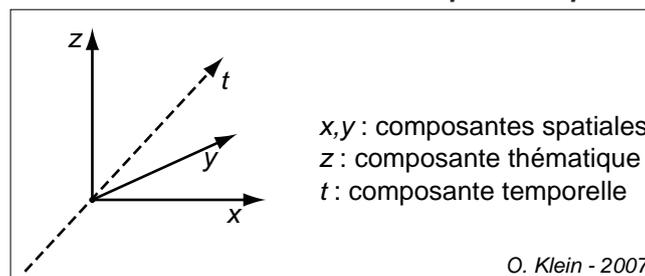
Dans le cas d'un objet géographique associant espace et thème, c'est-à-dire des propriétés spatiales (localisation et forme géométrique) et des attributs thématiques, deux types d'évolution sont envisageables : le premier regroupe les processus délimitant le cycle de vie de l'objet avec sa naissance ou sa création, d'une part, et sa disparition ou sa suppression, d'autre part ; le second correspond aux modifications de composition de l'objet, qui peut, soit être subdivisé en objets plus fins, soit être rattaché à d'autres objets pour former un agrégat.

Lorsque le changement n'est relatif qu'à une seule dimension, il peut être spatial ou thématique. Spatialement, il peut correspondre à une variation de localisation – conséquence d'un mouvement de l'objet – ou de forme géométrique. Thématiquement, les modifications peuvent être qualitatives ou quantitatives, selon le niveau de mesure des données.

Pour traduire ces changements, quels qu'ils soient, les cartes apparaissent, sans aucun doute, les outils les mieux adaptés aux besoins exprimés, puisqu'elles ont pour propriétés principales de montrer où se trouvent des objets géographiques et d'identifier ce qui se localise à ces différents endroits. Par leur analyse, elles permettent de dégager des relations spatiales entre des objets et des activités, l'analyse d'un document cartographique devant faire ressortir des tendances spatiales (regroupements, secteurs dominants...).

Cependant, l'intégration du temps constitue le principal défi de la cartographie des changements, car le support sur lequel ils sont figurés est, traditionnellement, bidimensionnel et figé. Aussi, ce chapitre a-t-il pour objet, d'une part, de faire un état de l'art sur les représentations cartographiques du temps, et, d'autre part, de comprendre comment exprimer les deux ou trois dimensions spatiales associées à une ou plusieurs dimensions thématiques, augmentées d'une dimension temporelle (Figure 3.03).

Figure 3.03 – Les composantes d'une carte spatio-temporelle



Dans ce chapitre, sont d'abord présentées les solutions apportées par la cartographie dite classique aux problèmes des représentations des mouvements quotidiens en portant une attention particulière à différentes conceptions parmi lesquelles la sémiologie graphique, la *Time Geography* et l'approche de W. Tobler. Ensuite, les mutations récentes de la cartographie – liées aux progrès de l'informatique – sont intégrées à la démarche en présentant leurs potentialités et leurs apports. L'analyse exploratoire des données spatiales complète enfin l'approche envisagée.

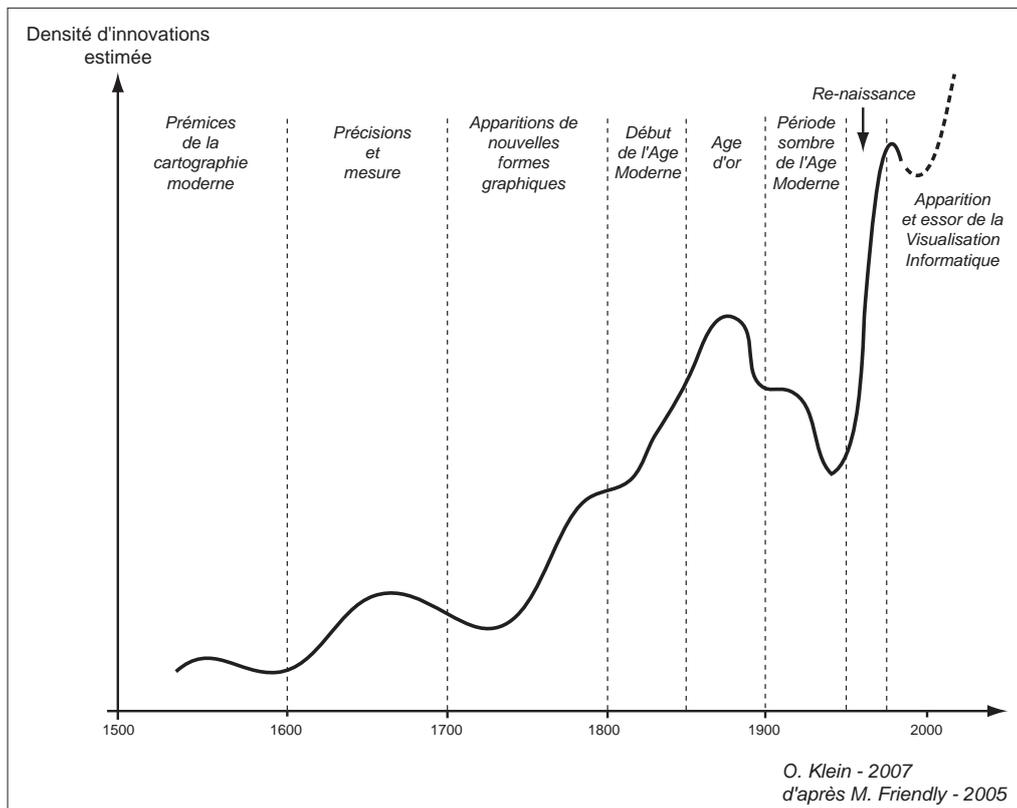
1. Une approche classique restreinte

La cartographie du mouvement se replace aisément dans une évolution générale de la représentation moderne des données où l'on peut distinguer quatre phases: les tentatives initiales s'inscrivant dans un contexte historique plus large de l'évolution de la cartographie thématique, la sémiologie graphique et ses apports, l'approche de la *Time Geography*, orientée sur les trajectoires individuelles, et les innovations originales de W. Tobler qui concernent plus spécifiquement les flux.

1.1. Des cartes de mouvements inscrites dans l'évolution générale de la cartographie thématique

Dans un article publié en 2005 intitulé *Milestones in the History of Data Visualization : A case Study in Statistical Historiography*, M. Friendly (2005) tente de rassembler, quantifier et interpréter les développements historiques de la représentation des données et de la réflexion par l'image. Pour évaluer l'évolution de cette forme de représentation, l'auteur définit un indicateur de mesure, exprimé sous la forme d'une densité de publications, qui se caractérise par le rapport entre le nombre de publications jugées significatives et une unité de temps de référence. Grâce à la construction de cet indicateur et à une enquête minutieuse et exhaustive de fonds documentaires, il dispose de données quantitatives donnant une image de l'évolution de la représentation des données (Figure 3.04). A partir de ces informations, huit grandes périodes d'évolution de la visualisation moderne des données issues de l'interprétation des évolutions peuvent être identifiées, croissances et récessions apparaissant sur le graphique.

Figure 3.04 – Apparition et évolution de la visualisation moderne des données



1.1.1. Les grandes périodes

Les **premiers signes** connues de construction et de réalisation de cartes coïncident, pour bon nombre de civilisations, avec l'invention de l'écriture. Cette cartographie antique se réduit essentiellement à des esquisses d'éléments constitutifs du territoire proche de leurs auteurs

Après ces prémices des premières formes de représentations modernes, le **XVII^{ème} siècle** connaît un développement dans la production cartographique grâce aux progrès de la précision des mesures et à un plus grand réalisme des productions. La géographie de cette époque étant une géographie de position essentiellement descriptive et non explicative, le rôle des cartes est restreint à un usage topographique dont l'objet principal est de transmettre une description fidèle et exacte des territoires. L'utilisation des cartes se concentre, d'une part, sur une fonction d'aide à la navigation et, d'autre part, sur une délimitation des territoires qui témoigne de la volonté du pouvoir politique d'affirmer et de marquer sa présence sur son territoire. Le rôle de la carte dans la fiscalité et la naissance de l'ancêtre de l'actuel cadastre (plans terriers) attestent de cette volonté. C'est alors, en 1632, que paraît la première carte de France avec des itinéraires routiers réalisée par N. Sanson. Cette « carte géographique des postes qui traversent la France » figure le réseau des routes royales et l'emplacement des relais de chevaux.

Tandis que se poursuit l'exploration du monde, au siècle suivant les outils des cartographes se perfectionnent. La fonction des cartes évolue sensiblement vers la planification d'opérations militaires et une délimitation de plus en plus fine des frontières. De toute évidence, la demande en cartes s'accroît. Alors qu'en France est dressée la première carte générale du territoire débutée au XVII^{ème} par la famille Cassini – à l'échelle d'une ligne pour cent toises (1/86 400), le **XVIII^{ème} siècle** voit apparaître la préfiguration des représentations des données thématiques, matérialisée par des graphiques statistiques et des cartes thématiques. Les cartes commencent à ne plus être qu'un « simple » positionnement géographique, elles deviennent un support « d'autre chose », comme le montre un signe avant-coureur de la cartographie thématique, la production de cartes combinant les caractères de la carte générale, topographique, et de la carte thématique (Palsky, 1998), qualifiées d'hybrides (Robinson, 1982). Ces représentations consistent en des cartes topographiques avec des surcharges d'informations sur la végétation, la minéralogie, l'économie ou la population par exemple. Avec ces nouvelles formes de représentation apparaissent les éléments fondateurs des cartes thématiques. Dans les premiers documents de ce type, un esprit sélectif se manifeste, l'information est spécifique, puisqu'ils n'illustrent, en général, qu'un sujet ou une distribution particulière (Palsky, 1998).

Avec des innovations complémentaires (notamment la facilité de reproduction en couleur avec l'utilisation de la lithographie et la simplification de certaines tâches laborieuses), la **première moitié du XIX^{ème} siècle** voit s'installer et se poursuivre une croissance forte dans la publication de graphiques statistiques et de cartes. Dès le début de cette période, l'intérêt pour les méthodes graphiques s'affirme comme en témoigne W. Playfair (1802) repris par

G. Palsky (1999) « *regarding numbers and proportions, the best way to catch the imagination is to speak to the eyes* ». En statistiques, les bases des principales formes modernes de représentations graphiques sont conçues : graphiques linéaires, en barres, histogrammes... En cartographie thématique, un large panel de formes inédites (apparition des premières formes de cartes choroplèthes et isoplèthes) et de nouvelles symbolisations offrent des opportunités de développement inédites. Toutefois, dans un premier temps, l'aspect thématique des cartes progresse plus rapidement que la cartographie en elle-même avec un éventail de plus en plus large des sujets traités. La publication des premiers atlas thématiques révèle une recherche d'exhaustivité dans les sujets traités incluant une grande variété d'objets.

La **seconde moitié du XIX^{ème}** marque l'âge d'or de la statistique graphique – *Golden Age* (Robinson, 1955) – avec une phase d'enthousiasme – *Age of Enthousiasm* (Palsky, 1996) – caractérisée par un grand nombre d'innovations en cartographie thématique notamment dans l'esthétique et l'originalité des représentations (Friendly, 1995). Dans cette période, les bases de la plupart des techniques connues aujourd'hui pour représenter des données de démographie, des distributions, des densités ou des mouvements, sont conçues et mises en place. Ainsi, apparaît ce qui est considéré comme la première carte statistique moderne, la carte figurative de l'instruction populaire de C. Dupin (1826) ; elle est suivie, quelques années plus tard, par la carte bien connue du Dr. J. Snow (1854), carte épidémiologique sur le choléra, montrant sous la forme d'un semis de points les cas d'infections dans un quartier de Londres, permettant l'identification et la localisation de la source de l'épidémie. Avec cette dernière représentation, le rôle de la carte évolue, passant d'une simple illustration ou report d'éléments physiques à un outil révélateur de phénomènes spatiaux révélant des éléments non directement visibles sur le terrain.

Après cette période faste, le **début du XX^{ème} siècle** est considéré comme une période sombre : *modern dark ages of visualization* (Friendly et Denis, 2000). Moins d'innovations graphiques voit le jour et l'enthousiasme qui caractérisait le siècle précédent laisse place à d'autres approches non graphiques, davantage fondées sur la quantification et la formalisation. Les images sont cantonnées à leur rang originel : illustratives et évocatrices.

Toutefois, la **seconde moitié du XX^{ème} siècle** aboutit à une renaissance de la visualisation des données grâce à trois recherches et développements significatifs. En premier, l'analyse graphique des données est reconsidérée par les travaux de W. Tukey, qui permettent de considérer l'analyse des données – notamment à l'aide de méthodes visuelles – comme une branche légitime des statistiques mathématiques. Cependant, du fait d'un décalage de cette démarche dans le courant de pensée de cette période, les résultats ne sont publiés qu'en 1977 dans un ouvrage, désormais, célèbre, *Exploratory Data Analysis*. En second, quelques années après les premières propositions de A. H. Robinson (1952, 1953, 1960), un ensemble de règles pour définir un langage graphique est construit et publié par J. Bertin dans la *Sémiologie graphique* (1967). Cet auteur pose les bases de toute communication graphique avec notamment la définition de variables visuelles associées à des propriétés spécifiques. L'importance marquée de cette publication dans le domaine de la communication graphique invite certains auteurs à la comparer au tableau de classification périodique des éléments de

D. Mendeleïev en Chimie (1869). En troisième, l'apparition, le développement et la diffusion des nouvelles possibilités informatiques initient une reconsidération des anciennes approches de la visualisation enrichies par des capacités de calcul sans précédent.

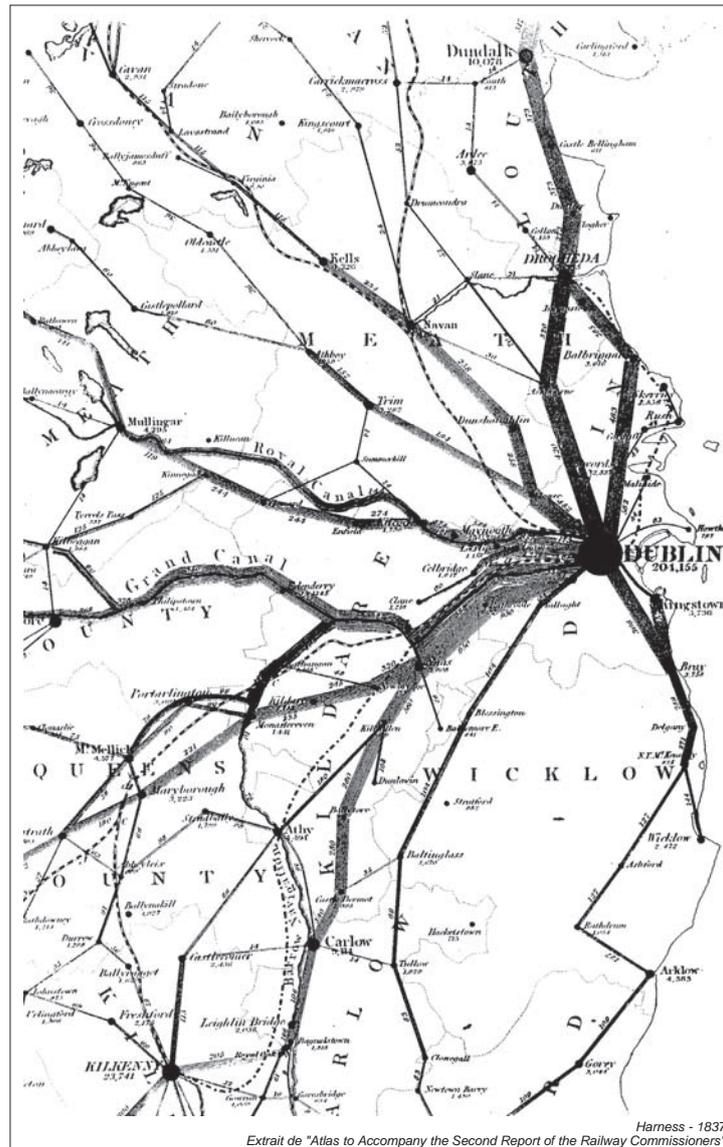
Avec le développement de l'informatique, notamment graphique, une nouvelle période naît autour des années 80 et se poursuit actuellement. Elle est marquée par les progrès de l'informatique, qui ont d'abord impliqué un fléchissement dans l'innovation graphique, conséquence indirecte de l'intrusion de cette technologie dans la représentation des données. En somme, le premier effet de l'arrivée de l'ordinateur a été de reproduire ce que l'on savait déjà faire, mais cette fois-ci de manière automatisée (*automated cartography, computer assisted cartography ou computer cartography*), plus rapidement et de manière plus fiable ; l'innovation et la création de nouvelles représentations s'en retrouvent donc légèrement perturbée. C'est seulement dans un second temps, lorsque cet usage premier est dépassé que débute la période plus faste dans laquelle nous nous trouvons. Celle-ci ne peut être évaluée efficacement en direct, par manque de recul. Toutefois, les nouvelles possibilités de représentation facilitées par l'informatique semblent très vastes et nous pouvons facilement émettre l'hypothèse d'une croissance forte, sans précédent, plus marquée qu'à l'âge d'or, et cherchant à explorer au maximum des possibilités technologiques en évolution constante, mettant l'accent sur leur réappropriation non seulement par la cartographie mais plus généralement par la géographie.

1.1.2. La place de la cartographie des mouvements

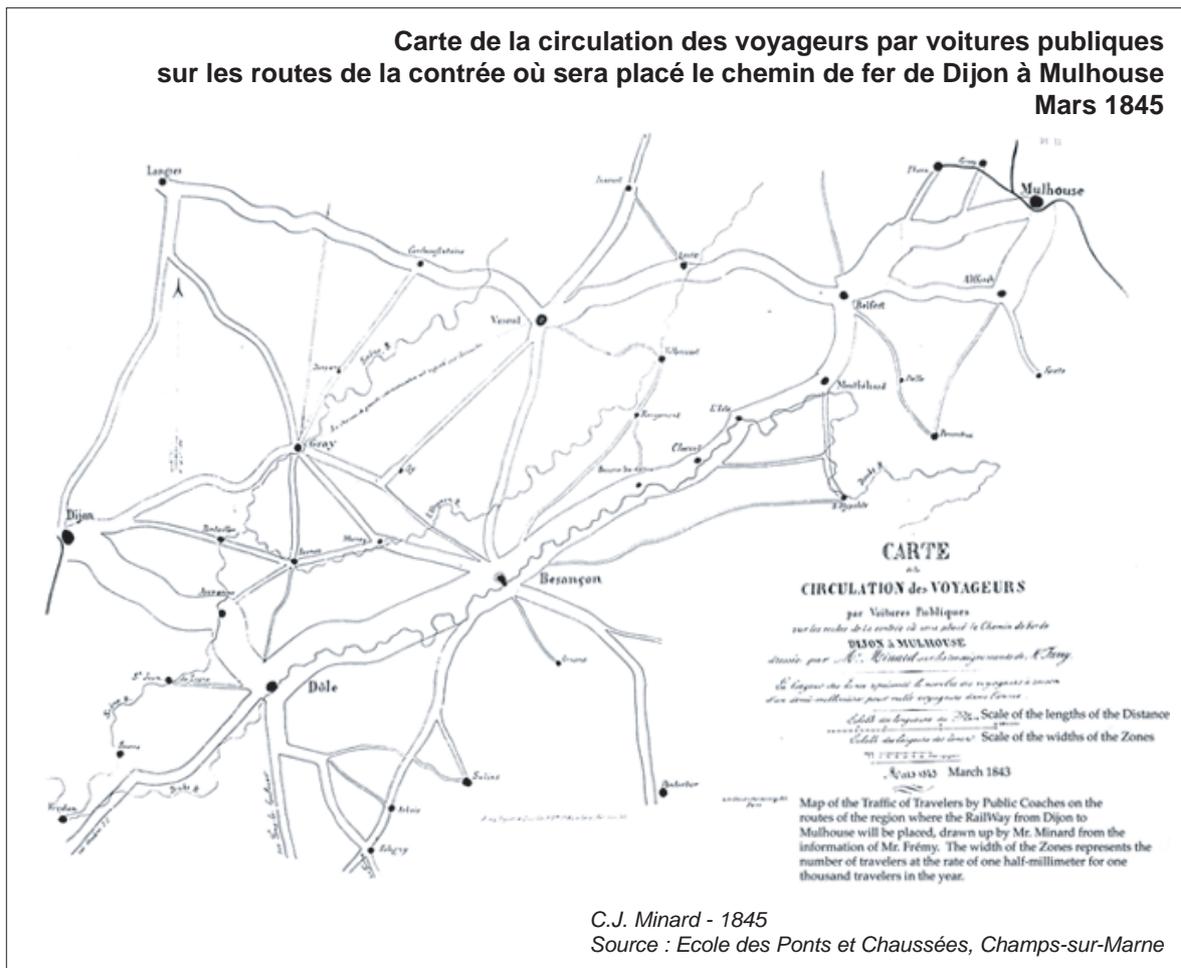
La cartographie des mouvements peut être intégrée dans cette évolution moderne de la représentation des données. Son origine est liée, en grande partie, aux besoins spécifiques dans l'ingénierie civile routière et ferroviaire. Ce qui explique partiellement les thèmes portés sur ces premières cartes.

En se focalisant sur les représentations des mouvements de populations, et si l'on en croit A. H. Robinson (1955), les premières cartes de flux connues en Europe font leur apparition dans la période nommée plus haut « Début de l'Age Moderne ». Elles sont l'œuvre d'un ingénieur du rail, H. D. Harness, et ont été construites en 1837 pour être regroupées dans l'atlas accompagnant en 1838 un rapport pour la commission ferroviaire d'Irlande, « *Second Report of the Irish Railway Commissioners* ». Cette série de cartes originales – sur la distribution et la circulation de marchandises et de passagers – réalisée à partir d'enquêtes est utilisée comme argument pour déterminer les grands tracés ferroviaires (Figure 3.05). C'est une utilisation innovante en vue de la prise de décision dans le cadre d'aménagement d'infrastructures.

**Figure 3.05 – Carte de H.D. Harness,
première carte de flux européenne connue**



En France, le pionnier de ce type de représentations est l'ingénieur des Ponts et Chaussées, C.J. Minard, un des initiateurs de l'utilisation de représentations graphiques en ingénierie et en statistiques. Sa première carte (Figure 3.06) est élaborée en mars 1845, dans un but similaire à celui de H.D. Harness, celui de prendre des décisions pour la construction d'infrastructures ferroviaires. Elle a pour objet « la circulation des voyageurs par voitures publiques sur les routes de la contrée où sera placé le chemin de fer allant de Dijon à Mulhouse ». A partir des axes routiers, C.J. Minard construit, par une épaisseur proportionnelle au trafic, ce qui semble être la première carte française de flux. Il rajoute une distinction entre les parcours partiels et totaux en utilisant ce qu'on appelle aujourd'hui la variable visuelle valeur. C.J. Minard réalisera d'autres cartes de flux en appliquant la même règle de proportionnalité comme sur la « Carte figurative et approximative des quantités de coton brut importées en Europe en 1858, en 1864 et en 1865 » (1866).

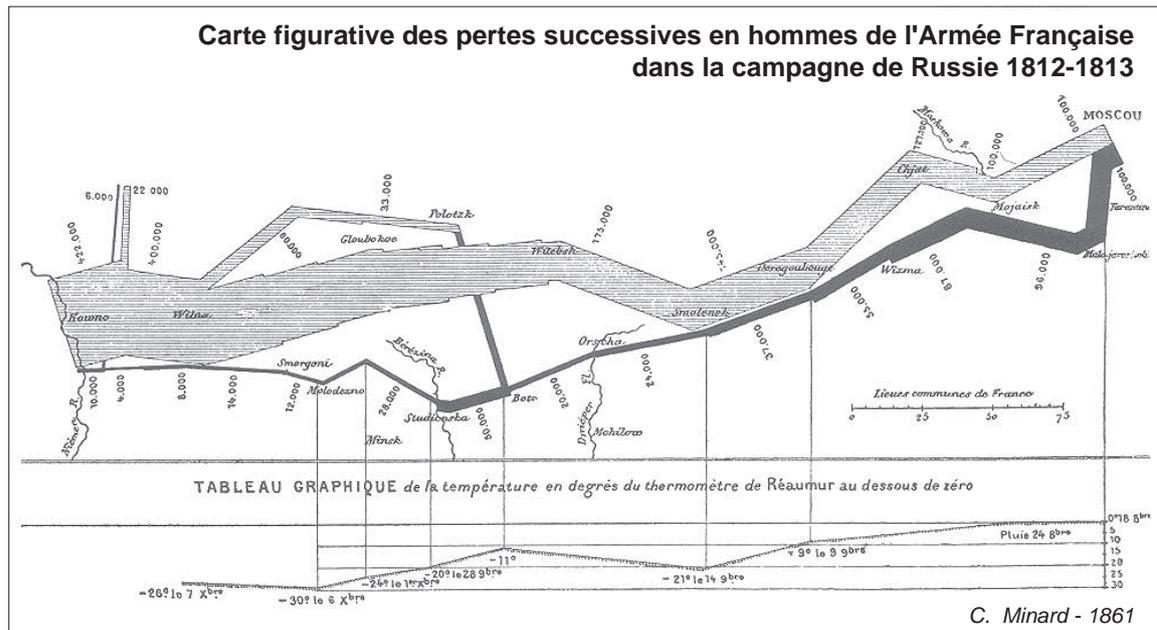
Figure 3.06 – Carte de Minard, première carte de flux française

Toutefois, la carte qui lui donna toute sa notoriété fut essentiellement celle des pertes désastreuses de l'armée napoléonienne publiée en 1861 et intitulée « Carte figurative des pertes successives en hommes de l'armée Française dans la campagne de Russie 1812-1813 » (Figure 3.07). Fortes de 422 000 hommes, les troupes napoléoniennes, représentées graphiquement par une largeur proportionnelle, ne sont plus composées que de 10 000 unités à leur retour en France. L'originalité de la représentation, qui inclut divers types d'informations complémentaires – notamment spatialisation des mouvements et variation de températures – permet de comprendre ce désastre. La baisse des températures dans l'hiver Russe a eu pour conséquences les conditions extrêmes auxquelles les soldats ont dû faire face.

Cité comme un exemple incontournable par E. Tufte (2001) dans *Visual display of quantitative information*, cette représentation de C.J. Minard est toujours considérée par beaucoup d'auteurs comme le meilleur graphique statistique jamais réalisé. En effet, sur cette représentation unique, plusieurs informations complémentaires, exprimées selon différents modes de représentation, se complètent de manière fort originale et adaptée dans un espace bi-dimensionnel :

- la localisation, la direction et le parcours de l'armée, qui permettent aisément de savoir où les troupes se sont séparées ou rejointes, sont exprimés par le tracé des flux ;
- le déclin de l'effectif militaire s'évalue par la variation d'épaisseur du tracé ;
- les basses températures sont représentées par un graphique linéaire dont l'abscisse est ajusté avec les positions en longitude des troupes.

Figure 3.07 – La marche de l'armée napoléonienne sur Moscou



Cette représentation a influencé et influence toujours les développements effectués en cartographie thématique et en visualisation pour les mouvements de population : M.J. Kraak (2003), par exemple, compare la représentation de C.J. Minard aux possibilités introduites par les nouvelles technologies.

Enfin, troisième auteur ayant un rôle majeur, en France, dans la naissance de cette cartographie de flux, E. Cheysson, également ingénieur des Ponts et Chaussées, initie la publication annuelle (entre 1879 et 1899) des albums de la statistique graphique, séries statistiques annuelles utilisant toutes les formes graphiques connues et maîtrisées dans cet âge d'or de la statistique graphique, particulièrement celles qui nous intéressent sur les flux. Cet auteur a très vite cerné les enjeux significatifs de la statistique graphique, que l'on retrouve plus tard chez J. Bertin. Dans la notice introductive du volume de 1880, E. Cheysson livre ses préoccupations essentielles : « Si la statistique graphique, bien que née d'hier, étend chaque jour son domaine, c'est qu'elle remplace avantageusement les longs tableaux de chiffres et qu'elle permet, non seulement d'embrasser d'un seul coup d'oeil la série des phénomènes, mais encore d'en signaler les rapports ou les anomalies, d'en trouver les causes, d'en dégager des lois ».

L'ensemble de ces éléments constitue des bases toujours présentes dans la cartographie classique des mouvements et qui sont intégrées dans la sémiologie graphique.

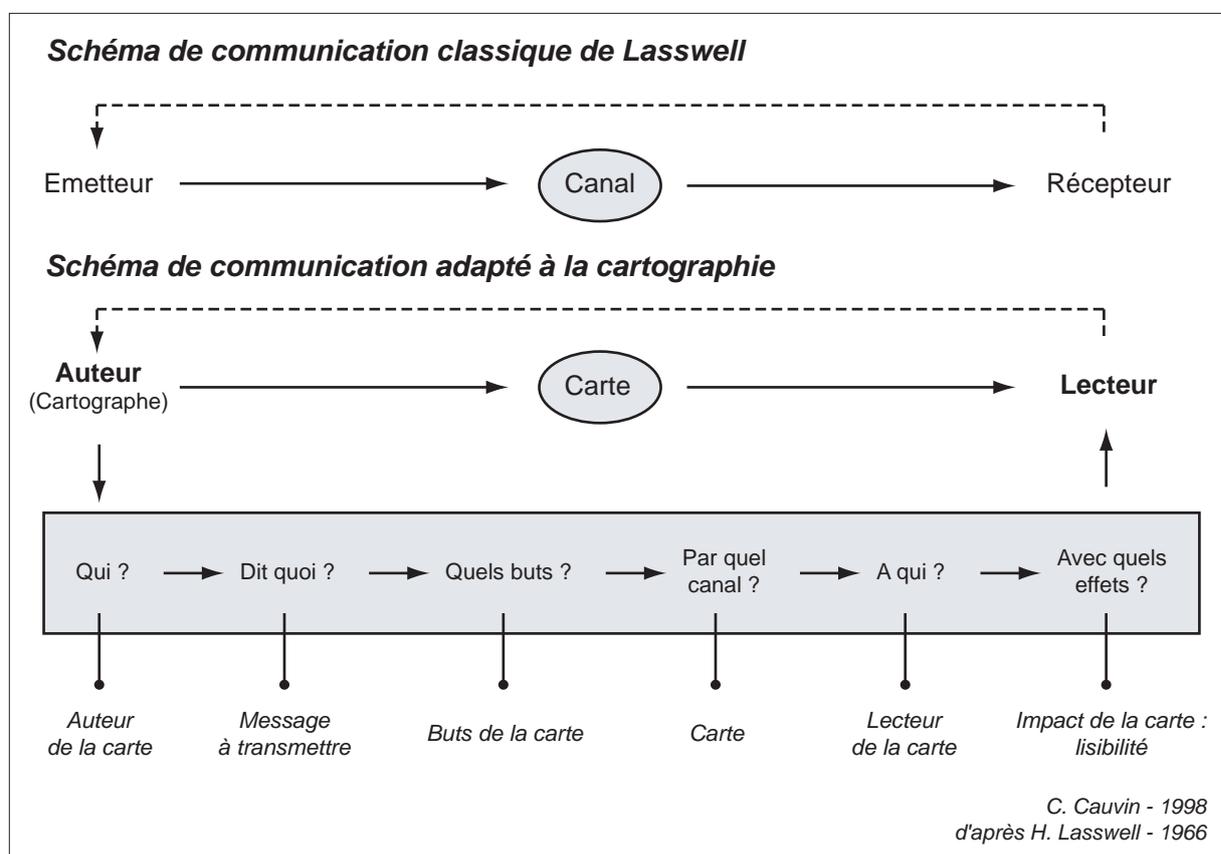
1.2. Une sémiologie graphique insuffisante pour exprimer les changements

La sémiologie, terme créé par Ferdinand de Saussure (1916), est « la science qui étudie la vie des signes au sein de la vie sociale ». Appliquée à la graphique, et nommée alors, notamment par J. Bertin, sémiologie graphique, elle peut être définie comme l'ensemble des règles qui permettent l'utilisation d'un système graphique de signes pour la transmission d'une information (M. Beguin et D. Pumain, 1994), processus de communication qui repose sur une appréhension visuelle.

1.2.1. La carte : un support visuel de transmission d'informations

La carte, comme toute transmission visuelle, n'est efficace que si le message a été préalablement codé en respectant un certain nombre de règles strictes de la communication graphique. En effet, elle a pour finalité la communication de l'information représentée et le schéma de la communication de H. D. Lasswell (1966), adapté à la communication en cartographie par C. Cauvin (1998), permet, à partir de 6 questions, d'appréhender la façon de faire passer efficacement un message (Figure 3.08).

Figure 3.08 – Schéma de communication adapté à la cartographie



Initialement, le modèle de communication de H. D. Laswell s'inscrit dans une démarche plus globale, qui conçoit la communication comme un processus d'influence et de persuasion qui dépasse la simple transmission d'un message et envisage, entre autres, les étapes du processus et la finalité d'une communication. Ce modèle peut être décrit à travers les questions : « Qui, dit quoi, par quel canal, à qui et avec quel effet ? » :

- **Qui ?** : correspond à l'auteur ou à l'émetteur du message ;
- **Dit quoi ?** : se rapporte au contenu du message ;
- **Par quel canal ?** : regroupe l'ensemble des techniques utilisées pour diffuser l'information ;
- **A qui ?** : correspond à l'auditoire, c'est-à-dire au public récepteur du message ;
- **Avec quels effets ?** : permet l'évaluation des influences du message sur l'auditoire.

Pour adapter ce modèle à la cartographie, C. Cauvin (1998) ajoute la question « Dans quels buts ? », explicitant le but de la communication, soit, dans notre cas, celui de la carte. Cette question supplémentaire permet d'adapter la carte à la finalité de la communication. Ainsi, en fonction de ce qu'il souhaite montrer, l'auteur de la carte adapte-t-il son document.

1.2.2. Une première approche de la sémiologie graphique adaptée aux changements qu'ils soient temporels ou spatiaux

J. Bertin considère que la perception visuelle dispose de trois variables sensibles : la variation de taches et les deux dimensions du plan, l'ensemble étant hors du temps. Les systèmes destinés à l'oeil sont d'abord spatiaux et atemporels contrairement à ceux destinés au système auditif (Figure 3.09). Par conséquent, comment représenter le temps alors que les systèmes de perception de l'oeil sont atemporels ?

Si l'on décide d'introduire la composante temporelle, de dimension linéaire, dans les représentations, ceci signifie qu'il suffit d'une seule composante pour la représenter. En croisant simplement le temps avec une autre dimension, on obtient un diagramme chronologique (Monmonier, 1990) :

- Croiser *une dimension temporelle et une dimension thématique* permet la représentation d'une variation temporelle d'un élément thématique mesuré.
- Croiser *une dimension temporelle avec une seule dimension spatiale*, permet éventuellement d'appréhender une variation longitudinale ou latitudinaire d'un objet.

Figure 3.09 – Schéma de communication adapté à la cartographie

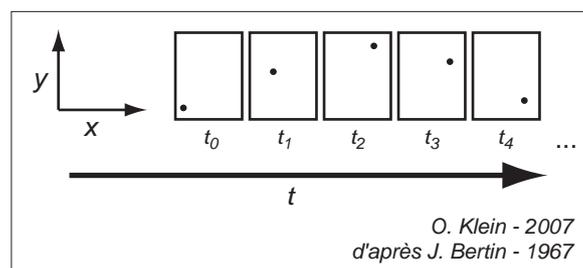
	Système de perception	
	Auditif	Visuel
Variables sensibles	Une variation de son Une variation de temps	Une variation de tâches Deux dimensions du plan
Total	Deux variables	Trois variables
Perception instantanée	1 son	totalité des relations entre trois variables

J. Bertin - 2005

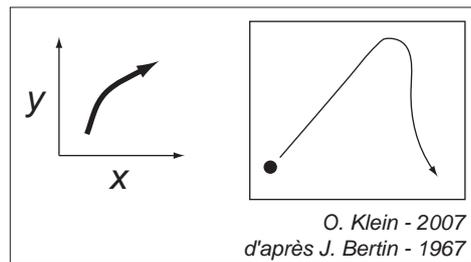
En reliant les deux dimensions spatiales à la dimension temporelle, la représentation sur une surface plane et figée limite les possibilités de représentation. Ce plan doit être dépassé pour représenter le changement. J. Bertin propose plusieurs solutions.

Premièrement, la construction d'une série d'images permettant de décomposer le temps (Figure 3.10). Hélas, le nombre d'images est limité par le processus de lecture. Une longue série s'avère difficile à appréhender. En travaillant, par exemple, sur une offre spatio-temporelle d'activités en milieu urbain, il faudrait 24 cartes, si l'on retient arbitrairement une discrétisation temporelle horaire, pour appréhender le problème. Dégager les tendances générales à partir de ces 24 images semble un défi difficilement réalisable.

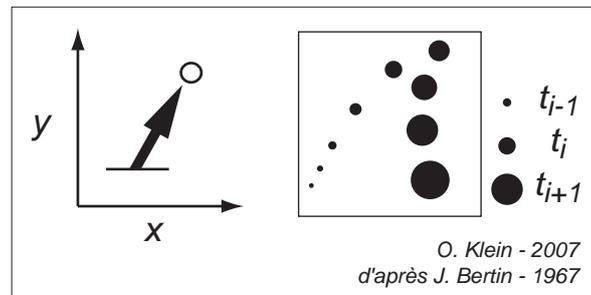
Figure 3.10 – Une série d'images ordonnée dans le temps



Deuxièmement, pour appréhender des changements de localisation au cours du temps, J. Bertin propose de représenter la trace et le sens des mobiles (Figure 3.11). Cette possibilité permet de suggérer des mouvements continus – ou continus par séquences – dans le plan. La trace laissée par le mobile correspond à un changement d'implantation : un point mobile traçant une ligne dans un plan. Lorsque les mobiles sont nombreux et les mouvements complexes, la lecture de l'image résultante est complexe. Même si les traces orientées sont transformées en flèches, la lecture n'est pas vraiment aisée.

Figure 3.11 – Trace laissée par un mobile

Troisièmement, l'auteur propose d'utiliser une variable visuelle de troisième dimension. La composante temps est alors divisée en catégories ordonnées représentées par les paliers d'une variable rétinienne ordonnée (Figure 3.12). Ces variables rétiniennes ordonnées étant relativement courtes, seul un petit nombre de catégories peut être représenté. Ceci limite fortement les possibilités de représentation.

Figure 3.12 – Utilisation d'une variable visuelle de troisième dimension

Quatrièmement, enfin, la flèche, trace orientée d'un point, est souvent considérée comme la formule la plus efficace pour représenter le mouvement complexe d'un mobile mais, comme précédemment, la multiplication des flèches et leur enchevêtrement nuisent à la lecture finale du document. Toutefois cette représentation statique a une forte connotation dynamique et une symbolique ancrée dans de nombreuses cultures qui lui donnent un impact visuel fort.

Malgré des propositions intéressantes, les options de J. Bertin concernant les représentations des changements s'avèrent donc inadaptés, principalement lorsque le nombre d'éléments évoluant est trop élevé. Le principal problème de cette sémiologie graphique du changement tient à la double difficulté qui consiste d'une part à percevoir de manière instantanée les changements et d'autre part à restituer leur dynamique.

1.2.3. Une classification selon les catégories de temps

Après J. Bertin, d'autres approches de la représentation du temps, fondées sur la sémiologie graphique, ont été opérées. I. R. Vasiliev (1996 et 1997) en propose une synthèse (sous la forme d'un schéma) – principalement à partir des travaux de M. L. Hsu (1978) et J.K. Wright (1942) – fondée sur différentes catégories de temps et une symbolisation, fonction de l'implantation géométrique des données.

Pour la construction de son schéma (Figure 3.13), elle décompose le temps en cinq catégories construites à partir d'une série de questions qui met en évidence les différentes façons dont les géographes, aménageurs ou cartographes appréhendent le temps dans leurs démarches et leurs analyses : est-ce le moment dans le temps qui a un intérêt ou la durée de l'événement ? Le temps organise-t-il l'espace ? Le temps est-il utilisé comme une mesure de la distance ou l'espace montre-t-il des relations temporelles ?

Figure 3.13 – Temps et sémiologie graphique : proposition de classification

Catégorie	Symbolisation		
	Point	Ligne	Surface
Moments Dates des événements	● juin 2007 Ouverture de la gare TGV Champagne-Ardennes	juin 2007 Mise en service de la Ligne à Grande Vitesse Est	Cruces de la Savoureuse (2005)
Durées Continuité des événements	Gare non desservie du 25 au 29 décembre 2006 Heures de passage du bus n°12 9h45 ● 9h56 ● 10h02 ●	Offensive allemande sur Douaumont 21 - 25 février 1916 9h56 ● 10h02 ● Trajet du bus n°12 (arrêts et liaisons) 9h45 ●	Occupation du parking nord de PSA du jeudi au samedi Jeudi ● Vendredi ● Samedi ●
Temps structurant Fréquence Temps standard	Jours d'ouverture de la billetterie du FC Sochaux ● lundi ● mardi ● mercredi Fuseau horaire central UTC	Fréquences de 3 lignes de bus — une fois par semaine — deux fois par semaine — tous les jours	
Temps comme distance Intervalle de temps Direction et/ou distance temporelles	Position temporelle des lieux à partir de la gare Centre administratif ● 15 min. ● 10 min. ● 5 min. ● gare ● Stade Bonal ● Site PSA ●	Distance-temps en train Strasbourg ● 1h23 ● Mulhouse ● 0h57 ●	Espace géographique de référence Espace fonctionnel de transports en commun
Espace comme horloge	Est : lever du soleil Ouest : coucher du soleil		Fuseaux horaires

O. Klein - 2007
 d'après C. Cauvin 2005, O. Klein 2000 et I. Vasiliev - 1996

De là, sont identifiées 5 catégories de temps, répondant à ces questions, associées à des messages spatio-temporels :

- « **Moments** » : ils correspondent à des instances simples, des dates d'événements. En considérant le temps comme étant une dimension linéaire, le moment sera un élément ponctuel de dimension 0 (une localisation) ;
- « **Durées** » : elles expriment des intervalles, la continuité d'un événement dans l'espace. Ce sont des éléments linéaires, de dimension 1 ;
- « **Temps structurant** » : il traduit des fréquences spatio-temporelles sous la forme de séquences, d'événements ordonnés ou d'organisations de l'espace par le temps ;
- « **Temps comme distance** » : le temps est une mesure de la distance avec des intervalles de temps spatialisés et des directions associées à des distances temporelles ;
- « **Espace comme horloge** » : l'espace est considéré comme une mesure du temps. Une catégorie néanmoins discutabile.

Ce schéma, regroupant les possibilités de l'expression graphique selon l'implantation et le type de temps, montre les limites de la sémiologie graphique sur un support bidimensionnel. Même si certaines propositions sont originales et intéressantes, la grande variabilité temporelle, d'une part, et le nombre important de données à cartographier dans la zone où est appliquée la démarche, d'autre part, engagent à explorer d'autres voies pour représenter les espaces-temps quotidiens.

1.2.4. La représentation du changement par la sémiologie graphique : un bilan mitigé

La sémiologie graphique propose quelques solutions statiques pour représenter l'information spatio-temporelle. Une comparaison diachronique ne pose pas de problème, puisqu'elle représente une évolution entre deux dates. Au-delà, une série de cartes est nécessaire, avec les limites d'appréhension et de compréhension de l'évolutivité du phénomène représenté. Du fait des limites des dimensions géométriques utilisées, les représentations classiques s'avèrent donc non-dynamiques et en quelque sorte atemporelles (D. Diabiase et al., 1994). Pour exploiter pleinement les données collectées et structurées dans la partie 2, l'ajout de dimensions de représentation s'avère, par conséquent, incontournable. Pour saisir toutes les caractéristiques de l'information (collectée et structurée autour de trois bases organisationnelles inspirées du modèle Triad de D. J. Peuquet) contenue dans la base de données et les restituer, les représentations devront également s'appuyer sur plus de deux dimensions.

Augmenter le nombre de ces dimensions, conduit à envisager un support d'expression de l'information différent, non figé ou en trois dimensions. Un système de perception visuel fondé sur l'animation peut être établi en intégrant, de fait, une variation de temps (figure 3.14).

Figure 3.14 – Propriétés des systèmes de perception auditif et visuel adaptées à l'animation

	Système de perception		
	Auditif	Visuel (statique)	Visuel (animé)
Variables sensibles	Une variation de son Une variation de temps	Une variation de tâches Deux dimensions du plan	Une variation de tâches Deux dimensions du plan Une variation de temps
Total	Deux variables	Trois variables	Quatre variables
Perception instantanée	1 son	totalité des relations entre trois variables	totalité des relations entre quatre variables

O. Klein - 2007
d'après J. Bertin - 2005

En intégrant le système visuel animé, la sémiotique – comme étude des signes et de leur signification – doit être revisitée pour proposer une palette de signes adaptés, notamment, aux variations temporelles. Dans cette perspective, le développement et le renouvellement des outils entraînent une mutation de la cartographie dépendante des progrès de l'informatique.

1.3. La représentation des déplacements : les possibilités issues de la *Time Geography*

Quoique l'approche soit relativement ancienne, la *Time Geography* de T. Hägerstrand connaît depuis quelques années un regain d'intérêt. En France, par exemple, on peut citer la thèse de S. Chardonnel (1999) sur les pratiques spatio-temporelles des touristes dans les espaces publics des stations touristiques de montagne où une attention particulière est portée au recueil des données et aux emplois du temps spatialisés. D'autres recherches similaires, liées aux nouvelles technologies, sont menées, notamment aux Etats-Unis et en Australie. Parmi les plus significatives, celle de H. Miller (notamment son premier texte publié dès 1991) propose une application des concepts de la *Time Geography* dans un SIG dédié aux transports publics afin de déterminer des aires accessibles à partir d'une localisation donnée en prenant en compte les noeuds et les arcs composant un réseau de transports publics. Par l'apport des nouveaux outils, il approfondit les travaux de B. Lenntrop (1976) cherchant, dans la ville de Karlstad, la relation entre augmentation des services de bus et accroissement du nombre d'aires dans la cité accessibles à une personne donnée avec un programme d'activité défini. Plus récemment, M.P. Kwan (1998, 2000, 2002) applique cette démarche à la mise en

évidence de disparités de genre avec l'appui de méthodes de visualisation tridimensionnelles interactives incluant aussi bien des techniques raster que vecteur. Enfin, S. McBride, D. Ma et F. Escobar (2002) avancent les principes d'un modèle d'intégration de données temporelles dans un système d'information géographique en croisant les principes généraux de la *Time Geography* avec les techniques de segmentation dynamique utilisées dans les SIG. Ce regain d'intérêt de la recherche en géographie pour la *Time Geography* est donc aussi bien conceptuel que méthodologique et thématique avec une réappropriation des concepts et une adaptation aux outils de recherche les plus récents.

Afin de comprendre l'aspect graphique introduit par cette approche, il est important de la replacer dans son contexte et de préciser les concepts qui la caractérisent.

1.3.1. Approche générale proposée par T. Hägerstrand

Avant les années soixante, aucun modèle reconnu en géographie n'associe les dimensions espace et temps. T. Hägerstrand, professeur au département de Géographie Sociale et Economique à l'Université de Lund en Suède, propose en 1969 une approche innovante de phénomènes géographiques basée sur deux concepts principaux. Selon lui, espace et temps doivent ne plus être dissociés mais être traités de manière équivalente en ne considérant plus le temps comme un simple attribut spatial. Le second concept, central dans ses études, consiste à aborder les problèmes géographiques non plus de manière globale ou agrégée mais en menant des réflexions à l'échelle de l'individu. L'objectif est alors d'appréhender les pratiques individuelles afin d'expliquer les comportements des groupes et de comprendre les structures et processus en oeuvre à des échelles plus larges. L'étude d'individus représentatifs de groupes socio-spatiaux doit permettre de mieux saisir la réalité du terrain et les facteurs qui entrent en jeu dans les choix de budgétisation des espace-temps de chacun.

Ces éléments ont été présentés en 1969 dans un article intitulé « *What about People in Regional Science ?* » à l'European Congress of the Regional Association à Copenhague. L'auteur est convaincu que l'étude des comportements humains par des groupes et des populations agrégées masque la nature des mouvements humains. Par conséquent, la démarche doit être conceptualisée de manière désagrégée et les études doivent être menées à l'échelle de l'individu afin de comprendre les pratiques socio-spatiales. Dans des approches globales plus classiques, comme les modèles de gravité, les choix d'activités des individus sont seulement appréhendés selon un critère de distance. Or, les décisions individuelles et les choix possibles ne se retrouvent pas, ou qu'avec des variations mineures, dans les populations agrégées alors que la compréhension des comportements spatiaux désagrégés est primordiale pour T. Hägerstrand. En effet, en partant de l'individu, comme unité d'étude élémentaire, cet auteur met l'accent sur l'importance du facteur temporel dans le choix des activités humaines. Il paraît évident que cette dimension temporelle est primordiale lorsqu'il s'agit de mettre en synergie des personnes ou des objets pour faire fonctionner le système

socio-économique. Ainsi, au quotidien, cette synchronisation des activités se manifeste chez chacun d'entre nous par l'inscription, dans nos agendas, de rendez-vous localisés à honorer, ou chez des transporteurs-routiers par des livraisons de matière première à effectuer de manière ponctuelle pour alimenter sans retard les chaînes industrielles de production.

Par la combinaison des emplois du temps et des espaces parcourus et occupés quotidiennement, T. Hägerstrand introduit le concept de chemin spatio-temporel, montrant les déplacements d'un individu dans un environnement spatio-temporel. Ces chemins mettent en évidence contraintes et limites des activités démontrant ainsi que, bien souvent, les décisions des individus ne sont pas indépendantes des dimensions spatiales et temporelles dans lesquelles elles s'inscrivent. De ce fait, des contraintes individuelles de capacité sont introduites en se référant aux limitations des mouvements humains liées à des facteurs physiques ou biologiques. T. Hägerstrand identifie ainsi trois catégories de contraintes :

- des **contraintes de capacité**, qui restreignent les mouvements des individus avec, d'une part, des contraintes physiques relativement basiques comme l'impossibilité de posséder le don d'ubiquité (une personne ne peut occuper qu'une place et une seule, à un temps donné) ou l'irréalité de la téléportation (elle ne peut se déplacer instantanément d'une localisation à une autre) et, d'autre part, des contraintes biologiques comme les besoins naturels de se nourrir, de boire ou de dormir.
- des **contraintes d'autorité**, définies par un groupe d'individus ou des institutions bénéficiant d'un pouvoir et qui imposent des limites d'accès à des individus ou des groupes d'individus. Par exemple, le chemin spatio-temporel d'un individu ne peut pénétrer sur le site de production du constructeur automobile PSA-Peugeot-Citroën, que s'il est salarié du site ou dispose d'une autorisation d'accès.
- des **contraintes d'union** ou de synchronisation spatiale et temporelle, lorsqu'un individu doit interagir avec d'autres personnes afin de mener à bien une tâche à un endroit particulier pendant une période de temps donnée. Le chemin spatio-temporel d'un individu entre alors en interaction avec d'autres chemins pour l'accomplissement de ces tâches. C'est l'exemple d'une réunion entre plusieurs interlocuteurs dans une salle localisée par une adresse, avec un créneau horaire défini et délimité dans le temps où deux paramètres peuvent être ajustés pour satisfaire l'ensemble des personnes concernées : la localisation et les horaires.

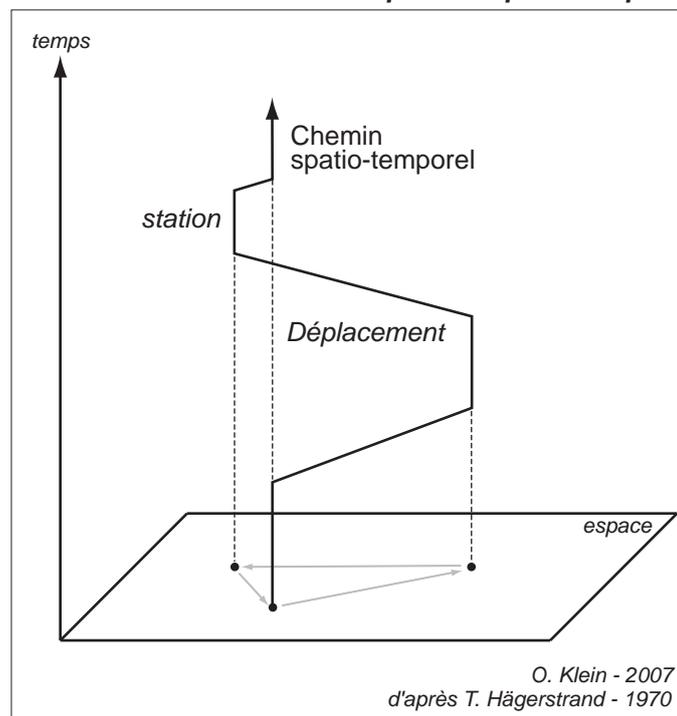
L'intérêt marqué pour cette approche s'explique par une relative simplicité des concepts utilisés et par les représentations originales qu'elle introduit.

1.3.2. Des solutions cartographiques originales

La principale contribution cartographique de cette approche est un type de représentation s'appuyant sur des procédés de cartographie en trois dimensions combinant espace et temps. T. Hägerstrand (1973) met en place les bases de construction d'outils visuels pour étudier les hommes dans l'espace-temps en cherchant à identifier des réalités géographiques à l'échelle individuelle. Par conséquent, les représentations sont utilisées comme outil de recherche dans l'intention de révéler et d'analyser les mouvements complexes et les interactions entre individus, c'est-à-dire des changements de position au cours du temps. Pour ce faire, l'espace géographique est réduit à un plan bidimensionnel (x,y) – qui correspond à l'étendue du territoire étudié – intersecté perpendiculairement par une troisième dimension temporelle (t) . L'ensemble forme un référentiel spatio-temporel (x,y,t) – un aquarium spatio-temporel – dans lequel tout objet ou tout individu est doté d'une position à la fois spatiale et temporelle.

Qu'ils soient mobiles ou non, objets et individus peuvent être représentés géométriquement dans ce référentiel. Les trajectoires individuelles sont alors continues à partir des coordonnées du point où elles commencent d'être – naissance – jusqu'au point où elles cessent – mort (Figure 3.15).

Figure 3.15 – Trajectoire d'un individu dans un aquarium spatio-temporel



Chaque forme de tracé a une signification particulière. Une ligne verticale, avec x et y constants, traduit l'immobilité d'un objet. Par contre, si cet objet est mobile, à vitesse constante durant une période de temps, il dessine une pente entre deux lignes verticales. L'importance de la pente caractérise la vitesse de déplacement de l'individu : plus vite il se déplace, plus tôt il atteint sa destination et plus importante est la pente.

Une telle représentation spatio-temporelle permet d'identifier les relations spatiales, temporelles et/ou spatio-temporelles qu'entretiennent des individus : coprésence spatio-temporelle, uniquement spatiale (succession dans des mêmes lieux), uniquement temporelle (synchronisation dans des lieux différents) ou absence de coprésence (Figure 3.16). Les relations entre individus peuvent se faire en présence ou télé-présence au moyen d'outils de communication et de manière synchrone ou asynchrone (Figure 3.17). L'ensemble permet de caractériser les éléments synchronisateurs présents dans l'espace comme le cas du match de football (Figure 3.18).

Figure 3.16 – Relations spatio-temporelles entre deux individus dans l'aquarium spatio-temporel

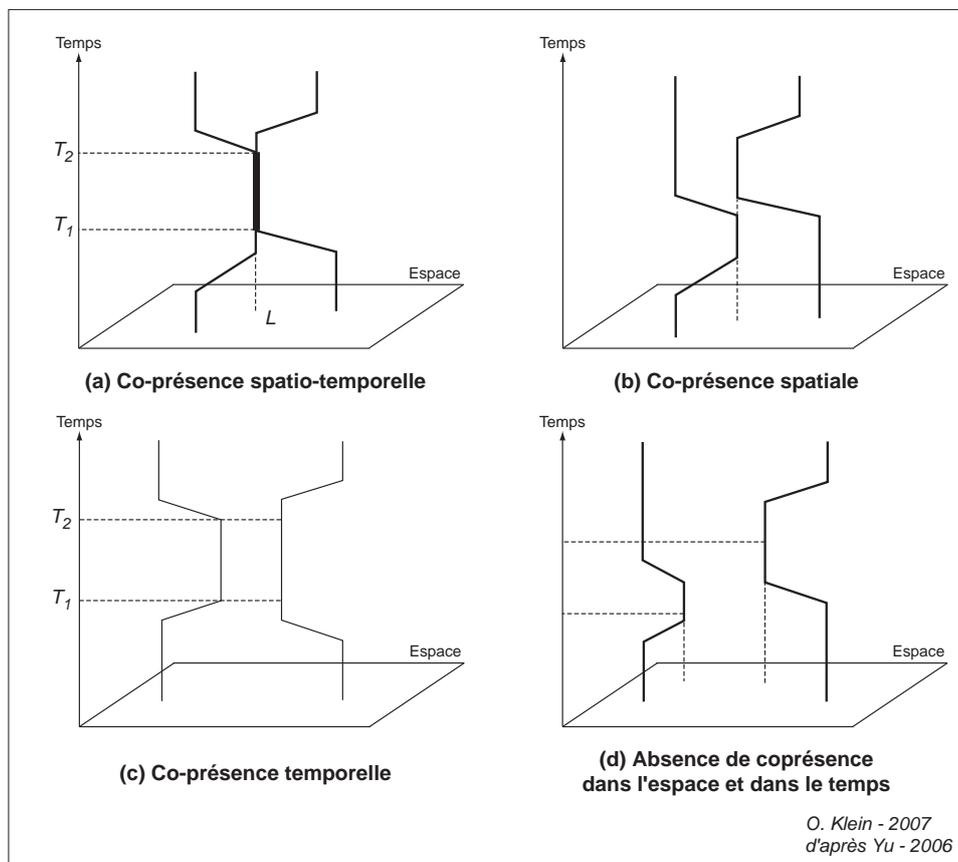
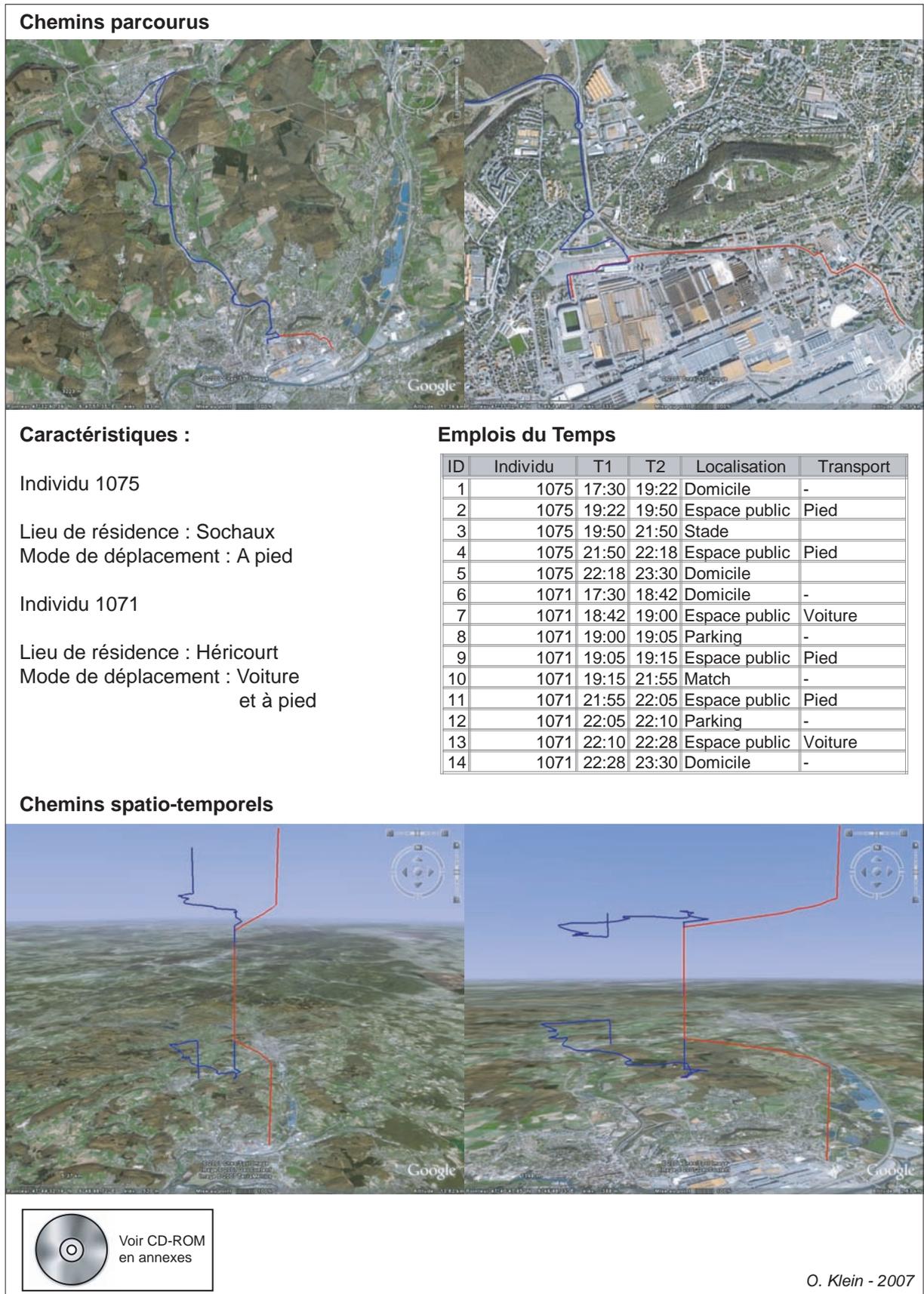


Figure 3.17 – Des possibilités de présences spatiales et temporelles entre individus

		Temps	
		Synchrone	Asynchrone
Espace	Présence physique	Rencontre en face à face Réunion	Message sur "Post-it@"
	Télé-présence	Conversation téléphonique Dialogue par Webcam	Email Forum de discussion Message sur répondeur

O. Klein - 2007
d'après H. Miller - 2003

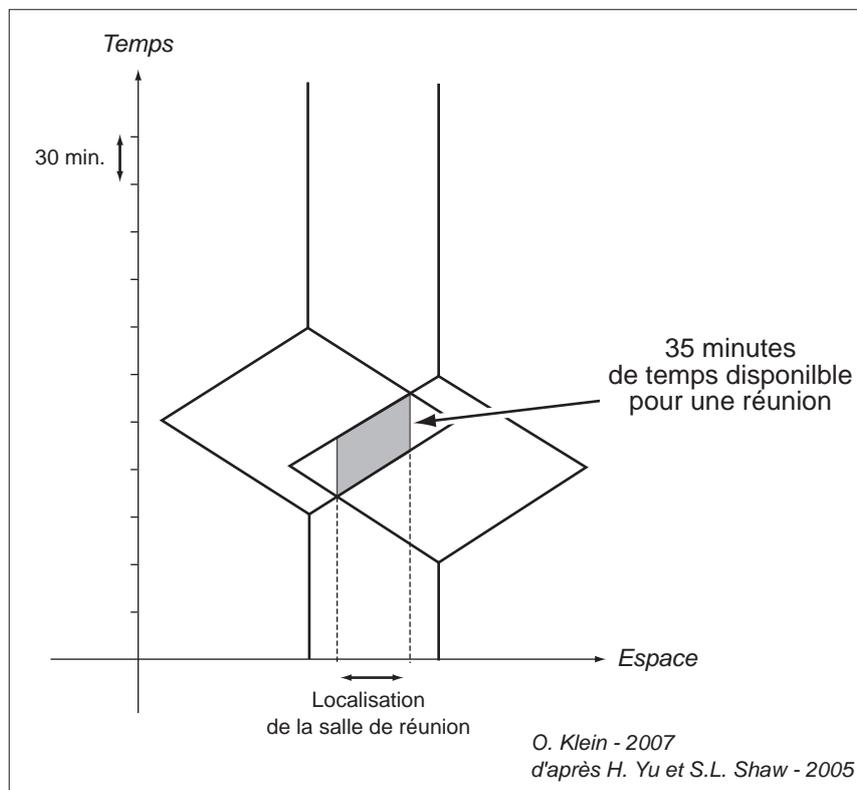
Figure 3.18 – Exemple de chemins spatio-temporels de deux individus se rendant au stade Bonal



Ces éléments de base, mis en place progressivement, permettent de déterminer un langage graphique avec :

- un **chemin spatio-temporel**, représentation des positions spatiales d'un objet durant une période de temps ;
- une **station**, représentation d'une position fixe d'un objet dans l'espace ;
- un **prisme**, représentation d'un budget temps caractérisant l'espace-temps des possibles pour réaliser une activité. Cette forme géométrique permet de visualiser la région spatio-temporelle potentiellement accessible en fonction d'un mode de transport et d'un temps à disposition. L'intersection de deux prismes, exprimant les budgets temps de deux individus à disposition, permet d'accorder les agendas spatio-temporels (Figure 3.19).

Figure 3.19 – Concordance des budgets-temps de deux individus

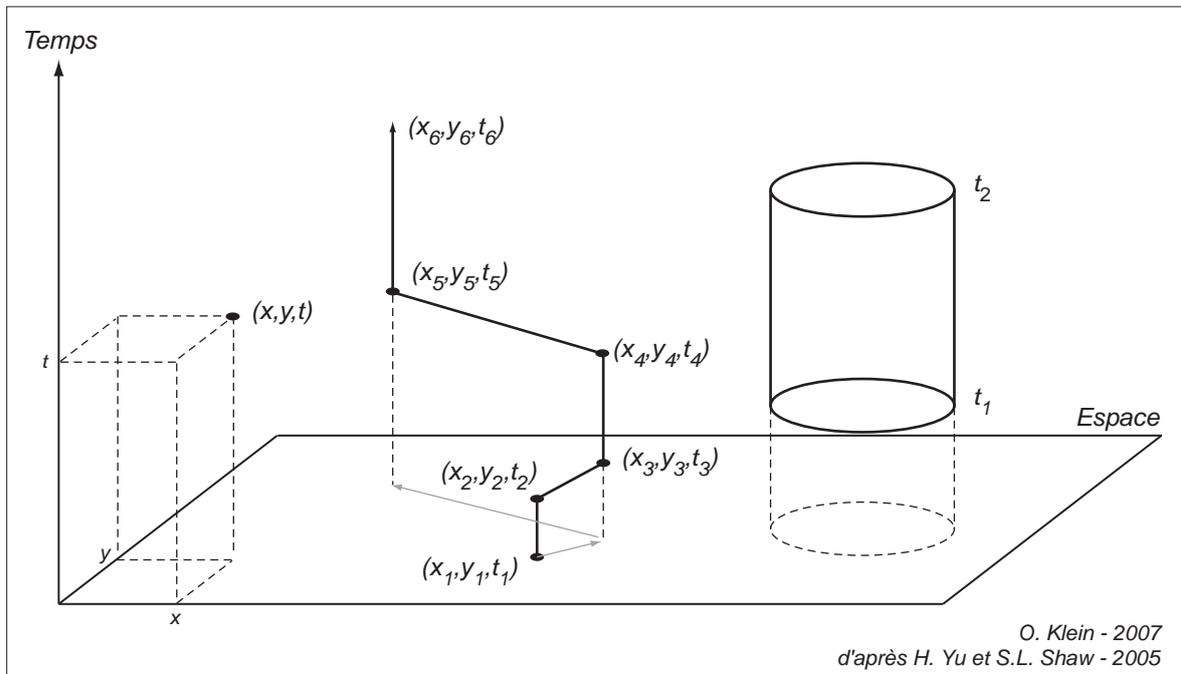


L'implémentation dans un SIG semble plus adaptée en mode vecteur même si en 1998, par exemple, une approche en raster tridimensionnel a été proposée par O. Huisman et P. Forer. Comme M.P. Kwan (2000), nous estimons qu'il est préférable de privilégier un mode de représentation vectorielle, mieux adapté à la topologie complexe des réseaux de transport. Ceci permet notamment de modéliser les chemins spatio-temporels sous la forme d'une représentation continue dans le temps quelles que soient les échelles spatiales et temporelles. Dans un SIG vecteur, trois primitives géométriques servent de base aux constructions (figure 3.20) :

- le **point** (x,y,t) , un moment discret dans le temps localisé ponctuellement ;

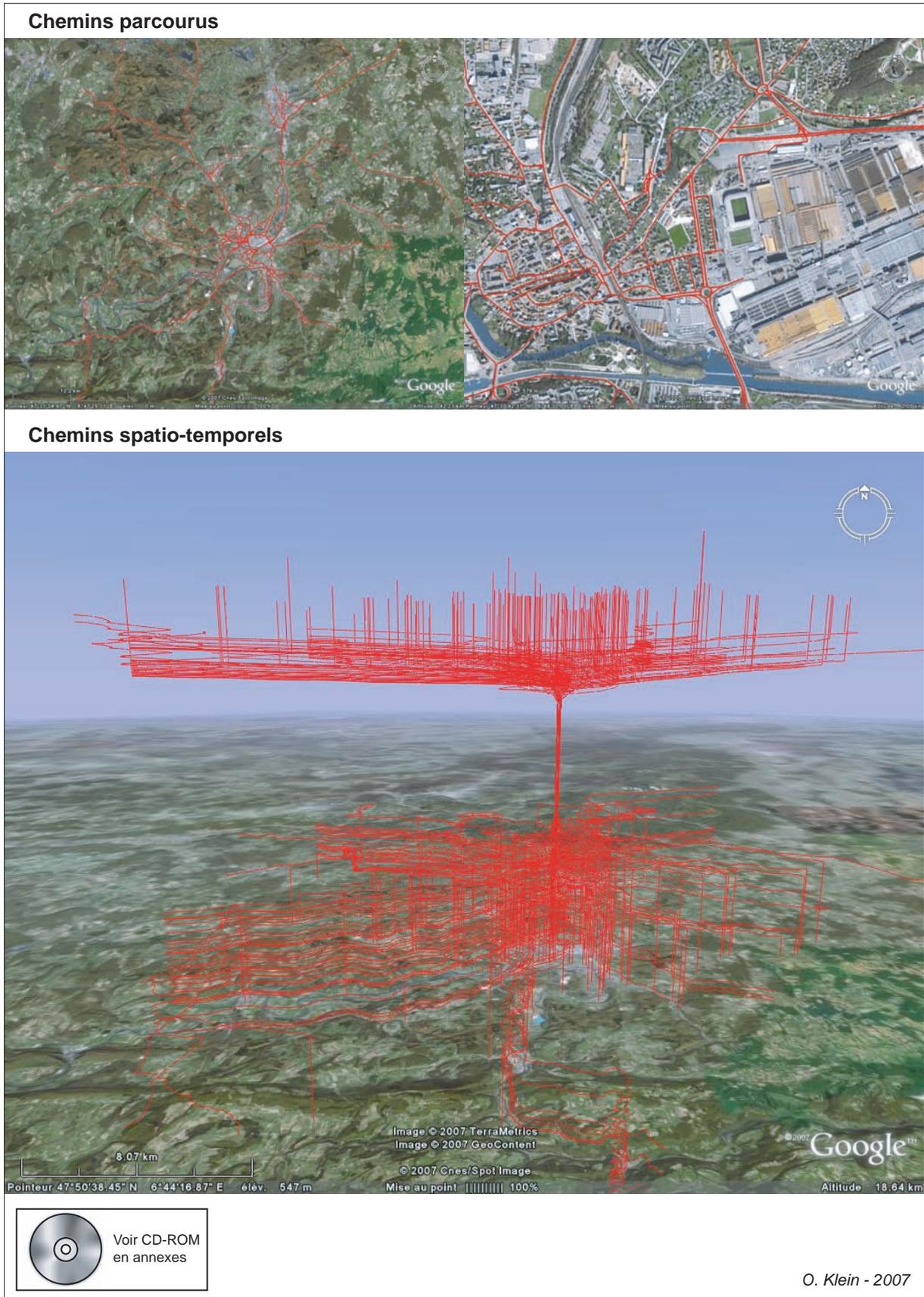
- la **ligne** $\{(x_1, y_1, t_1), (x_2, y_2, t_2), \dots, (x_n, y_n, t_n)\}$, qui caractérise les chemins spatio-temporels ;
- le **volume**, qui caractérise une surface évoluant dans le temps.

Figure 3.20 – Primitives géométriques pour une implémentation dans un SIG



Cette solution de représentation cartographique des mouvements quotidiens est cartographiquement pertinente lorsqu'on se limite à un nombre restreint d'individus représentatifs de la population totale. En exploitant les emplois du temps spatialisés de touristes, S. Chardonnel (1999) évoque un seuil de lisibilité fixé à 200 individus. Toutefois en effectuant des tests sur l'aire urbaine Belfort-Montbéliard, aussi bien avec les données de l'enquête ménage-déplacement qu'avec les résultats de l'enquête liée au match de football à Bonal, ce seuil semble être atteint bien plus rapidement avec un maximum se situant au mieux autour d'une cinquantaine d'individus. Or, pour notre projet ce seuil est loin d'être représentatif. Sur la figure 3.21, près de 400 chemins spatio-temporels sont représentés. L'étude étant construite autour d'un événement, un match de football, la synchronisation paraît évidente. Toutefois, les parties avant et après événement, les plus pertinentes pour notre objectif, sont illisibles. Aucune tendance spatiale ou spatio-temporelle ne peut être dégagée de cette image.

Figure 3.21 – Chemins spatio-temporels d'environ 400 individus se rendant au stade Bonal pour un match de football



D'autres interrogations subsistent quant à la compréhension de ces représentations. Etant amené à utiliser ces cartes dans des démarches de concertation et dans des processus d'aide à la décision, la compréhension de ce type de représentation est loin d'être unanime et adaptée à tout public. Le concept de chemin spatio-temporel n'est peut-être pas aisément compréhensible par des publics peu familiarisés. Cet aspect serait à valider avant de pouvoir utiliser toutes les potentialités de ces représentations. Un autre élément important à valider concerne la troisième dimension géométrique associée au temps. Une fois accepté la spatialisation du temps selon une troisième dimension habituellement réservée à l'altitude, se pose la question de l'échelle et de l'exagération verticale du temps. En effet, quelle est la longueur métrique d'une minute ? La question de la correspondance ne fait pas, pour le moment, l'unanimité et de toute façon, elle est fonction de l'étendue du territoire retenu pour l'étude.

1.4. L'approche originale de W. Tobler pour visualiser les flux

Comme nous l'avons indiqué dans le paragraphe sur la sémiologie graphique, la représentation des déplacements est souvent associée à la cartographie des flux, forme de représentation la plus commune des mouvements, notamment dans l'étude des migrations de population. Ces flux occupent un large domaine de la cartographie avec des contenus très variés mais toujours quantitatifs. Il s'agit d'une quantité quelle qu'elle soit qui est déplacée, transmise entre deux points. Pourtant, leur représentation pose encore maintenant de sérieux problèmes aussi bien dans la complexité de leur construction que du point de vue de la lisibilité des résultats. Alors qu'en cartographie classique ponctuelle ou surfacique, les données thématiques quantitatives sont représentées par des volumes localisés, dans le cas des flux –cartes linéaires, ces mêmes volumes s'expriment en mouvement et c'est cet aspect qui en fait toute sa complexité. De manière générale et sauf exception, les solutions graphiques se résument à des variations d'épaisseurs de tracés en fonction de l'importance de la quantité de mouvement. Bon nombre d'auteurs retiennent cette technique pour définir et caractériser les cartes de flux. Par exemple, B. Rouleau (2000), dans le glossaire clôturant son ouvrage, résume bien un consensus générale autour de la carte de flux en proposant une définition relativement simple : « Carte thématique représentant le trafic le long de voies au moyen de bandes épousant schématiquement le tracé de ces voies et de largeur proportionnelle à l'importance du trafic ».

De surcroît, malgré son importance considérable, la question des flux est relativement peu traitée dans les ouvrages généraux de cartographie et ne prend qu'une place restreinte par rapport aux autres formes de cartes les plus usuelles. Généralement, seules les variations d'épaisseurs par bandes proportionnelles sont exposées. Dans ce panorama, W. Tobler constitue une exception car il s'y est particulièrement intéressé et a proposé des solutions originales insuffisamment connues.

Cependant exposer ces propositions semble nécessaire pour caractériser les flux.

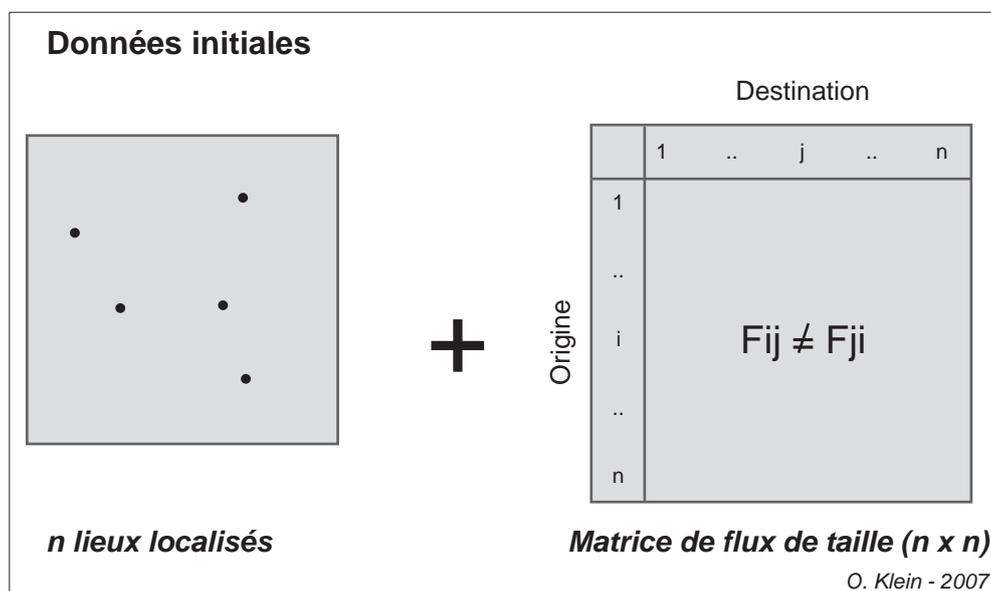
1.4.1. Approche classique et complexe de la représentation des flux

Au sens premier, le terme de flux, dont la racine latine est *fluxus*, traduit l'« action de couler ». Dans une conception plus scientifique et quantitative, il caractérise une grandeur scalaire ou vectorielle qui traverse, pendant une unité de temps, une aire donnée, comme un flux lumineux, énergétique, électrique ou magnétique. Par généralisation et transposition en sciences humaines et économiques, il désigne à la fois des mouvements matériels de personnes ou de biens et des mouvements immatériels comme des mouvements d'information ou de créances.

A l'échelle urbaine, les flux de marchandises et de populations alimentent la ville et permettent sa subsistance et son évolution. Toutefois, le flux est le résultat d'une dissymétrie entre deux lieux, comme, par exemple, un déséquilibre spatial entre l'offre et la demande de travail, qui est compensé par des mouvements quotidiens de navetteurs. En portant une attention plus particulière aux flux de population, deux formes se distinguent, particulièrement en milieu urbain, en fonction de leur rapport au temps. En premier, des temporalités et des mouvements cycliques s'inscrivent dans un temps court ; les périodicités y sont essentiellement quotidiennes (comme les mouvements domicile-travail, ou domicile-lieux de consommation), mais peuvent s'étendre jusqu'à l'année, et définissent des flux de structure garantissant l'organisation et le bon fonctionnement des territoires. En second, des mouvements s'inscrivent dans la durée, dans un temps long et linéaire, qui alimentent une tendance à transformer l'espace qui peut se manifester spatialement par un étalement urbain.

Les données à disposition pour appréhender spatialement les flux sont d'une part les localisations des n lieux origines et destinations des mouvements et d'autre part une matrice d'échanges, généralement carrée, de taille $n \times n$, contenant les données attributaires de chaque paire de mouvements entre les n lieux considérés (Figure 3.22).

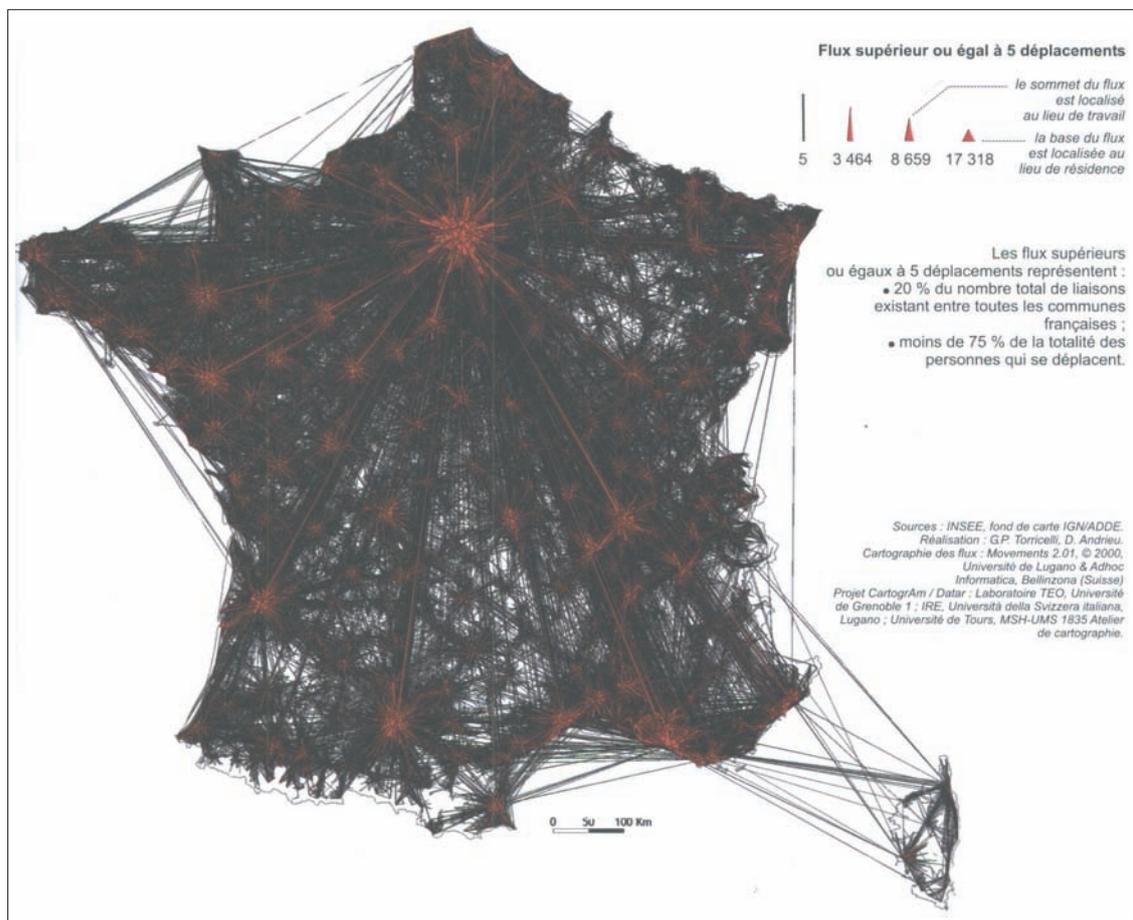
Figure 3.22 – Données nécessaires pour une cartographie des flux



Procéder à une représentation des flux à partir de telles données, suppose qu'un mouvement continu, ou séquentiellement continu, d'un mobile existe entre une paire de lieux. La trace laissée par ce dernier est alors figurée par une ligne entre une origine et une destination qui peut soit prendre appui sur un réseau de déplacement soit prendre la forme d'un lien rectiligne. A l'échelle d'une agglomération ou d'une aire urbaine, et particulièrement pour Belfort-Montbéliard, le nombre de lieux étant trop important (198 communes), et le réseau où prennent place ces échanges trop complexe (11 795 noeuds et 15 236 tronçons), une représentation prenant appui sur le réseau s'avère inadaptée et inefficace. Les flux rectilignes sont donc privilégiés dans les représentations retenues sur cette zone d'étude.

Flux et quantités en mouvement peuvent apparaître sur les cartes en tout sens comme sur la figure 3.23. Cette carte réalisée par G. P. Torricelli et D. Andrieu (2000), bien que ne représentant qu'une partie limitée des liens (flux supérieurs à cinq déplacements domicile-travail), montrent la difficulté pour retrouver une des fonctionnalités originelles de la carte, à savoir révéler des structures ou processus. Or, du fait d'un bruit (Rimbert, 1973) causé par les flux les plus faibles, la lecture de la carte se trouve perturbée. Certaines informations mériteraient d'être supprimées afin que l'image soit plus communicative. Un traitement par sélection de l'information significative est nécessaire. Comme l'affirment C. Cauvin et H. Reymond (1989), la représentation de tous les flux est impossible et même inutile, car tout au plus elle gêne la lecture.

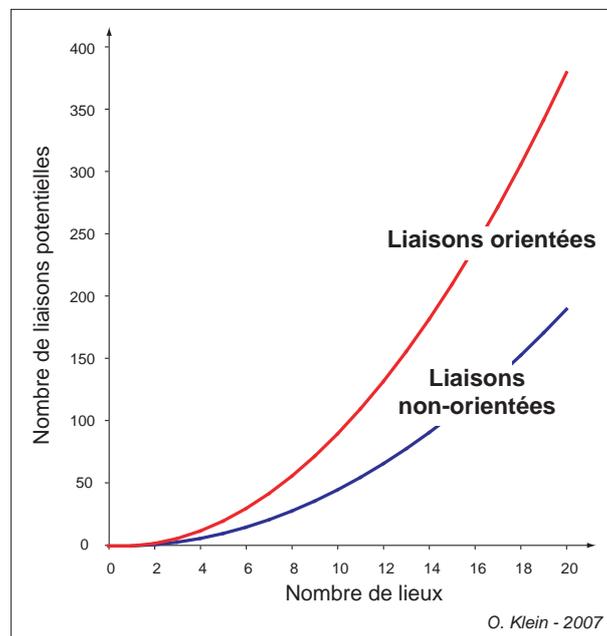
Figure 3.23 – Cartographie des flux et lisibilité



Cet exemple de carte illustre bien le problème de la surinformation face auquel se retrouvent bon nombre de cartographes. Il faut limiter la quantité d'information portée sur le document à la quantité assimilable par la lecture, c'est-à-dire procéder à un choix judicieux entre exhaustivité et lisibilité.

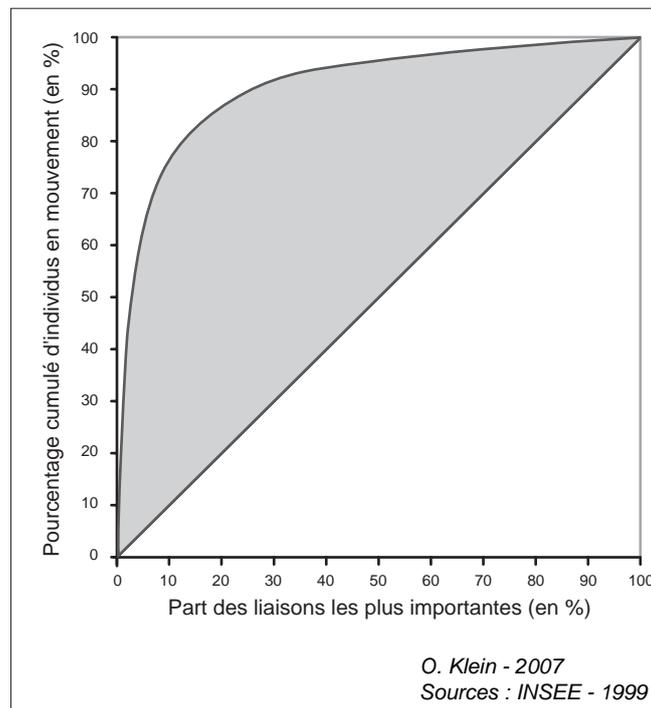
Les cartes de flux deviennent très rapidement illisibles du fait d'une trop forte densité d'éléments graphiques lorsque le nombre de lieux origine/destination devient trop important, en général au-delà d'une matrice d'échange de 10×10 . En fait, le nombre de mouvements potentiels croît selon une fonction quadratique du nombre de lieux en relation. Ainsi, pour n lieux, il existe $n(n-1)$ liaisons orientées et $n(n-1)/2$ liaisons non orientées (figure 3.24).

Figure 3.24 – Représentations graphiques des liaisons potentielles en fonction du nombre de lieux



Appliquée à l'Aire Urbaine sur la thématique des mouvements domicile-travail intercommunaux, la matrice d'échanges obtenue a une taille de 198 par 198, soit 39 204 liaisons potentielles qui peuvent être restreintes à 39 006 si la diagonale, représentant les mouvements internes aux communes, n'est pas prise en compte. Toutefois, l'essentiel de ces liaisons ne comporte pas de relation. En effet, seul 16 % d'entre elles (soit 6 335 liaisons) concentrent les migrations quotidiennes. De plus, celles-ci sont largement réparties de manière inégale autour des communes principales. En construisant la courbe de Lorenz (Figure 3.25) mettant en relation la part des liaisons les plus importantes avec la part cumulée d'individus qui sont en mouvement, la distribution des flux s'éloigne fortement de la diagonale du carré exprimant une distribution homogène.

Figure 3.25 – Mise en relation de la part des liaisons les plus importantes avec la part cumulée d'individus en mouvement



L'indice de Gini G confirme cette distribution fortement inégalitaire, avec une valeur s'approchant de 0.8, alors que 0 signifie une égalité totale et 1 une inégalité parfaite. L'indice de Gini G s'obtient par la formule de Brown :

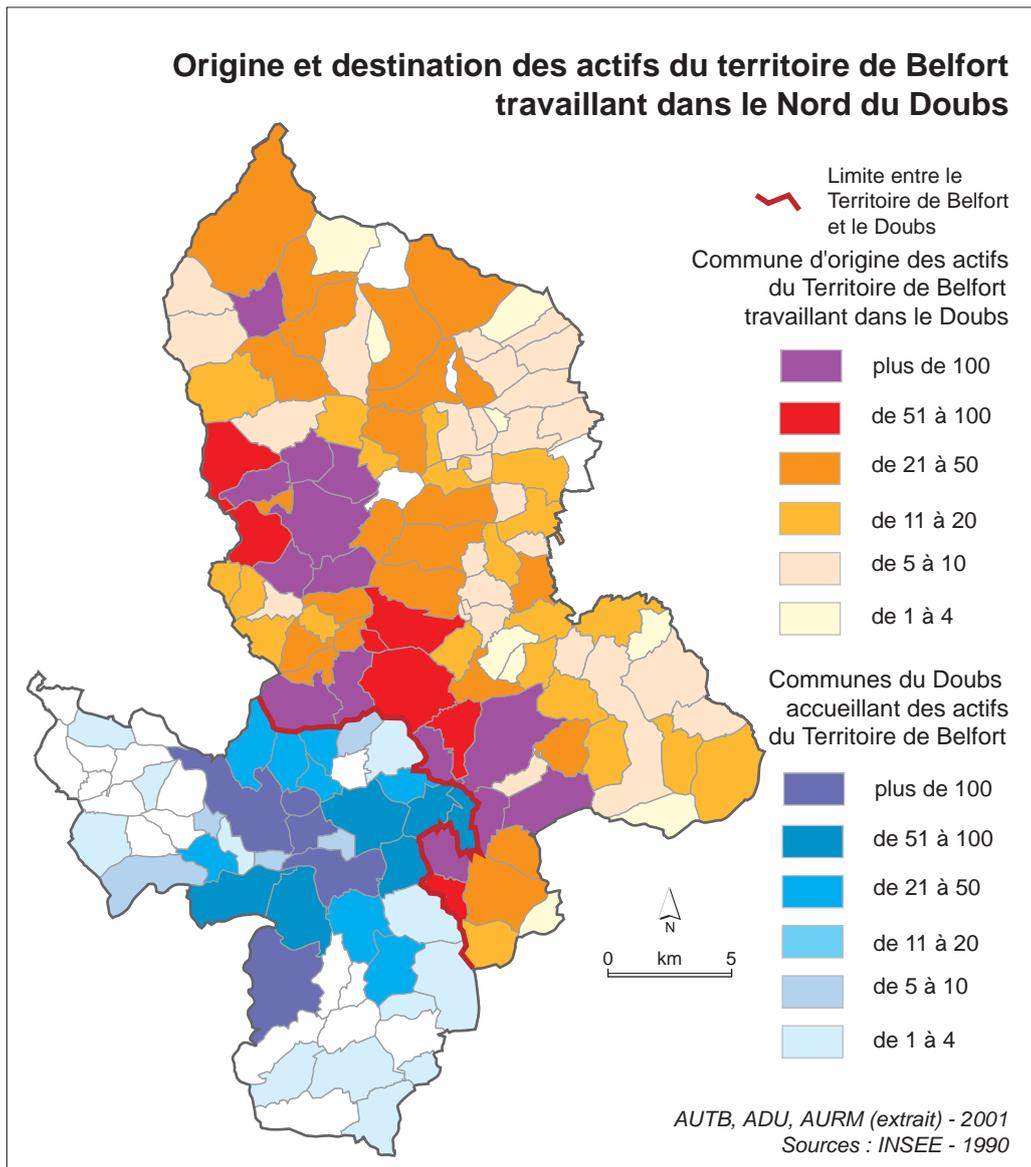
$$G = 1 \sum_{k=0}^{k=n-1} (X_{k+1} - X_k)(Y_{k+1} - Y_k)$$

avec n : nombre de communes

X : part cumulée des liaisons les plus importantes

Y : part cumulée d'individus en mouvements

Face à ces difficultés, le parti pris de certains cartographes consiste à supprimer la composante mouvement des flux. En supprimant la direction, ils privilégient un changement d'implantation passant du linéaire au surfacique au moyen de cartes choroplèthes. Cette nouvelle implantation suppose une agrégation de données en ne représentant que les sommes aux marges de la matrice d'échanges. Dans le cas des migrations intercommunales domicile-travail, ceci revient à cartographier le nombre total des entrants, des sortants ou de la somme [entrants plus sortants] (c'est-à-dire la turbulence) de chaque commune. Par conséquent, la signification de la carte change passant d'une représentation de mouvements de zone à zone à une cartographie d'un indice résumant ces mouvements (Figure 3.26).

Figure 3.26 – Exemple de cartographie des marges de la matrice d'échanges

Dans ces représentation partielles de l'information sur les déplacements, toute la composante dynamique des flux est perdue, seuls les résultats des déplacements sont cartographiés. Dans certains cas, ces cartographies sont pertinentes, mais la plupart du temps, elles forment une solution de substitution face à la mauvaise connaissance des cartes de flux. Ce type de représentation se retrouve massivement dans les bureaux d'études, agences d'urbanismes ou toutes autres structures travaillant sur la dynamique des territoires. Ces choix sont en fait contraints à la fois par un savoir-faire défailant, provenant de représentations et de solutions souvent mal connues, et par l'absence, dans ces structures, d'outils efficaces et adéquats.

1.4.2. Les solutions proposées par W. Tobler

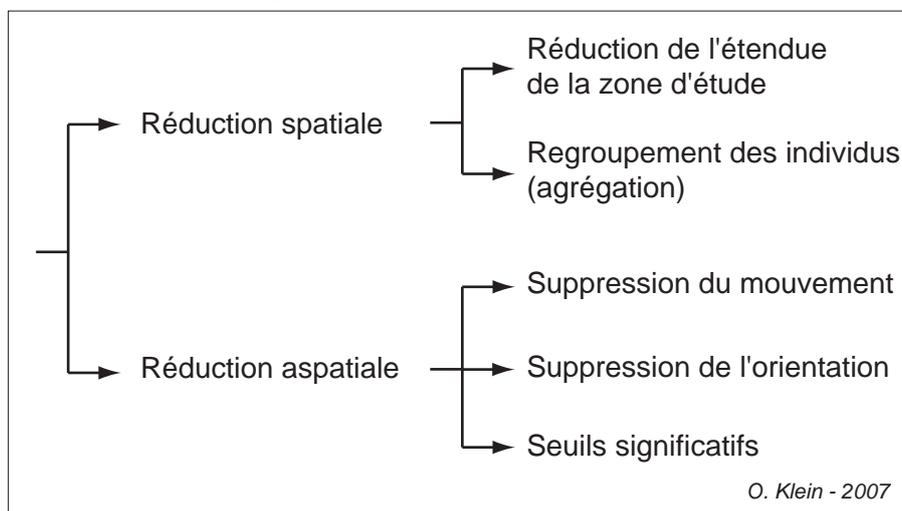
Dans ses recherches, W. Tobler aborde au milieu des années soixante-dix la question des flux et de leur représentation du fait de leur rôle dans les mécanismes géographiques du changement. Un premier logiciel en 1979, adapté récemment aux systèmes actuels, a été mis au point et a permis d'effectuer de nombreux tests, remettant partiellement en cause des règles sémiotiques usuelles.

Dans ses travaux sur les flux, l'objectif central est d'obtenir une représentation des flux migratoires tout en conservant leur implémentation géométrique, leur direction et leur volume afin de répondre à diverses applications. Ses propositions se partagent en deux grandes familles de représentation : d'une part, des représentations descriptives et, d'autre part, des modélisations.

1.4.2.1 Une solution simple : la sélection d'informations

Dans la première catégorie, l'intérêt porte principalement sur les composantes des flux pour adapter au mieux leur représentation. La première proposition est directement avancée par W. Tobler : il s'agit de la réduction du nombre de flux ; en effet, face aux problèmes de la surinformation identifiés précédemment, W. Tobler envisage des solutions de réduction d'information qui peuvent être complétées (figure 3.27).

Figure 3.27 – Possibilités de réduction d'information



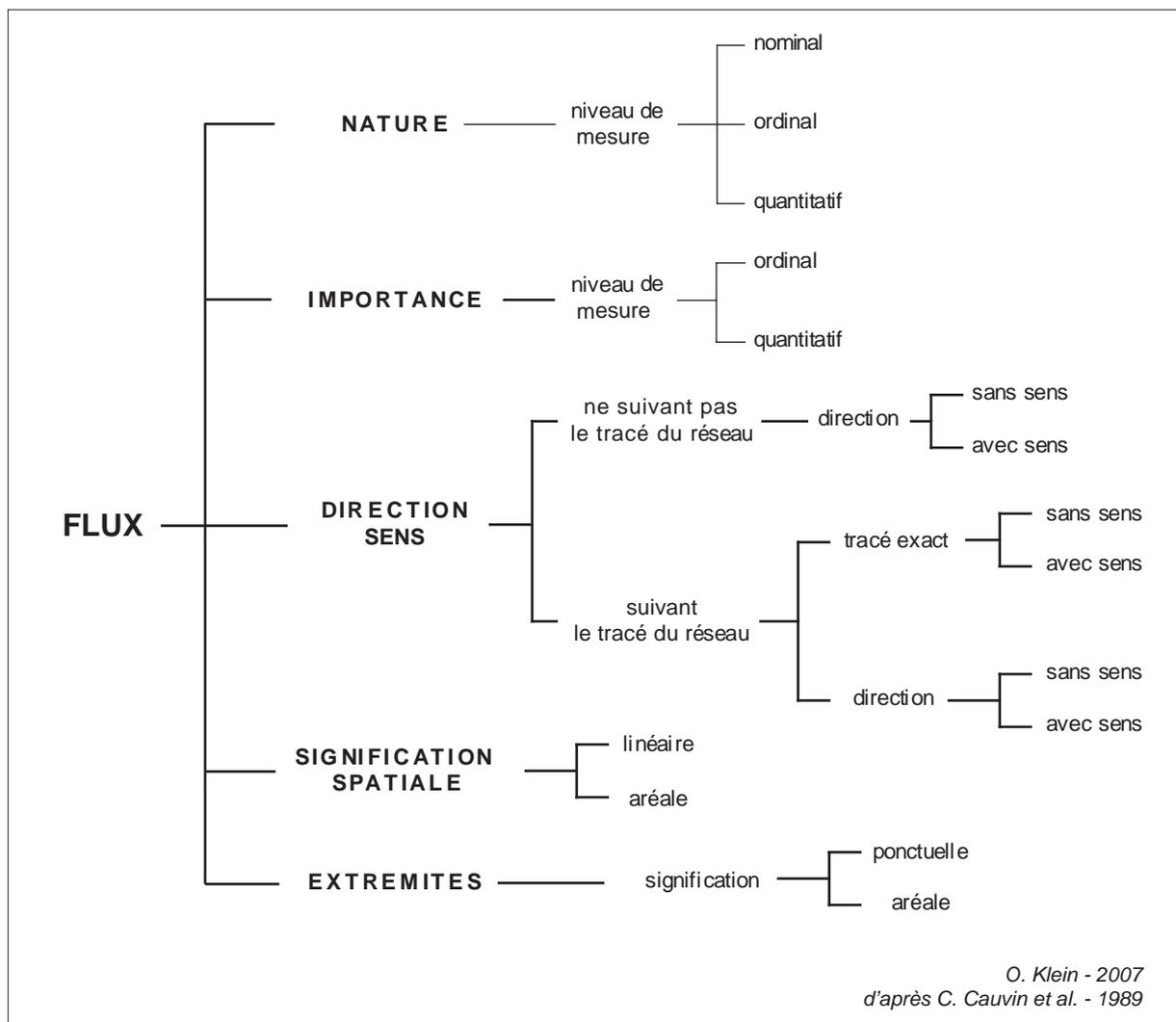
Pour réduire la taille de la matrice d'échanges, on peut intervenir sur la dimension spatiale de ces représentations en réduisant le nombre de lieux origine/destination, soit en réduisant la zone d'étude (en passant par exemple de la région Franche-Comté au département du Territoire de Belfort), soit en procédant par regroupement des lieux (en passant des migrations intercommunales des 36 000 communes françaises à des migrations inter-régionales).

La réduction d'information peut également s'opérer thématiquement, d'abord en supprimant la composante mouvement présenté précédemment, ensuite en supprimant

l'orientation et en ne travaillant plus que sur les mouvements totaux ou nets entre deux lieux, ou encore en ne retenant que des seuils significatifs et en supprimant ainsi les flux les moins importants. Pour W. Tobler, le seuil optimal pour le choix des valeurs à représenter est celui de la taille moyenne des flux. Cette simple règle de sélection des données peut écarter jusqu'à 80% des flux, tout en gardant 20 % du volume des flux. Toutefois, si les petits flux ne sont pas essentiels individuellement, leur prise en compte globale influence la vie d'un réseau en contribuant, notamment, à l'excès de trafic et à la saturation du réseau.

Une deuxième suggestion est émise, à partir des travaux de W. Tobler, par C. Cauvin et H. Reymond (1989) qui proposent de décomposer de manière détaillée ces éléments constitutifs pour disposer de l'ensemble des paramètres entrant en jeu lors de la cartographie (Figure 3.28). Pour trouver des solutions satisfaisantes, il est indispensable de savoir sur quelles composantes, il est possible d'intervenir et d'appliquer les options sémiotiques.

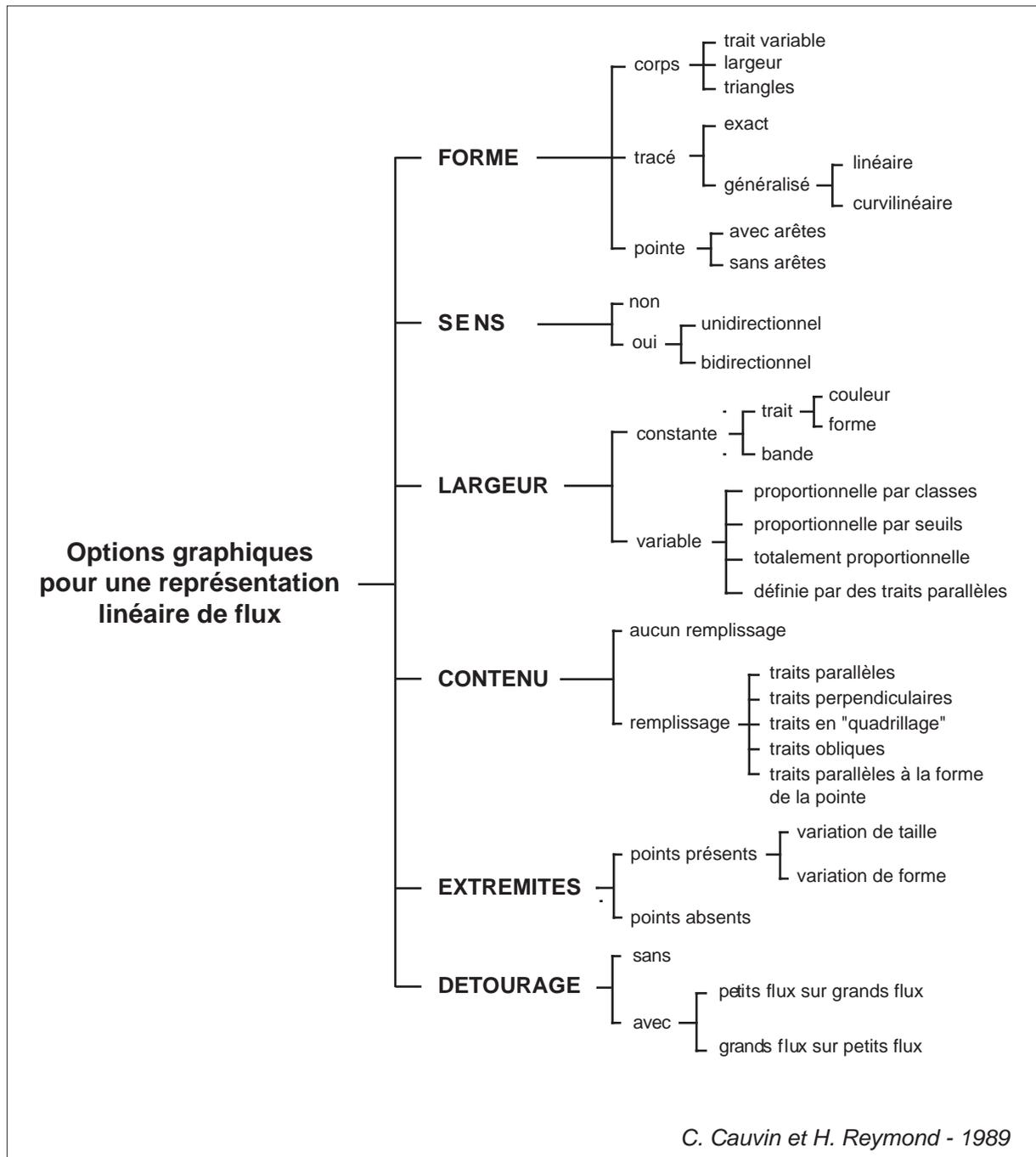
Figure 3.28 – Composantes d'un flux



Malgré cette réduction de l'information, des difficultés de lecture peuvent persister notamment en raison de la superposition des symboles. Aussi, connaissant les composantes des flux, les options graphiques abondent et le problème est de respecter strictement règles

tant syntaxiques que perceptives ; toujours appuyées sur les travaux de W. Tobler, des propositions ont été émises (Figure 3.29) par C. Cauvin et H. Reymond (1989).

Figure 3.29 – Choix graphiques de représentation des flux



Les règles de chevauchement nécessitent, entre autres, de respecter au maximum ces règles pour une meilleure lisibilité de la carte finale. Mais une autre voie plus ouverte a été explorée par W. Tobler

1.4.2.2. Un apport de la modélisation : d'une carte de flux à un champ vectoriel

Parmi les solutions de réduction d'informations, W. Tobler en propose une série fondée sur des principes mathématiques de calcul vectoriel (Tobler, 1975, 1976 et 1978).

Un premier type de carte est constitué de vecteurs isolés (Tobler, dès 1975). Les flux représentés précédemment sont assimilés à des vecteurs moyens dont la norme est égale à la moyenne des flux au départ de chaque lieu. Les coordonnées de chaque vecteur sont obtenues à partir de M_{ij} la quantité en mouvement entre les lieux i et j avec pour positions respectives (X_i, Y_i) et (X_j, Y_j) tel que :

$$\vec{v}_i = \frac{1}{n-1} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m \frac{M_{ij} - M_{ji}}{M_{ij} + M_{ji}} \cdot \frac{1}{d_{ij}} \cdot [(X_j - X_i), (Y_j - Y_i)]$$

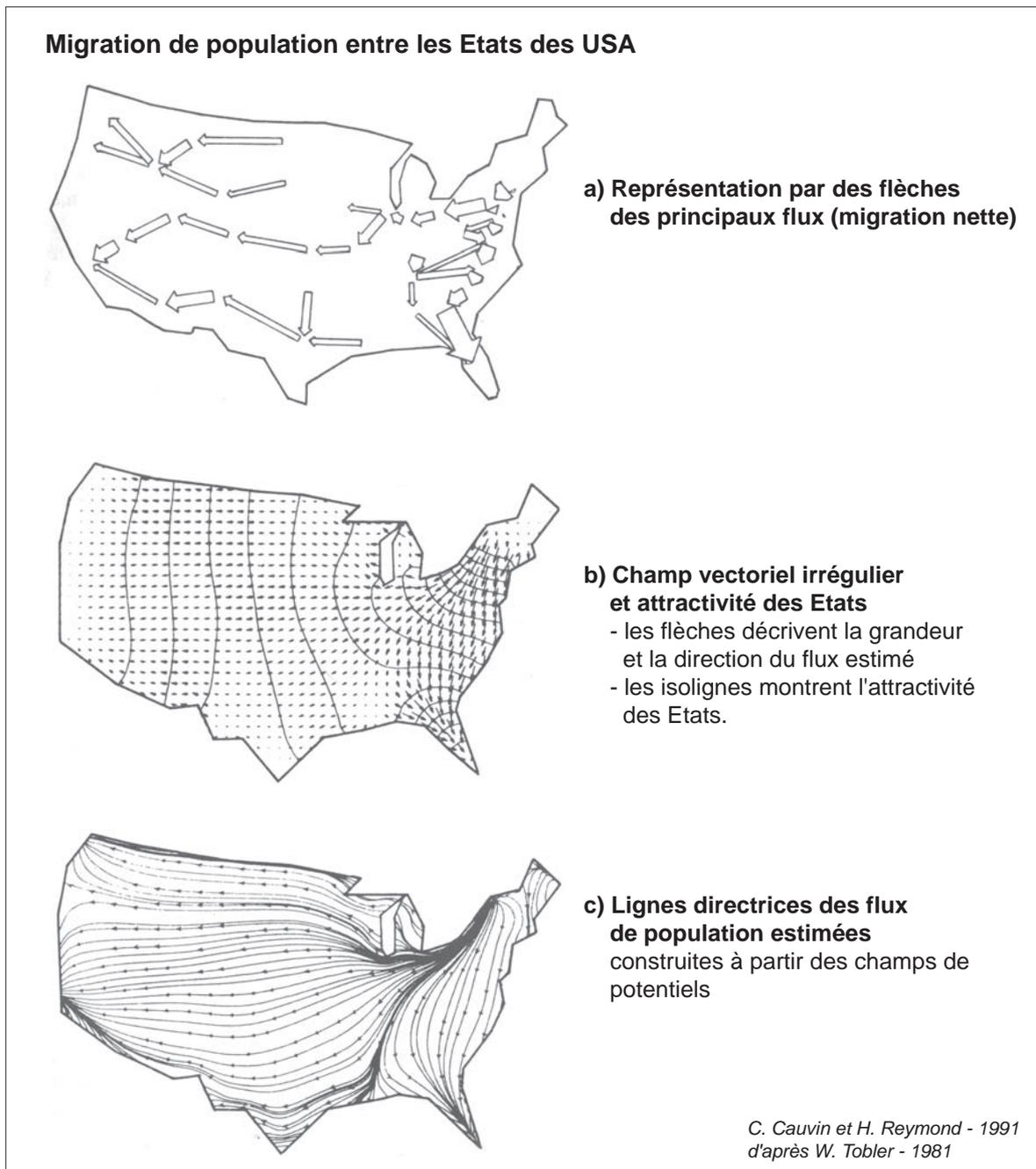
$$\text{avec } d_{ij}^2 = (x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2$$

Le vecteur v_i a pour origine (X_i, Y_i) avec une mise à l'échelle fonction de la carte finale (Tobler, 1975). Le résultat obtenu va au-delà d'une simple somme aux marges de la matrice d'échanges puisque l'information de la carte comporte pour chaque lieu non seulement un flux total mais aussi sa direction moyenne.

A partir de cette première proposition, si le phénomène représenté peut être considéré comme spatialement continu, et si, à partir des valeurs connues en certains points, des valeurs de points non connus dans le même espace peuvent être déterminés, alors une interpolation est possible. Cette transformation assure le passage d'une carte avec vecteurs isolés à un champ vectoriel régulier dont les points origines sont répartis sur l'ensemble de la zone étudiée. L'interpolation conduit à un champ vectoriel indiquant l'orientation et la grandeur des mouvements en chaque noeud d'une grille régulière couvrant la surface (Figure 3.30b). A cette carte peut être associée une carte isoplèthe des attractivités représentant les potentiels scalaires induisant les mouvements.

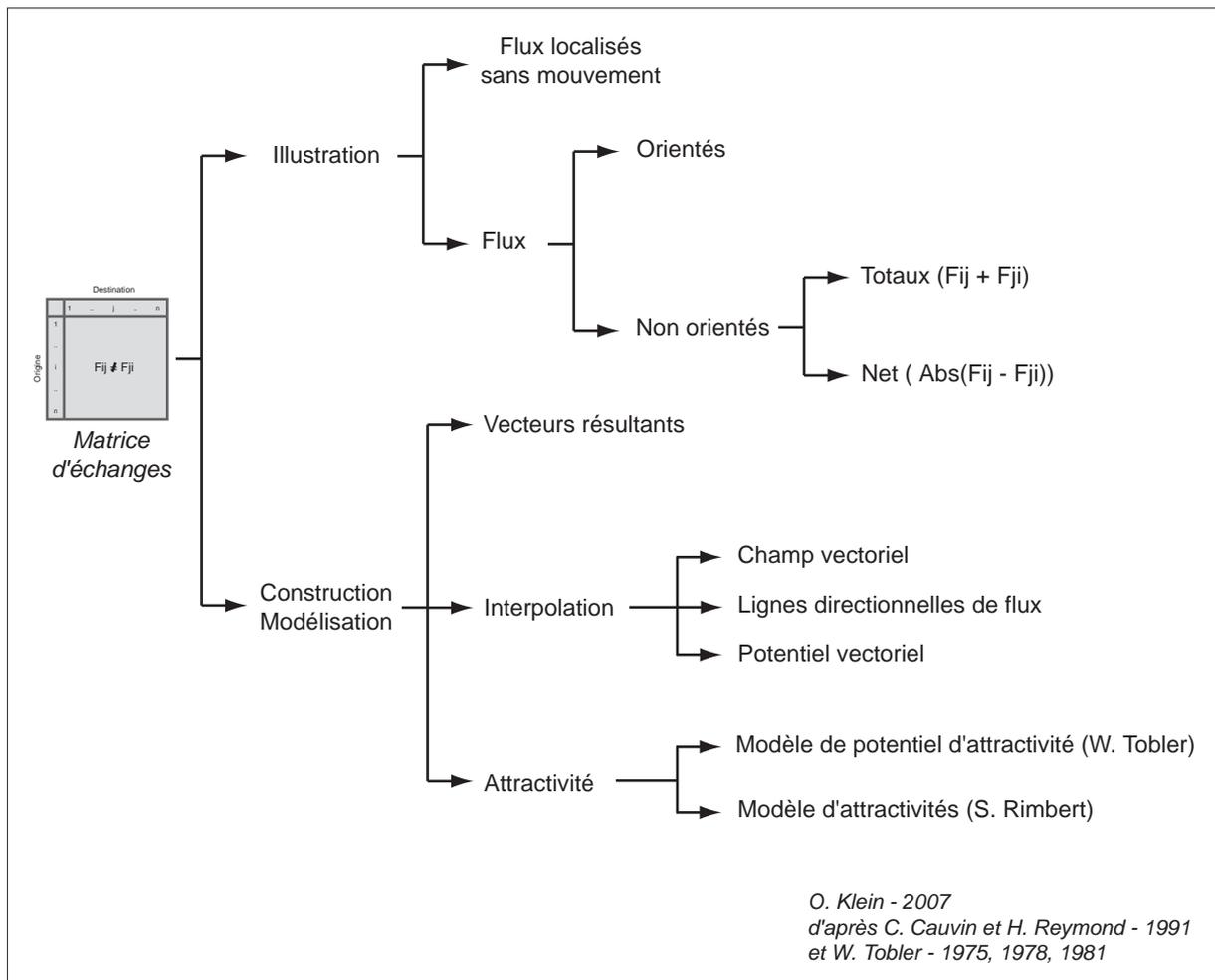
Dans cette représentation par isolignes, le modèle proposé par W. Tobler permet d'estimer les flux nets en fonction des attractivités – calculées à partir des différences entre les effectifs marginaux d'un tableau d'échanges. L'attractivité exprime ainsi le potentiel qui aurait engendré le mouvement. Elle est évaluée soit par calcul matriciel, soit au moyen de l'équation de Poisson selon que le modèle reçoive une formulation discrète ou continue.

Les données obtenues par l'interpolation en chaque noeud de la grille régulière peuvent être également représentées par des lignes continues orientées (Figure 30c).

Figure 3.30 – Exemples de cartographies des mouvements selon W. Tobler

1.4.3. Synthèse des propositions

L'approche globale proposée par W. Tobler est riche d'un point de vues de propositions et des solutions cartographiques (Figure 3.31). Celles-ci sont de nature et de complexité variées et s'adressent à des publics d'horizons divers distinguant notamment des illustrations de modélisations.

Figure 3.31 – Synthèse des solutions proposées par W. Tobler

Malgré la pertinence des résultats proposés par W. Tobler, leur apport dans la cartographie des mouvements quotidiens reste limitée car elle n'apporte pas de solutions convenables pour étudier les trajectoires individuelles quotidiennes.

2. Une cartographie en mutation

Comme nous l'avons écrit dans la section précédente, les possibilités de représentation des dynamiques spatiales sont très limitées, réduites à des cartes statiques, ce qui induit donc des problèmes importants, en particulier pour la représentation des mouvements quotidiens. Pour améliorer la compréhension de la dynamique d'un territoire, il est indispensable de le voir bouger, évoluer dans le temps, soit de manière continue (ou continue par séquences), au moyen d'un enregistrement du réel restitué ultérieurement, soit de manière discontinue à intervalles réguliers ou non. Afin de répondre à ce besoin, la démarche proposée jusqu'à présent doit être enrichie par les techniques de représentations par animation, qui sont désormais rendues possibles par les progrès de l'informatique, et, ce, en tenant compte des répercussions qu'elles peuvent engendrer.

En effet, les progrès de l'informatique ont bouleversé, non seulement, la pratique de la cartographie, mais aussi la façon d'appréhender cette discipline. Ils lancent sans cesse de nouveaux défis, en offrant des possibilités inédites, apparemment sans limites, du moins sur le plan technologique, grâce à la facilité d'élaboration des cartes et à l'accélération du temps de réalisation. Simultanément, ces améliorations conduisent à une démocratisation de la cartographie. Mais si cette ouverture vers un large public est un point positif, en contrepartie elle est très souvent accompagnée d'une mauvaise utilisation des logiciels et du non-respect des règles de base de la cartographie (Muller, 1983). Les cartes risquent alors de perdre de leur pertinence car elles ne sont plus correctement réalisées. Les nouvelles capacités de productions d'images provoquent, malheureusement, un foisonnement, souvent peu structuré, de productions cartographiques transgressant les plus élémentaires règles de lisibilité (Cheylan et Ruas, 1992).

Or, si l'introduction de l'informatique dans la cartographie bouleverse progressivement la discipline, la démarche et les règles de base n'en sont que très peu affectées ; ainsi à la question de savoir si l'informatique a changé la cartographie, R. Brunet répond de manière affirmative « [...] surtout pas les règles de base » (Brunet, 1987). Les principes demeurent mais leur application est améliorée.

Ainsi, la cartographie assistée par ordinateur, c'est avant tout, savoir faire plus vite (automatisation des tâches laborieuses), *savoir faire mieux* (notamment, grâce à la sûreté et à la netteté du tracé). C'est surtout *savoir faire autrement*, avec l'introduction de formes de représentations irréalisables sans l'outil informatique, comme les cartes tridimensionnelles, les transformations cartographiques, ou les cartes sans classe (Tobler, 1973). On peut alors réellement parler de valeur ajoutée si, une fois dépassé le stade de l'automatisation des tâches manuelles, cet outil informatique ouvre sur le développement de méthodes et de techniques nouvelles (Tobler, 1978).

Selon M.J. Kraak (1989) l'arrivée de l'informatique en cartographie implique cinq axes de travail :

- une automatisation, partielle ou quasi totale, de la production de cartes ;
- un développement et une utilisation des logiciels de cartographie, notamment thématique ;
- une mise en relation de bases de données spatialisées et des cartes, par l'intermédiaire des SIG ;
- un développement et un intérêt croissant pour les systèmes experts, apportant des éléments pour l'aide à la décision ;
- un intérêt pour de nouveaux produits cartographiques.

Si l'ordinateur facilite la manipulation d'une grande quantité de données, il permet aussi, ce qui est fondamental pour cette recherche, la production simple de nombreuses versions d'une même carte, avec des formats, des échelles et des formes variés, sur des

supports permanents ou temporaires (Taylor, 1980). Ces représentations multiples d'un même jeu de données aident non seulement à mettre en évidence certains aspects des données, mais aussi à adapter la représentation au public visé. En outre, l'utilisation de l'ordinateur rapproche la carte des outils multimédia, en facilitant la représentation directe des mouvements, sa variation immédiate selon des vues diverses, en permettant l'interaction de l'utilisateur avec la carte ou la combinaison des cartes avec des graphiques, des textes et des sons (MacEachren et Monmonier, 1992).

Dans notre recherche de représentation du mouvement, l'animation, un des nouveaux moyens d'expression issus du développement de l'informatique, offre des alternatives intéressantes à la sémiologie graphique. En effet, elle s'oppose à l'image figée qui biaise la représentation que l'on se fait du monde, de ce monde en perpétuelle évolution dans lequel nous vivons ; elle enrichit l'image fixe qui n'apporte qu'une photographie à un temps t , où n'apparaissent que des états, ou résultats de processus, mais où les processus eux-mêmes sont invisibles.

2.1. Une solution technique : l'animation

L'objectif poursuivi est de montrer, de visualiser les changements, les mouvements de manière continue, et non par images successives. L'animation, technique qui répond à ce but, est liée à l'utilisation d'un support dynamique de représentation (écran) qui donne l'illusion d'un mouvement continu, à l'aide de affichage rapide d'une suite d'images. Le public est aujourd'hui grandement familiarisé avec ce type de représentation, notamment via les cartes de prévisions météorologiques, intégrées dans tout bulletin d'information télévisuel ; ces formes de cartes sont certainement celles avec lesquelles le « grand » public est le plus familiarisé.

Dans notre approche, l'animation paraît adaptée, car elle est une des seules représentations – voire, la seule – qui permette la prise en considération simultanée de l'espace (x,y,z) , de la thématique $(z_1, z_2\dots)$ et du temps (t) .

2.1.1. Animer pour recréer du mouvement

Au sens premier du terme, *l'animation* correspond à « l'action d'animer, de donner la vie, le mouvement » (*Petit Robert*, 2001). Mais, c'est le quatrième sens, lié au cinéma d'animation, qui se rapproche le plus de ce que nous souhaitons réaliser : « la mise en mouvement de dessins ou figurines donnant l'illusion de la vie », même si pour certains spécialistes en infographie, les deux sens semblent fortement liés, puisque « Animer, c'est littéralement apporter la vie » (Foley et *al.*, 1995). Appliquée à la cartographie, l'animation constitue une représentation caractérisée par un changement continu pendant qu'elle est vue (Slocum et *al.*, 1999), et en

prenant une approche plus orientée vers la technique (Caquard, 2001), on peut caractériser l'animation comme une « [...] représentation de changements par la présentation rapide d'une série de cartes successives » (Peterson, 1994). C'est fondamentalement ce changement, ou le mouvement induit par ce changement, qui définit l'animation (Kraak et Ormeling, 1996).

Par conséquent, utiliser l'animation c'est, aujourd'hui, faire appel aux avancées technologiques les plus récentes, notamment en informatique. Pourtant, son origine est bien antérieure au développement de l'informatique, et témoigne d'une inventivité de ses utilisateurs, liée aux connaissances de l'époque.

2.1.1.1. Une origine pré-cinématographique

Représenter et restituer les mouvements du monde, élément central de notre recherche, est, en quelque sorte, également le défi relevé par le cinéma. Mais historiquement, l'animation est bien antérieure aux frères Lumière. En effet, c'est dès le début du XIX^{ème} siècle, que les premières formes d'animation apparaissent avec des « jouets optiques » variés - comme le *Thaumatrope* de J. A. Paris (1820), le *Zootrope* de W. G. Horner (1834) ou le *praxinoscope* de E. Reynaud (1877). L'une de ces inventions mérite particulièrement notre attention pour son lien entre visualisation du mouvement et persistance rétinienne : le *phénakistiscope* de J. Plateau (1831).

L'étymologie grecque de ce nom renvoie aux verbes *phenakizein* (« tromper ») et de *skopein* (« examiner », « observer »). Inventé par le physicien et mathématicien belge, J. Plateau, cet appareil, constitué de deux disques tournant simultanément, permet de restituer, par illusion, une impression de mouvement en répétition. Son fonctionnement repose sur le principe de la théorie de la persistance rétinienne énoncée par le même J. Plateau en 1829. C'est cette théorie qui reste à la base de l'animation, encore aujourd'hui.

La persistance rétinienne est cette particularité biologique du corps humain sur laquelle repose toute technique d'animation, qu'elle soit cinématographique ou cartographique ; elle correspond à la capacité de l'oeil à conserver une image vue, superposée aux images que l'on est en train de voir. Les images que nous percevons de l'extérieur se créent au fond de l'oeil sur la rétine. Lorsqu'une image s'y forme, elle ne disparaît pas immédiatement, mais elle est imprimée environ un dixième de seconde avant que les cellules ne redeviennent à nouveau sensibles à la lumière. Cette image renvoyée ensuite au cerveau par le nerf optique, est gardée quelques instants en mémoire, environ un douzième de seconde, même après sa disparition. Cette particularité de l'oeil est lié au temps de traitement biochimique du signal optique. Tout principe d'animation repose sur cette particularité de la vision.

En cinéma, l'animation traditionnelle (sans utilisation des moyens informatiques) s'est rapidement développée, passant d'une forme très artisanale à une exploitation industrielle, comme en témoignent, dès la fin des années vingt, les studios Disney. Quel que soit son mode de production, les spécialistes du Septième Art considèrent comme animation, tout film donnant, par suite d'images, l'illusion du mouvement (dessins, photographies prises images

par images). La réalisation s'effectue alors avec des techniques de prises de vue, image par image. L'affichage des images obtenues est perçu comme une séquence animée par la persistance rétinienne décrite précédemment. En cinéma la fréquence minimale est établie à 12 images/seconde, mais pour éviter des effets visuels désagréables la fréquence de 16 images/seconde s'impose comme un minimum. Aussi, par sa technique de création image par image, ce procédé s'avère-t-il très lourd à mettre en place puisqu'il est un très grand consommateur de temps.

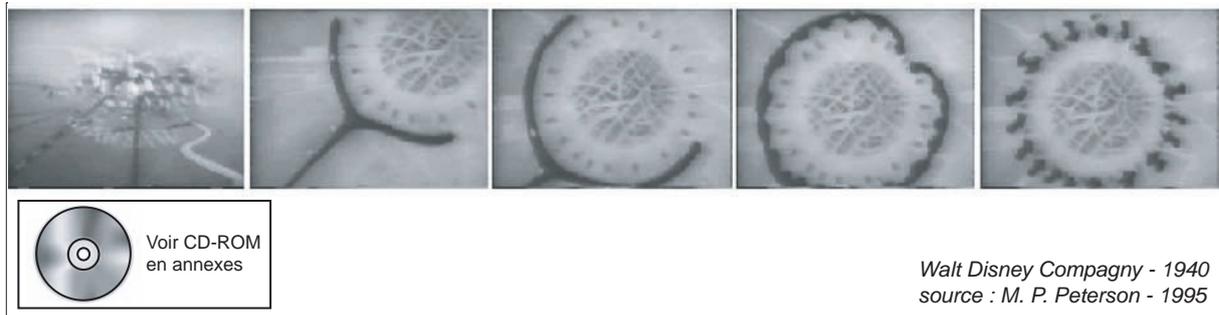
2.1.1.2. Une transposition précoce en cartographie

L'animation est souvent perçue à tort comme un développement récent en cartographie. Pourtant, elle a été initiée dès les années trente et les cartographes l'intègrent pleinement à leur réflexion, dans les années 50-60.

L'idée de transposer à la cartographie les techniques d'animation issues de la cinématographie est donc relativement ancienne, mais les cartes animées ont toujours été difficiles à produire, surtout comparées aux cartes statiques. L'historique de leur production peut être décomposé en trois périodes se chevauchant (Harrower, 2004) : les productions manuelles, celles assistées par ordinateur et celles entièrement réalisées par ordinateur. Pour les productions manuelles, chaque image – chaque carte – intermédiaire de l'animation, est dessinée à la main. Dans la production assistée par ordinateur, l'outil informatique est utilisé pour créer chaque image de l'animation, mais l'assemblage et l'enregistrement de l'animation sont effectués de manière traditionnelle, avec les techniques du cinéma. Enfin, dans les productions entièrement réalisées par ordinateur, toute la chaîne de production, de la création à la distribution, se déroule à l'aide des outils informatiques. Cette dernière catégorie apparaît dès le milieu des années quatre-vingts, soit dès que les logiciels et les matériels informatiques le permettent, mais ne prend son véritable essor qu'après l'an 2000 grâce à des ordinateurs personnels plus adaptés (plus performants) et à la démocratisation de l'accès à internet. Quelles que soient les techniques utilisées, le principe est toujours le même : le mouvement est décomposé en une succession d'images fixes dont la vision, à une fréquence donnée, donne l'illusion du mouvement continu.

Les premières cartes élaborées entièrement à la main ont été dessinées en utilisant des techniques développées par le dessin animé : un des premiers exemples connu est la carte animée, produite par les studios Disney en 1940, représentant l'invasion de Varsovie par l'armée allemande en 1939.

Les cartographes s'approprient, plus systématiquement, cette technique de représentation dans les années cinquante, malgré l'ampleur du travail qu'implique ce type de réalisations. N. Thrower (1959) encourage même les cartographes à utiliser ces techniques d'animation pour diffuser leurs travaux. Il en relève les principaux enjeux, dès 1961, en affirmant que les cartes animées ne doivent pas remplacer les cartes statiques, mais, que pour certains objectifs, elles ont des possibilités qui n'ont pas encore, à ce moment-là, été correctement explorées. Il suggère, en particulier, la communication des séries temporelles par animation,

Figure 3.32 – Cinq images extraites de l'animation montrant l'invasion de Varsovie en 1939

enjeu qui nous intéresse particulièrement. Un autre aspect, développé par N. Thrower, est le rôle de l'animation comme interface éducationnelle en s'appuyant notamment sur son succès pour conquérir une plus grande audience chez les géographes. Alors que les techniques de réalisation d'animations cartographiques n'en étaient encore qu'à leur début, N. Thrower a déjà cerné les principaux enjeux de cette forme de cartographie contemporaine : restituer la dynamique du monde qui nous entoure, et chercher à diffuser au-delà des canaux traditionnels de communication. D'autres travaux vont suivre, avec des chercheurs comme B. Cornwell et A. Robinson (1966) ou W. Tobler, qui proposera, en 1970, la première carte animée produite par ordinateur, présentant la croissance en trois dimensions de la ville de Détroit.

Du fait de la longueur de son temps de construction et de la complexité technique de sa réalisation, même assistée par ordinateur, l'animation a des difficultés pour concurrencer la cartographie classique, des années soixante-dix aux débuts des années quatre-vingt-dix. Mais depuis une quinzaine d'années, une recrudescence dans l'utilisation de l'animation est constatée du fait d'avancées technologiques et de la démocratisation de l'ordinateur individuel. S'ajoute à cela une large offre de logiciels adaptés à la création d'animation (comme *Macromedia Director* ou *Flash* par exemple).

Comme l'a déjà souligné N. Thrower au début des années 60, l'introduction de l'animation en cartographie doit permettre de toucher un public plus vaste et faciliter l'accès aux documents cartographiques ; en effet les cartes demeurent, trop souvent, pour le grand public, un document complexe que l'on appréhende négativement (Brunet, 1987). L'animation par sa forme en mouvement, souvent ludique, fascine et attire l'attention et l'oeil de nouveaux lecteurs. A l'opposé, la carte « classique » s'inscrit dans un budget-temps d'attention limité qui jongle entre intérêt et lassitude. Toutefois, ce budget-temps semble s'allonger avec la forme animée de la carte, accompagnée d'une tendance montrant un intérêt du lecteur croissant et une lassitude réduite ; on passe même d'un effort d'attention à une réelle distraction selon la forme d'animation utilisée.

2.1.2. Différentes formes d'animation

Les formes d'animation sont très nombreuses et se multiplient actuellement ; toutes expriment un changement d'une nature ou d'une autre. En s'interrogeant sur la nature de ce changement, des classifications et des catégories d'animation peuvent être identifiées s'appuyant sur leur caractère temporel ou non, sur la façon d'appréhender les composantes spatiales et sur les techniques de réalisation.

2.1.2.1. Une classification selon une entrée temporelle

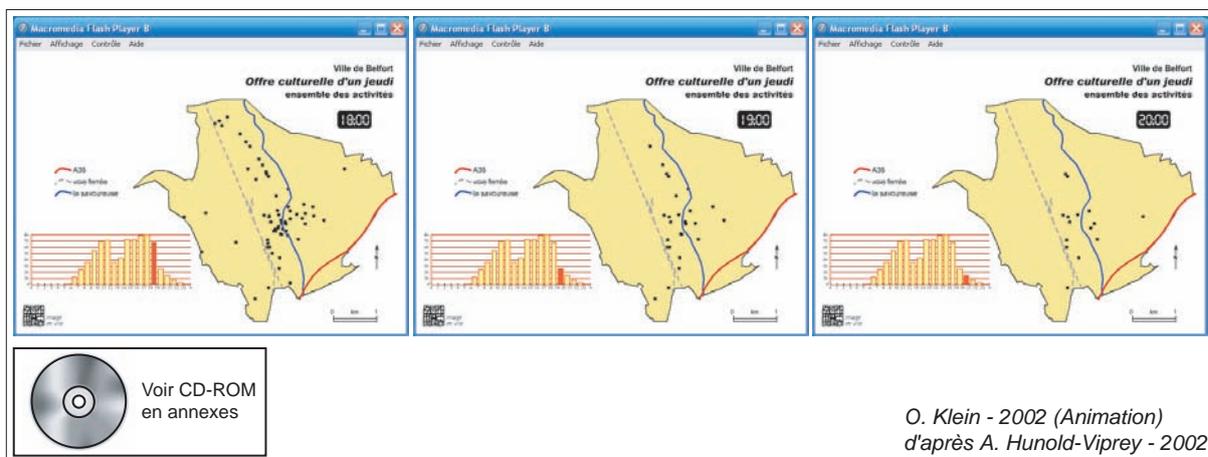
Confronté à l'image statique, l'originalité et l'apport principal de l'animation résident dans l'intégration explicite du temps dans la représentation, un temps interne à l'animation, qui se restreint à son déroulement délimité par un commencement t_0 et une fin t_1 . Cette propriété particulière permet de montrer des objets, successivement, et non immédiatement tel que le ferait une image statique.

Une classification des animations peut, dès lors, être effectuée en fonction du rapport entre le temps interne de l'animation permettant son déroulement et son utilisation pour représenter du temps ou une variable thématique non temporelle.

Animation temporelle

L'animation explicitement temporelle (Figure 3.33) est considérée comme une représentation dynamique, où le temps d'affichage sur l'écran est en relation directe avec le temps réel du monde, dans un rapport d'échelle à déterminer (par exemple, une minute de l'animation correspond à une journée observée). Selon la fonction qui permet de passer du temps du réel au temps d'affichage, l'animation peut porter sur une accélération du temps, une équivalence ou un ralentissement.

Figure 3.33 – Un exemple d'animation temporelle : une série de cartes d'offre urbaine



Un aspect important dans cette forme de représentation est la manière de restituer la continuité du temps par une série d'image discrètes, affichées successivement et très rapidement pour donner l'illusion du mouvement. Il est nécessaire de faire appel à des

techniques de rendu temporel, adaptées image par image ou par interpolation temporelle comme nous l'exposerons ultérieurement. Pour ce dernier cas, ceci revient, par exemple, à partir du suivi d'un mobile par GPS, dont des positions X_p, Y_j sont connues à des pas de temps t_i réguliers, à recalculer des X_p, Y_j intermédiaires entre t_i et t_{i+1} . Cette interpolation temporelle repose sur une hypothèse selon laquelle le passage de t_i à t_{i+1} passe par toutes les étapes intermédiaires de transformation.

Animation atemporelle

Le temps d'affichage de l'animation ne représente pas forcément du temps (Peterson, nc). Si l'on en croit M.J. Kraak (1999), l'animation atemporelle peut être considérée sous deux angles, soit par constructions successives, soit par changements de représentation.

La première sous-catégorie a essentiellement un but explicatif et pédagogique. Lors du déroulement de l'animation, des couches successives sont ajoutées au fur et à mesure, sur un même plan cartographique.

La seconde sous-catégorie a pour objet de changer de représentation. Ainsi sur une scène, à partir d'un territoire et d'un temps donné, les options de visualisation sont modifiées par un changement de point de vue, un changement de niveau de zoom, ou un déplacement. Ce changement non temporel peut également être opéré sur les données, en modifiant, par exemple, l'implantation ou la méthode de discrétisation.

Par ces modifications atemporelles, des représentations multiples d'un même territoire sont introduites – multi-échelles et multi-représentations – afin de mieux communiquer les informations contenues sur la carte, et de s'adapter plus aisément à différents publics

Figure 3.34 – Un exemple d'animation atemporelle : passage d'un espace de référence à un espace fonctionnel

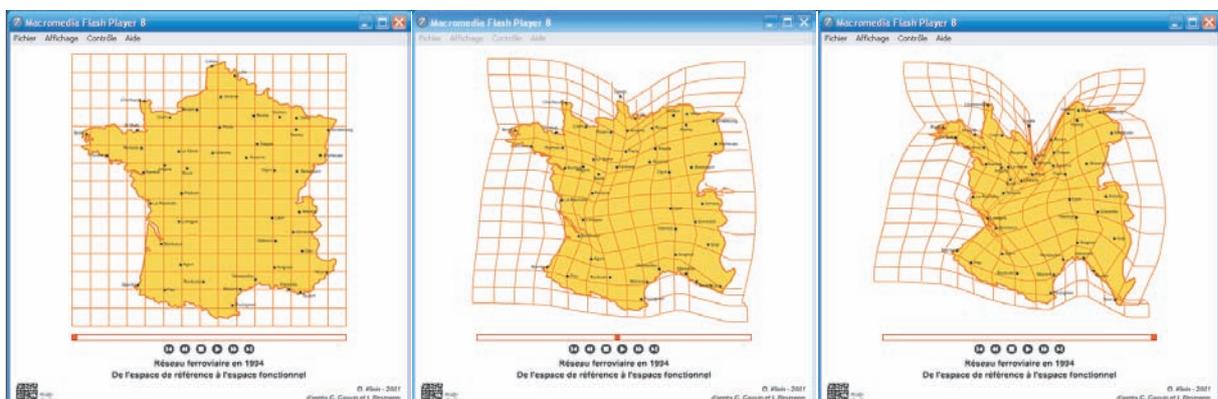


Image 1 - Espace de référence

Image 2 - Image intermédiaire

Image 3 - Espace fonctionnel



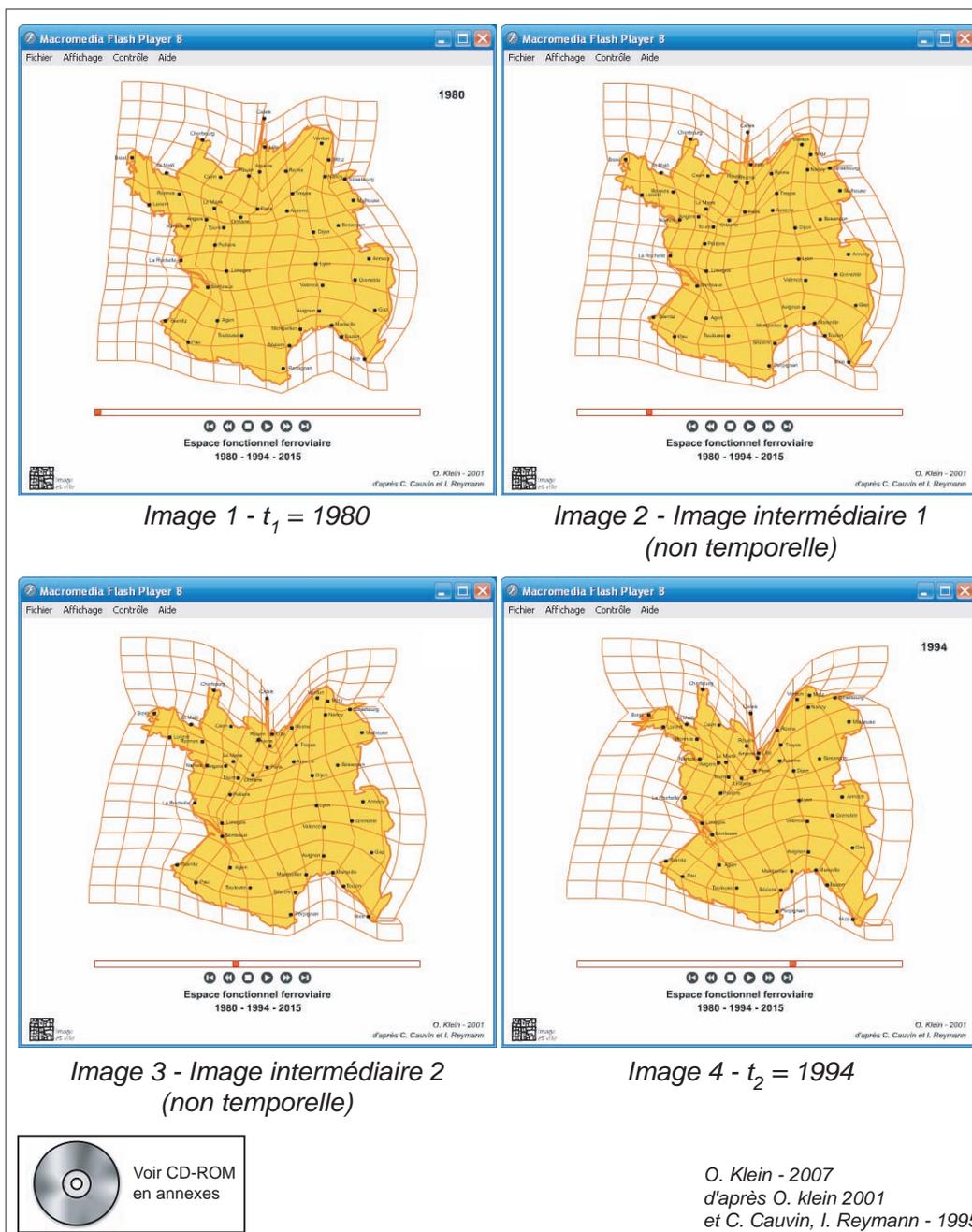
Voir CD-ROM
en annexes

O. Klein - 2007
d'après O. Klein 2001
et C. Cauvin, I. Reymann - 1995

Animation hybride

A ces deux premières catégories peut être ajoutée une catégorie hybride, *temporellement atemporelle* (ou inversement), qui regroupe des animations présentant des états dans le temps, mais dont l'animation n'exprime pas un passage, temporellement continu, d'un état initial à un état final. Ces cas particuliers, montrant de manière continue un lien entre des éléments temporels discrets, sont avant tout utilisés pour comparer deux états, et identifier les changements qui ont pu s'y opérer. Ainsi, à partir d'une série d'états relevés dans le temps (t_1, t_2, \dots, t_n), on peut vouloir montrer de manière continue les modifications opérées entre les états t_i et t_{i+1} (figure 3.35).

Figure 3.35 - Un exemple d'animation hybride : comparaison visuelle des espaces fonctionnels ferroviaires 1980, 1994, 2015.



En prenant l'exemple des anamorphoses ferroviaires construites pour 1980, 1994 et 2015, on représente un temps discret, trois états dans le temps, pour montrer des changements qui ne sont pas temporellement continus. L'animation montre les changements opérés entre 1980 à 1994, et, notamment, l'impact de nouvelles lignes à grande vitesse, mais ne l'exprime pas comme une transformation lente et continu. En effet, la ligne à grande vitesse inaugurée en 1993 rend ce changement immédiat à partir de cette date. Cette forme d'animation peut provoquer une confusion auprès du public qui risque d'en faire une mauvaise interprétation s'il n'est pas mis en garde au préalable.

2.1.2.2. Une classification selon le lien entre contenu de l'image et position de l'observateur

Le temps interne à l'animation influe sur les possibilités de représentation avec un effet, d'une part, sur les composantes spatiales où le fond de carte peut être fixe ou mobile et, d'autre part, sur les composantes thématiques dont les valeurs peuvent fluctuer ou non dans le temps.

La combinaison espace et temps (Figure 3.36) renvoie à différentes formes d'image ou d'animation. Lorsque le contenu de l'image est constant, une image fixe sans changement d'option de visualisation fait référence à la cartographie classique, tandis qu'un point de vue mobile fait appel à des changements d'échelles ou de points de vue tels qu'ils sont proposés dans les SIG ou les logiciels de cartographie du marché.

Figure 3.36 - Rapport entre position de l'observateur et contenu de l'image

		Position de l'observateur	
		Fixe	Mobile
Contenu de l'image	Constant	<i>Image (unique)</i>	<i>Point de vue mobile</i>
	Variable	<i>Représentation thématiquement dynamique</i>	<i>Succession d'images</i>

O. Klein - 2007

Les changements de contenu de l'image sont plus délicats à concevoir, et font appel à des logiciels d'animation spécifiques pour construire la succession d'images nécessaires pour créer une représentation thématiquement dynamique. Dans ce cas de figure, le contenu de l'espace géographique est modifié sans que l'échelle et le point de vue de l'observateur ne subissent un changement, qu'il s'agisse de couches d'informations d'un SIG présentant successivement le modèle numérique de terrain, les réseaux de transports, les densités de population, la localisation de services à la population, etc. Le cas le plus complexe correspond

à la représentation spatio-temporellement dynamique où le contenu de l'image et la position de l'observateur peuvent changer simultanément. Par conséquent, tout peut changer d'une image à l'autre, sans qu'il y ait une obligation de cohérence, spatiale ou thématique, entre les images.

Ce sont particulièrement les deux dernières formes d'animation au contenu variable qui retiennent notre attention pour le développement d'un prototype dont l'objectif est d'appréhender les mobilités quotidiennes, selon différentes échelles spatiales, tout en montrant l'évolution des phénomènes représentés dans le temps.

2.1.2.3. Une classification selon les techniques de réalisation

Les possibilités de formes d'animation, spatiales, temporelles et spatio-temporelles, sont très variées. Toutefois, produire une animation reste une activité fortement consommatrice de temps. En effet, si aucune technique spécifique n'est nécessaire pour la construction des séquences, pour recréer la dynamique de l'animation, il est indispensable de concevoir toutes les images intermédiaires. Ainsi, une carte animée d'une durée de deux minutes nécessiterait la production d'au minimum 16x3 cartes (pour un rendu à 16 images/seconde). Cette technique de construction image par image (*frame by frame*), relativement élémentaire et ancienne, est aujourd'hui délaissée, sauf cas particulier, aux profits d'animation par objets (*cast-based animation*) moins gourmandes en temps.

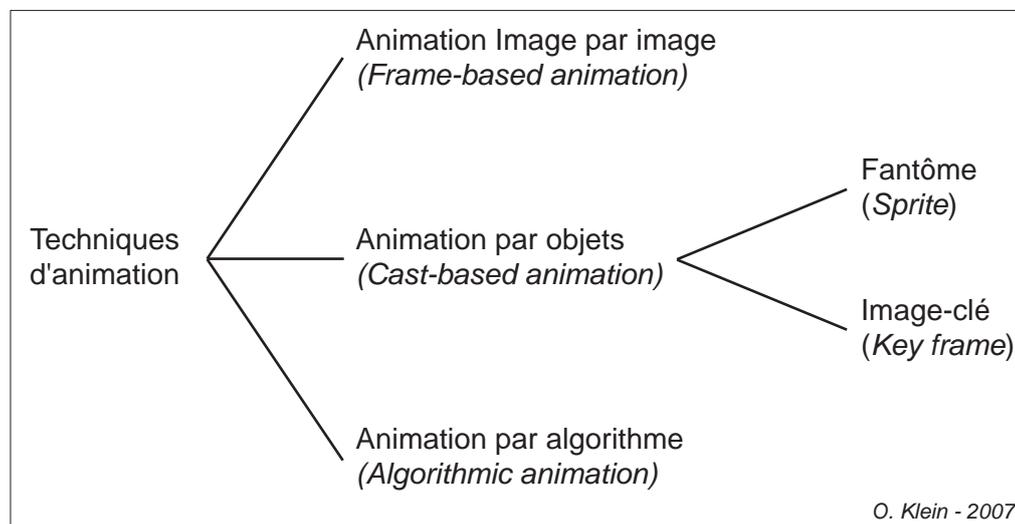
Cette technique peut être appliquée avec des fantômes (*sprite*), où seul l'élément graphique se déplaçant à l'écran est animé, le reste de l'image, notamment le fond de carte, étant figé et assimilé à un décor. L'élément graphique mobile est positionné avec précision à certaines positions connues, les positions intermédiaires étant recalculées par une interpolation de mouvement. Ce principe est hérité de l'industrie du jeu vidéo d'ancienne génération en deux dimensions. Un exemple de *sprite*, d'usage courant, se trouve sur tout ordinateur actuel matérialisé par le curseur de souris.

L'animation par images clés (*key-frame*) est construite à partir d'un nombre restreint d'images de référence, définies et construites par l'auteur de l'animation. L'enchaînement continu entre les images-clés est déterminé par calcul avec des techniques de rendu, comme le *morphing* (contraction de *metamorphosing*). Cette technique, applicable aussi bien à un dessin vectoriel qu'à une image en mode matriciel, transforme de manière continue un dessin initial en un dessin final. Le *tweening* (interpolation graphique) est un procédé du *morphing* qui permet de générer les étapes intermédiaires successives, de telle sorte que les images s'enchaînent de manière fluide. Différents algorithmes de traitements graphiques par *morphing* ont été développés pour réaliser ces transformations comme ceux de M. Rosenfeld (1987) et T. Beiber et al. (1992). Ces algorithmes, aujourd'hui implémentés dans les logiciels d'animation, sont relativement faciles d'accès. Mais, ces interpolations sont uniquement graphiques et ne s'appuient que sur les formes et les positions successives des objets ; ce qui se passe entre les images est, donc, seulement une approximation construite graphiquement.

Pour atteindre un meilleur degré de réalisme et des conditions plus proches de la réalité, il est nécessaire d'avoir recours à la programmation d'animations par algorithmes (*algorithmic animation*). En développant soi-même l'algorithme, les caractéristiques des objets à modéliser prennent en compte des attributs thématiques décrivant les objets ou l'espace sur lequel les objets se déplacent. Ainsi, lorsqu'on cherche à modéliser les déplacements d'individus, la vitesse de déplacement, variable selon le type de tronçon, peut être prise en compte et modélisée dans l'animation.

C'est cette dernière forme d'animation qui, à partir des spécificités du réseau et des individus représentés, nous permet de reconstruire les positions successives entre une origine et une destination, en appliquant un algorithme du plus court chemin sur un graphe valué, comme nous l'avons explicité dans la seconde partie.

Figure 3.37 - Classification des techniques de construction d'animations



2.2. Quelles conséquences en cartographie ?

En introduisant l'animation, les conséquences sur la cartographie sont multiples. Tout d'abord, le rapport de l'utilisateur à la carte se trouve modifié par le changement de support de représentation, passant de la classique feuille de papier à l'écran d'ordinateur (figure 3.38). Par conséquent, la carte devient virtuelle (Moellering, 1980 et Muller 2002) : visible sur écran (visible et non tangible), stockée sur supports numériques (tangibles et non visibles) et diffusée sur Internet (non visible et non tangible).

Figure 3.38 - De la carte réelle aux cartes virtuelles

		Image cartographique directement regardable	
		Oui	Non
Réalité tangible permanente	Oui	<p>Carte réelle</p> <p>Carte "traditionnelle" sur papier</p>	<p>Carte virtuelle de type II</p> <p>Cartes sur supports numériques (CD-ROM, DVD...)</p>
	Non	<p>Carte virtuelle de type I</p> <p>Cartes sur écran</p>	<p>Carte virtuelle de type III</p> <p>Cartes sur Internet</p>

O. Klein - 2007
d'après J.C. Muller - 2002 et H. Moellering - 1980

L'usage de l'animation implique l'ajout de nouvelles variables visuelles, l'intégration de nouvelles fonctionnalités interactives, une mutation vers une cartographie multimédia et une communication modifiée.

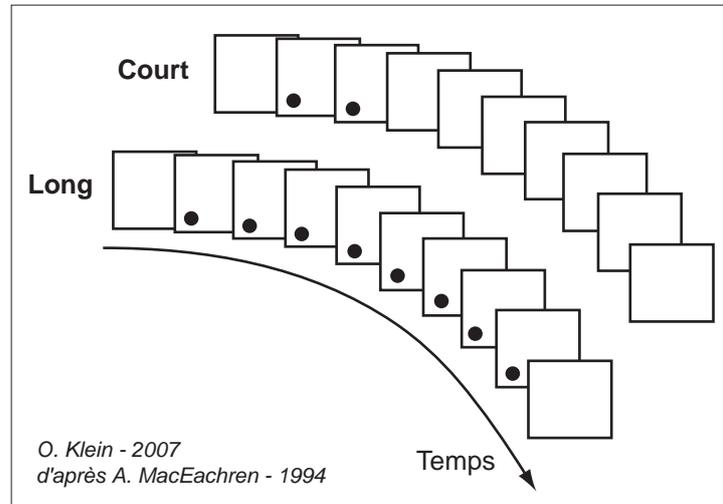
2.2.1. L'ajout de nouvelles variables dynamiques

L'utilisation d'un nouveau type de support (écran) et d'une nouvelle forme de communication de l'information (animation) introduisent une évolution et une modification des règles de sémiologie. Les variables visuelles devenant véritablement multimédia se retrouvent enrichies. En l'occurrence, en passant d'une cartographie statique à une cartographie animée, des variables visuelles supplémentaires s'ajoutent aux variables « statiques » de J. Bertin. Les recherches successives de D. Dibiase (1992), M.P. Peterson (1994) et A. MacEachren (1994) s'accordent à identifier trois variables dynamiques principales : la durée (« *duration* »), le taux de changement (« *rate of change* ») et l'ordre (« *order* »).

La **durée**, espace de temps qui s'écoule par rapport à un phénomène entre deux limites observées, correspond au nombre d'unités de temps de référence pendant lequel une image intermédiaire est présentée. Comme cette durée est mesurée dans des unités

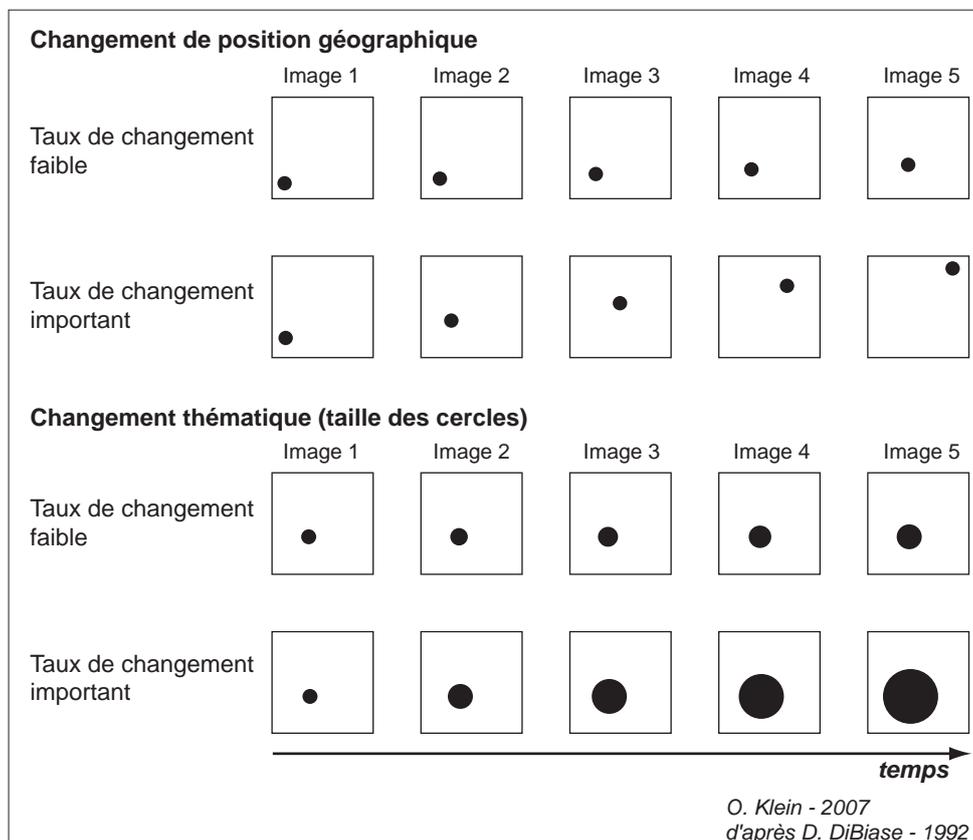
quantitatives, elle peut être logiquement utilisée pour exprimer des données quantitatives, au même titre que la variable visuelle taille sur les cartes classiques.

Figure 3.39 - Variable dynamique durée



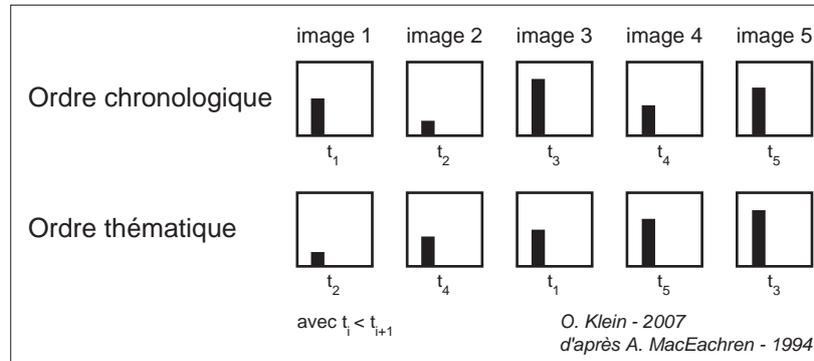
Le **taux de changement** se caractérise par le rapport entre la magnitude du changement, m – en position géographique et/ou en attributs associés aux entités des objets représentés – et la durée d de chaque scène. Il est à noter que la variabilité de m du phénomène étudié est fonction de la discrétisation temporelle retenue pour générer les images intermédiaires constituant l'animation.

Figure 3.40 - Variable dynamique taux de changement



L'**ordre** désigne la séquence dans laquelle les images élémentaires sont présentées. Le temps, étant ordonné en soi, dans une animation, les scènes sont généralement placées dans un ordre chronologique, permettant, ainsi, de caractériser les phénomènes et événements synchrones ou successifs. Toutefois, dans des cas particuliers, après un réordonnement, l'ordre peut être construit à partir d'une variable thématique, non chronologique.

Figure 3.41 - Variable dynamique ordre



Certains auteurs ajoutent d'autres variables, secondaires, dérivant de ces trois variables principales. Le **moment de la représentation** (« *display date* ») définissant le moment à partir duquel des changements apparaissent dans l'animation. La **phase**, considérée comme une sous-variable du taux de changement qui exprime la répétition régulière et la rythmicité de certains événements, est utilisée pour chercher la correspondance temporelle entre plusieurs séries temporelles. La **fréquence** (« *frequency* ») exprime le nombre d'états par unité de temps.

2.2.2. Une contrainte indispensable : l'interactivité

Alors qu'un changement dans les données affichées, sans intervention extérieure, reste une animation, l'ajout pour l'utilisateur de possibilités d'actions transforme cette animation en un outil d'exploration (Slocum et al., 1999) ; c'est là l'intérêt principal de ce type de représentation.

L'interactivité est une valeur ajoutée, incontournable, pour la cartographie animée sans laquelle les potentialités d'utilisation resteraient trop limitées. Cette possibilité d'interaction avec une carte, progrès majeur de la cartographie par ordinateur, a des répercussions fortes, aussi bien dans les liens entre bases de données géographiques et SIG, que dans les formes les plus récentes de cartographie, quelles soient multimédia ou *pervasives* – omniprésentes – comme sur internet.

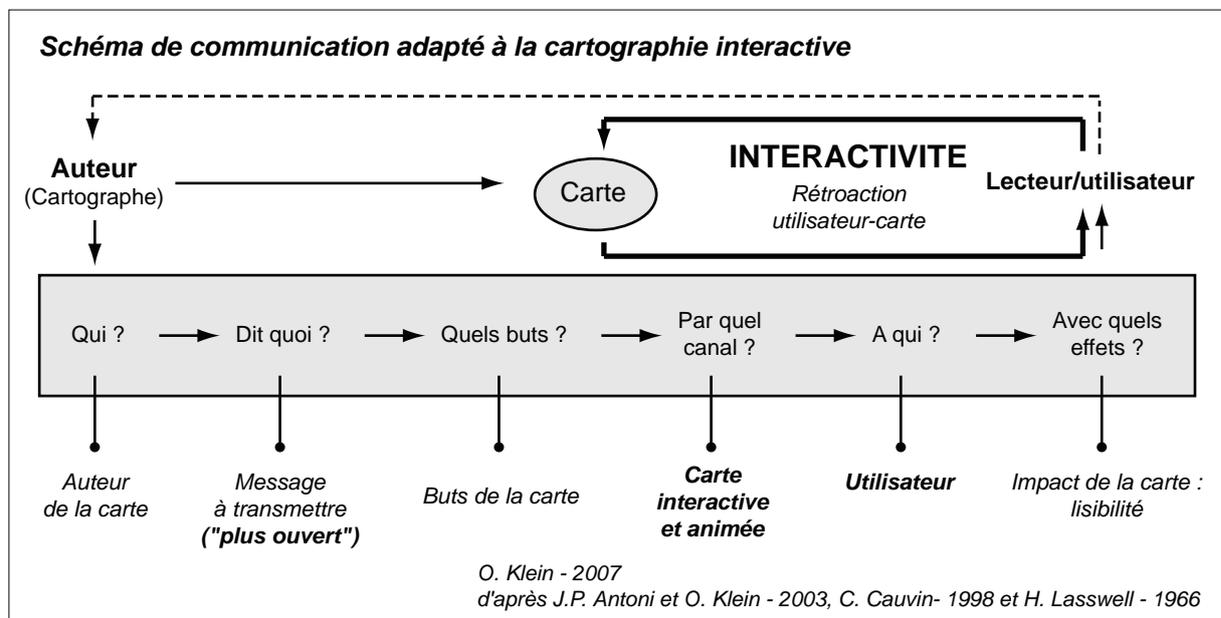
L'interactivité est souvent associée par erreur aux technologies récentes ; son existence est ancienne, antérieure à ces nouveautés informatiques. En fait, elle est présente dans toute forme de communication d'échanges, incluant des processus de rétroaction ou de collaboration, et s'oppose ainsi tout naturellement à une communication en sens unique. Par conséquent, elle peut être considérée comme inhérente à la base même du concept de

carte (Peterson, 1998) ; toute carte est conçue sur sa capacité de communication, et donc sur l'interactivité entre deux individus au minimum, l'auteur et le lecteur de la carte.

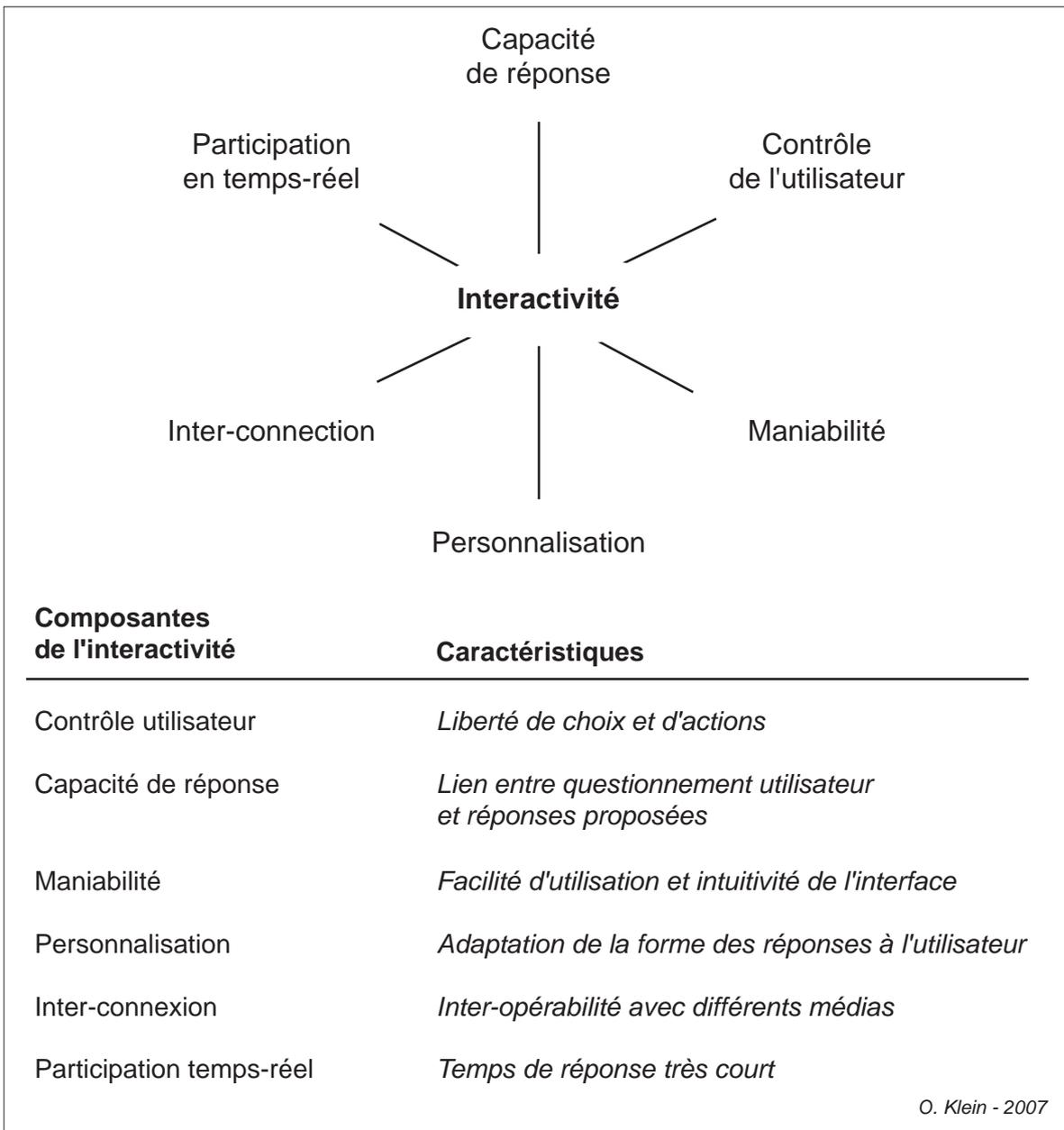
Aujourd'hui, l'interactivité a une forte connotation technologique, exprimant davantage un dialogue explicite entre un système informatisé et un utilisateur. Elle peut donc se définir comme une activité nécessitant la coopération de plusieurs êtres ou systèmes qui agissent ensemble, en ajustant leur comportement en fonction d'un but.

Dans un contexte de communication par carte informatisée, l'interactivité se réfère conjointement à une activité réciproque et une communication électronique bidirectionnelle. Par conséquent, le schéma de communication présentée précédemment nécessite des modifications, le lecteur accédant à un rôle plus actif, celui d'utilisateur pouvant manipuler la carte et les informations présentées (figure 3.42).

Figure 3.42 - Schéma de la communication intégrant l'interactivité



En prenant appui sur les travaux de S.J. McMillan et J. Hwang (2002), l'interactivité peut être conçue comme un processus focalisé sur les échanges et les capacités de réponses, au moyen d'un jeu de dispositifs, rendu possible par les caractéristiques du multimédia et par l'expérience acquise par l'utilisateur d'un tel dispositif. Dans ce contexte, les possibilités d'interactivité sont ramenées à un dispositif où un communicant et une audience peuvent inter-agir pour faciliter les besoins de communication. Pour une bonne interaction homme-carte, des dispositifs spécifiques (logiciels et matériels) doivent être utilisés et la qualité du résultat dépend de six composantes majeures (figure 3.43) : le contrôle de l'utilisateur, la capacité de réponse du dispositif, sa maniabilité, sa personnalisation, ses possibilités d'interconnexion et sa réactivité.

Figure 3.43 - Les composantes de l'interactivité

A partir de ces composantes qui caractérisent l'interactivité, des niveaux d'interactivité peuvent être définis en cartographie (figure 3.44), en partant de la carte classique statique avec un niveau d'interactivité proche de zéro, et allant, à l'extrême et dans l'idéal, jusqu'à une carte universelle unique et totalement interactive ; une telle carte pourrait répondre à toute demande, de manière personnalisée et en temps réel, une sorte d'explorateur de globe virtuel, combiné à un moteur de recherche spatialisé ; c'est ce que la société *Google* recherche avec son produit *GoogleEarth* sur lequel nous reviendrons ultérieurement. Entre ces deux extrêmes, on peut créer tous les stades d'animation possibles : des cartes animées simples avec des contrôles temporels sur la lecture des séquences, des cartes interactives à scénario préconstruits où les possibilités d'interaction avec la carte sont limitées et pré-définies par l'auteur, etc.

Figure 3.44 - Les composantes de l'interactivité

		Descriptif	Caractéristiques	
+	Interactivité	Cartographie interactive	Séquence construite en temps réel	<i>Possibilités infinies</i>
			Séquence à scénarii pré-construits	<i>Possibilités limitées déterminées a priori par le concepteur de la carte</i>
	Interactivité	Cartographie animée	Séquence animée interactive simple	<i>Contrôles de lecture (lecture, arrêt, aller au début, aller à la fin, etc.)</i>
			Séquence animée	<i>Aucun contrôle de l'animation (lancement et arrêt de l'application)</i>
0		Cartographie statique	Image figée	

O. Klein - 2007

Par conséquent, la carte animée interactive peut être implémentée de deux manières distinctes :

- *en premier*, par une simple accumulation de cartes préconstruites et stockées dans la mémoire de l'ordinateur, dont l'affichage séquentiel est fonction de la demande de l'utilisateur ;
- *en second* par un programme spécifiquement développé qui conçoit des cartes en temps réel, et les affiche de manière adaptée sous le contrôle de l'utilisateur.

Ainsi, l'animation prend forme sur les cartes par l'intermédiaire d'un certain nombre de manipulations, permises par des techniques qui peuvent être regroupées en trois catégories principales ; *navigation*, *interrogation* et *exploration*. La navigation regroupe des fonctions relativement basiques comme, d'une part, défiler (« pan »), zoomer ou faire une rotation dans les composantes spatiales de l'animation et, d'autre part, stopper, relancer, accélérer ou ralentir pour la composante temporelle. L'interrogation consiste à utiliser des outils de recherche d'information et des requêtes pour obtenir des résultats issus d'une base de données. L'exploration est la forme d'interaction la plus complexe dans laquelle coexistent sélections et combinaisons de données, en vue d'un affichage sous la forme de graphiques et/ou de cartes.

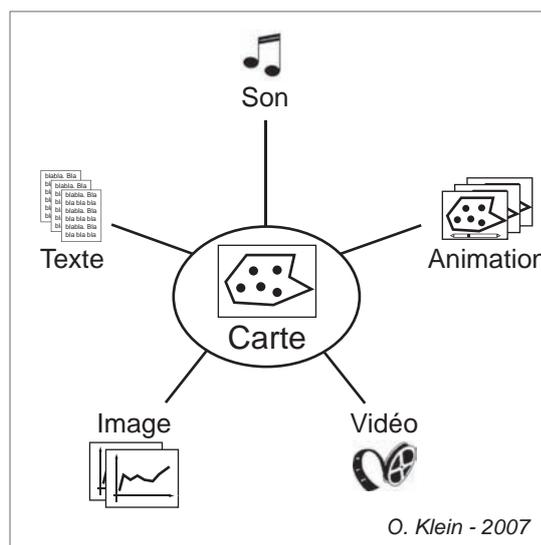
Avec l'ajout de l'interactivité, l'ordinateur rend possible ce que les autres technologies ne savaient pas faire : créer un dialogue entre la carte et l'utilisateur. Cette propriété numérique interactive bouleverse le rapport à la carte et transforme ce document en un produit conversationnel, collaboratif et participatif. Par sa navigation dans ce monde de cartes interreliées, le lecteur/utilisateur de la carte devient un véritable « *cartonaute* ».

Un dernier élément à décrire est la légende dont le rôle s'est accru grâce à de nouvelles fonctions permises par l'interactivité. Comme toute carte, une carte animée nécessite, en effet, une légende dont la fonctionnalité est l'identification interne de la carte. Mais lorsque la carte devient (inter-)active, la légende doit assurer un double rôle : celui de contrôle de l'affichage de la séquence et celui de mise à disposition d'informations sur le contenu des images (Peterson, 1999). Dans les animations temporelles, ce nouveau rôle porte sur le contrôle dynamique de l'animation, d'une part, en indiquant l'avancée du temps de l'animation, et, d'autre part, en permettant d'y naviguer (Kraak et *al.*, 1997).

2.2.3. Vers une cartographie multimédia

Le multimédia est une variété de formes analogiques et numériques de données qui sont rassemblées via des canaux communs de communication (Laurini et Thomson, 1992). La carte numérique, par sa forme et ses possibilités d'interactivité, peut constituer un tel canal (figure 3.45).

Figure 3.45 - Une carte multimédia



Jusqu'à présent la démarche proposée n'a intégrée explicitement qu'un de nos sens : la vue. L'ajout d'autres sens est très envisageable, développant ainsi une réelle cartographie multimédia et multisensorielle. Comme pour la vue, des variables sensorielles peuvent être établies comme le propose J. B. Krygier (1994) pour l'ouïe, et R. Vasconcellos (1996) pour le toucher. A l'extrême, on peut imaginer l'ajout des perceptions olfactive et gustative, avec des interfaces de restitution adaptées ; quelques premières propositions de variables sensorielles sont proposées sur la figure 3.46.

L'intérêt du multimédia réside dans les larges possibilités de combiner et d'interrelier différents modes de communication, différents médias. Dans une page internet, plusieurs média coexistent et sont accessibles via des liens hypertextes, ou plus généralement des hyperliens. Ces derniers sont des références marquées (*tags*) qui permettent de passer d'un document consulté à un document lié où d'autres informations et d'autres liens sont accessibles. Ce sont ces hyperliens qui permettent de naviguer de page en page.

Appliqués à la cartographie dynamique, ces hyperliens sont des hypercartes (Kraak et van Driel, 1996). Le document cartographique consulté (figure 3.47) sert alors d'interface d'accès à d'autres documents : cartes, images, graphiques, photographies, etc. L'accès aux documents liés se fait par des zones « cliquables » de la carte qui permettent ainsi d'accéder à des données en fonction d'un contexte géographique.

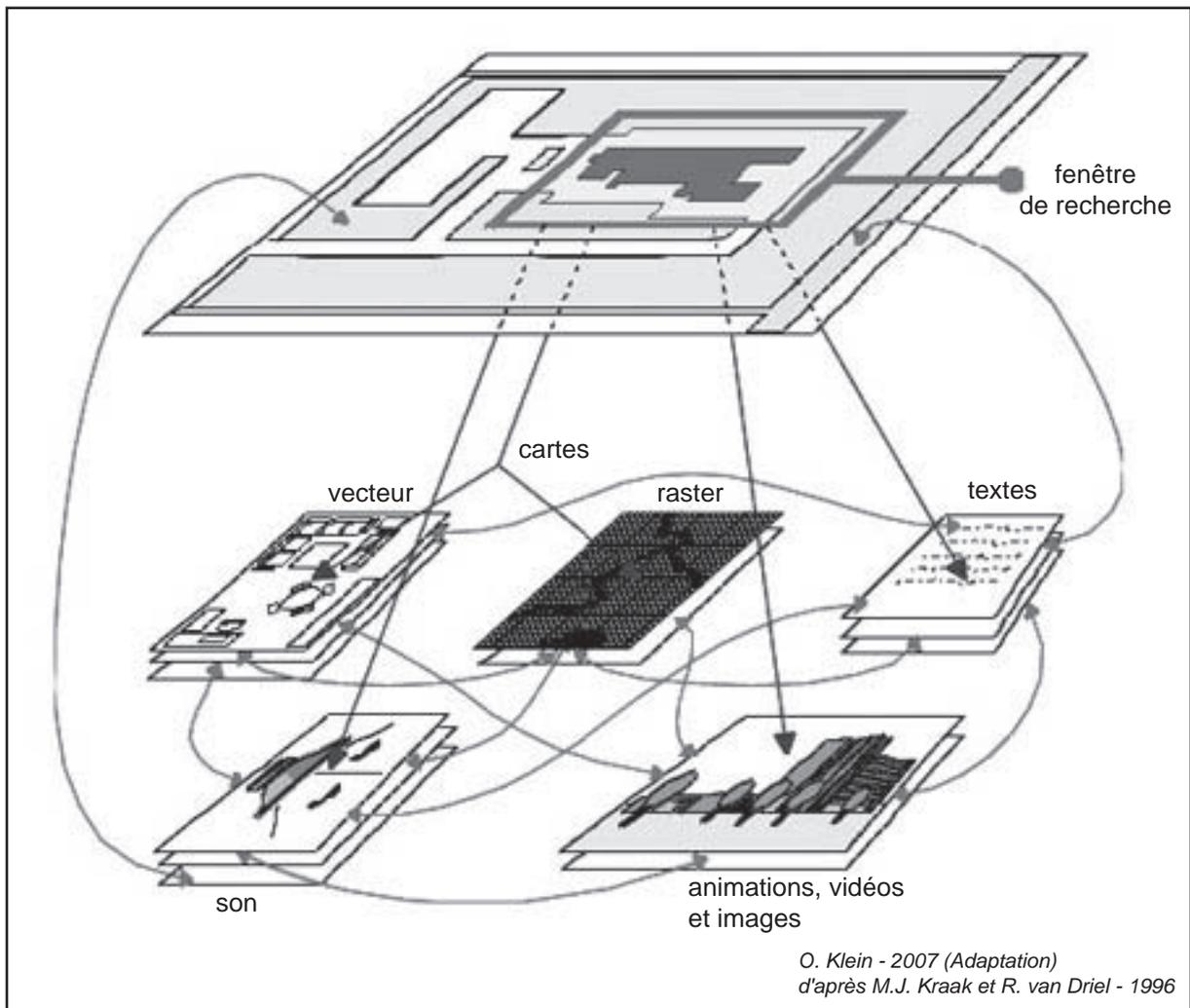
Figure 3.46 - Variables sensorielles multimédia

Perception visuelle	Perception auditive	Perception tactile																
<p><i>Variables visuelles</i></p> <table border="1"> <tr> <td>Taille</td> <td rowspan="6">2D - statique</td> <td rowspan="12">3D dynamique</td> </tr> <tr> <td>Valeur</td> </tr> <tr> <td>Texture</td> </tr> <tr> <td>Couleur</td> </tr> <tr> <td>Orientation</td> </tr> <tr> <td>Forme</td> </tr> <tr> <td>Durée</td> <td rowspan="3">2D - dynamique</td> </tr> <tr> <td>Taux de changement</td> </tr> <tr> <td>Ordre</td> </tr> <tr> <td>Elévation</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Extrusion</td> <td></td> </tr> </table>	Taille	2D - statique	3D dynamique	Valeur	Texture	Couleur	Orientation	Forme	Durée	2D - dynamique	Taux de changement	Ordre	Elévation		Extrusion		<p><i>Variables audibles</i></p> <p>Localisation Force Ampleur Fréquence Timbre Durée Taux de changement Ordre Attaque/Déclin etc.</p>	<p><i>Variables tactiles</i></p> <p>Hauteur Taille Valeur Texture Forme Orientation etc.</p>
Taille	2D - statique			3D dynamique														
Valeur																		
Texture																		
Couleur																		
Orientation																		
Forme																		
Durée	2D - dynamique																	
Taux de changement																		
Ordre																		
Elévation																		
Extrusion																		
	Perception olfactive	Perception gustative																
	<p><i>Variables olfactives</i></p> <p>Localisation Force Parfum etc.</p>	<p><i>Variables gustatives</i></p> <p>Localisation Force Saveur Piquant Fraicheur etc.</p>																

O. Klein - 2007

L'intérêt du multimédia réside dans les larges possibilités de combiner et d'interrelier différents modes de communication, différents médias. Dans une page internet, plusieurs média coexistent et sont accessibles via des liens hypertextes, ou plus généralement des hyperliens. Ces derniers sont des références marquées (*tags*) qui permettent de passer d'un document consulté à un document lié où d'autres informations et d'autres liens sont accessibles. Ce sont ces hyperliens qui permettent de naviguer de page en page.

Appliqués à la cartographie dynamique, ces hyperliens sont des hypercartes (Kraak et van Driel, 1996). Le document cartographique consulté (figure 3.47) sert alors d'interface d'accès à d'autres documents : cartes, images, graphiques, photographies, etc. L'accès aux documents liés se fait par des zones « cliquables » de la carte qui permettent ainsi d'accéder à des données en fonction d'un contexte géographique.

Figure 3.47 - Cartographie et hyperliens

L'exemple de la figure 3.48 montre un exemple d'hypercarte réalisée sur l'Aire urbaine Belfort-Montbéliard, permettant d'obtenir une photographie de présentation des communes ainsi que des informations contextuelles sommaires sur chacune des communes de la zone d'étude, comme le nombre d'habitants, la structure intercommunale d'appartenance, ainsi.

Par cette interface, des informations thématiques aux formes variées peuvent être restituées à l'utilisateur en fonction d'une référence spatiale correspondant à la zone cliquée sur la carte.

Figure 3.48 - Un exemple d'hypercarte donnant accès à des informations contextuelles

Aire Urbaine Belfort-Montbéliard-Héricourt-Delle
Un emboîtement d'échelles territoriales
Portraits communaux

Commune : Belfort
 EPCI : Communauté d'Agglomération Belfortaine
 Département : Territoire de Belfort
 Code INSEE : 90010
 Code Postal : 90000
 Population (99) : 50 417 habitants

Modification du découpage territorial

- Départements
- Communautés de Communes et Communautés d'Agglomérations
- Communes

Requête de mise à jour des informations thématiques

Hypercarte : partie clicable

Voir CD-ROM en annexes

O. Klein - 2007

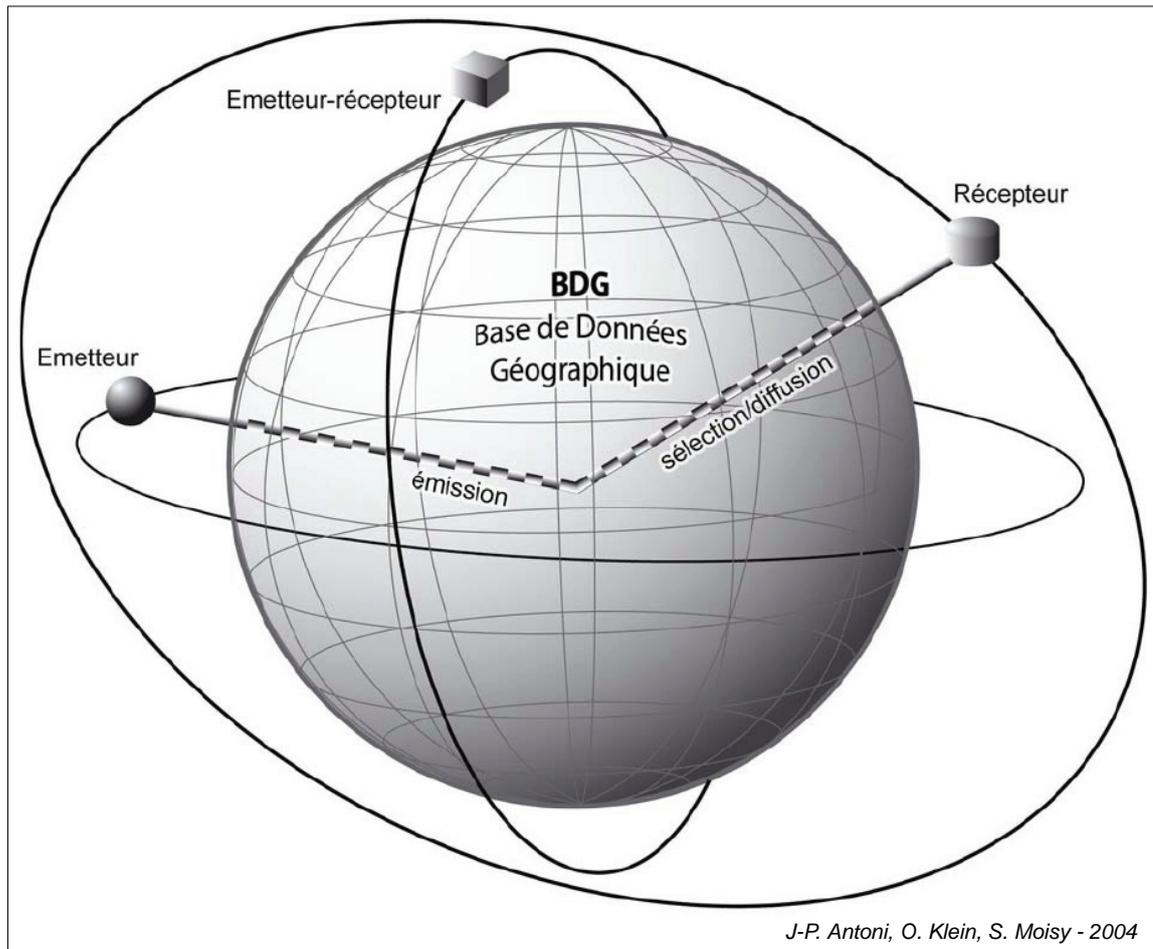
2.2.4. Une communication par la carte modifiée

Par l'ajout de toutes ces nouvelles potentialités (interactivité, multimédia...), la carte change et devient même séduisante ; elle attire un large public qui auparavant l'appréhendait souvent négativement.

Le statut du lecteur/utilisateur de la carte change également : tantôt simple utilisateur ou lecteur, tantôt auteur ou auteur/utilisateur ; le schéma de la communication cartographique s'en trouve à nouveau bouleversé. Ce schéma ne peut plus être conçu linéairement tel que nous l'avons proposé ici, en nous appuyant sur le schéma linéaire de Lasswell. Il doit être conçu dans une dimension supérieure, où le utilisateur peut endosser différentes fonctions allant du lecteur passif à l'émetteur/auteur au cours d'un même processus de communication, notamment lorsqu'il ajoute et sélectionne lui-même l'information, en particulier dans une démarche exploratoire (tel que nous allons le voir dans le point 3).

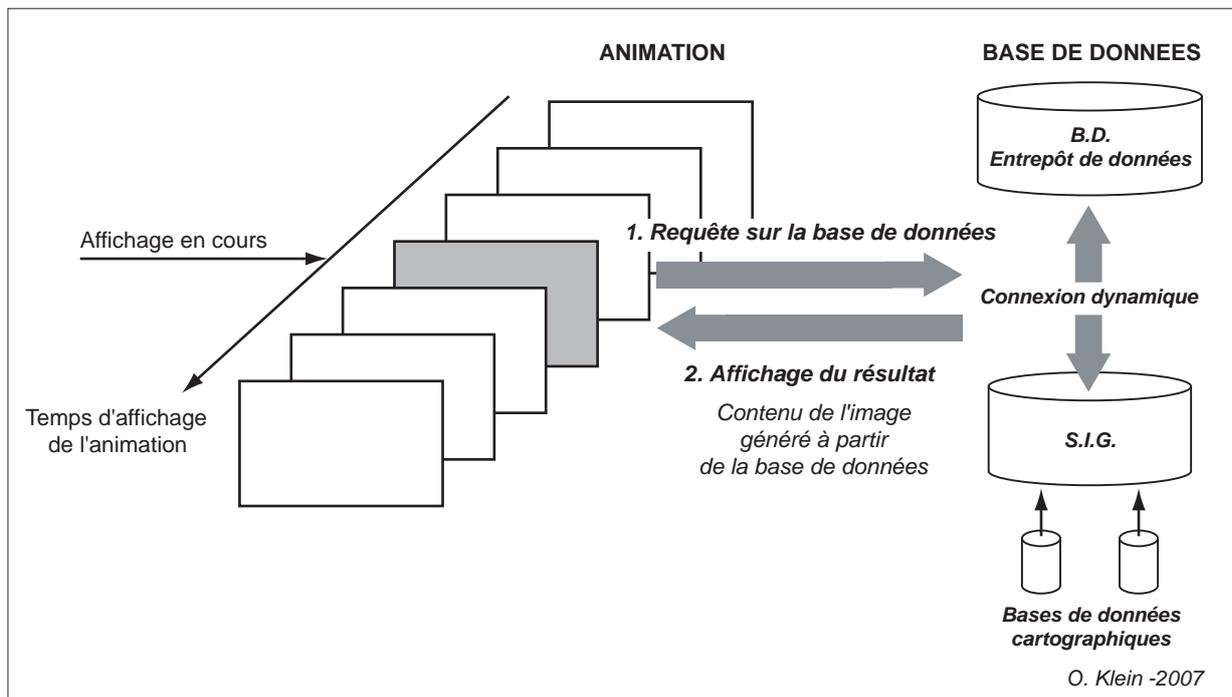
Les éléments théoriques abordés dans cette section, permettent de mettre en place la structure générale du binôme « base de données - interface de visualisation ».

Figure 3.49 – Un schéma de communication multi-dimensionnel



La construction des animations sur les mouvements quotidiens de l'Aire Urbaine Belfort-Montbéliard-Héricourt s'appuie, en général, sur les différentes techniques d'animations présentées, avec d'une part un affichage image par image avec des images générées automatiquement par le couple SIG/Base de données, et, d'autre part, un affichage généré dynamiquement avec un procédé proche de l'animation par algorithme ; cependant, pour des raisons pratiques (temps de calcul assez long), les résultats relatifs à l'algorithme sont précalculés et stockés en dehors de l'interface de visualisation. L'interface de visualisation donne accès aux résultats des précalculs, stockés dans la base de données, à l'aide de requêtes successives (à pas de temps réguliers), permettant de construire les informations contenues sur la carte (Figure 3.50) par l'intermédiaire d'un lien dynamique vers le SGBD (lien ODBC).

Figure 3.50 – Lien simplifié « base de données – Interface d'animation »



3. Vers une analyse exploratoire des données

Développer les techniques d'animation et d'interactivité et les associer à notre démarche pour appréhender les mouvements quotidiens n'est pas suffisant. Il est nécessaire de les inclure dans un processus, plus global, d'exploration de données pour chercher à révéler des éléments/ traits inconnus : tendances, formes spatiales et spatio-temporelles. Ainsi, l'objectif de la démarche est triple :

- identifier des formes spatiales à un moment dans le temps ;
- comparer des formes spatiales à différents moments pour identifier et quantifier les variations et les évolutions dans le temps ;
- identifier des formes spatio-temporelles pendant une période de temps.

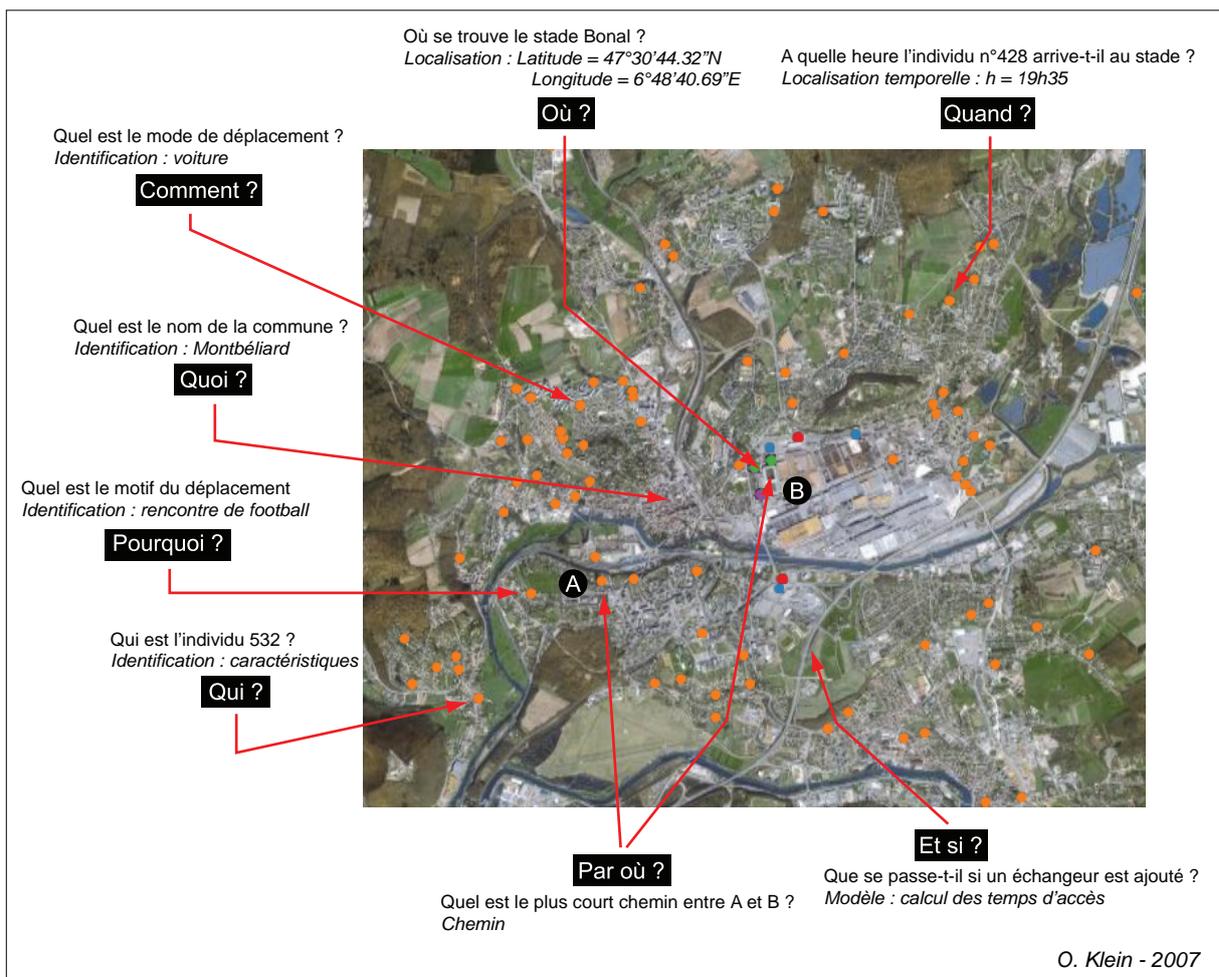
Pour ce faire, il est impératif de disposer d'un environnement informatisé hautement interactif afin de mieux répondre aux besoins de l'exploration avec, entre autres, des liens vers d'autres vues des mêmes données – multireprésentations – et des modes de représentations différents associés à des tableaux et des graphiques. Si l'on en croit T. Slocum et *al.* (1999), cette exploration des données inclut de nombreuses étapes comme le traitement des données en entrée, la variation de la symbologie, les changements de points de vue, la mise en valeur d'une partie des données, l'utilisation de vues multiples, les techniques d'animation, l'association avec d'autres formes d'affichages (tableaux, graphiques...), voire l'interprétation automatique des cartes avec des principes issus du *Data Mining*.

Cette exploration des données de mobilité quotidienne nécessite d'abord d'identifier les possibilités d'évolutions spatio-temporelles des objets, ensuite d'adapter les outils et la démarche à une masse considérable de données induite par leur caractéristique de mobilité, pour aboutir à l'objectif final d'associer des techniques d'analyses spatiales à la cartographie animée et interactive.

3.1. Les changements possibles de points dans l'espace

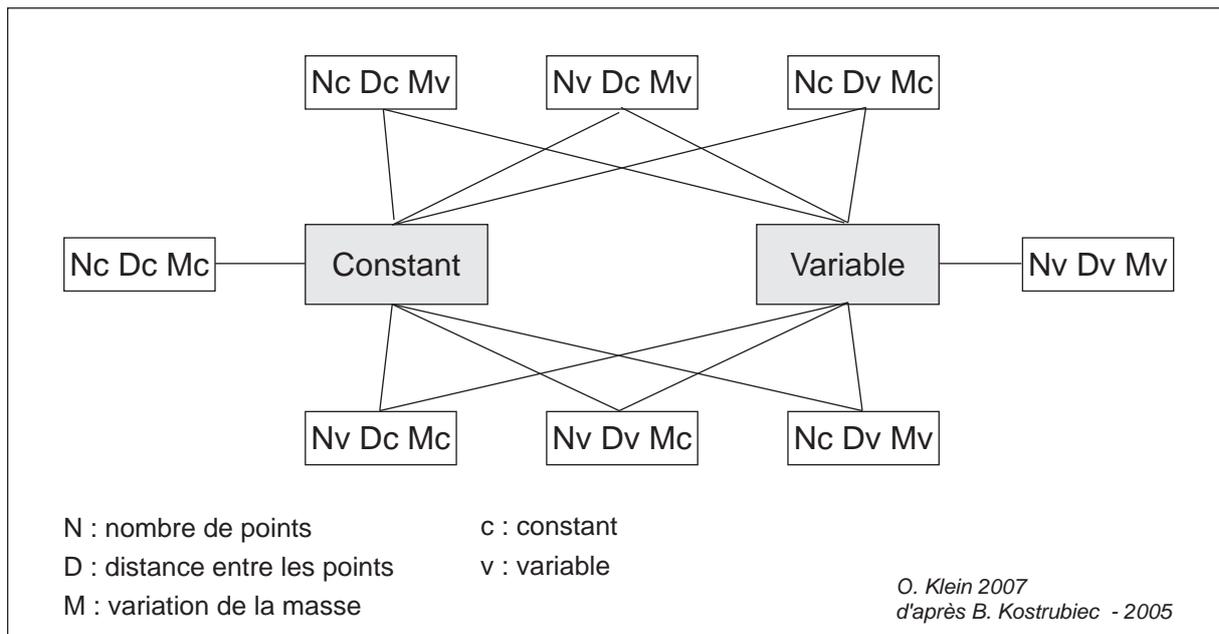
Chaque individu se déplaçant est réduit à un point, de dimension zéro, défini par ses coordonnées $(x_i; y_i; z_i)$ pendant une période donnée caractérisée par la variable t . Par conséquent, dans un espace tridimensionnel E , l'ensemble des déplacements de tous les individus peut être analysé comme un semis de points évoluant dans le temps. Toutefois, des interrogations demeurent (Figure 3.51) sur les comportements de groupes dans l'environnement spatio-temporel du territoire étudié sont nécessaires pour disposer d'un maximum de connaissances pour expliquer ultérieurement.

Figure 3.51 – Exemples de questions pour appréhender un semis spatio-temporel



Les questions les plus élémentaires sont relatives à l'identification d'objets (« qui ? », « quoi ? ») ainsi qu'à des localisations géographiques (« où ? », « par où ? » Et vers où ?) temporelles (« quand ? »), et spatio-temporelles (« où, et combien de temps ? »). Des possibilités de simulation peuvent également être envisagées avec des questions du type « et si ? ». Toutefois, en se retrouvant face à un semis de points pouvant évoluer spatio-temporellement, il est nécessaire d'envisager toutes les possibilités de changement (Figure 3.52). Interviennent ensuite les questions propres aux thématiciens « où et comment ? » et « où et pourquoi ? » pour chercher à expliquer les localisations et les déplacements.

Figure 3.52 – Possibilités d'évolution d'un semis de points

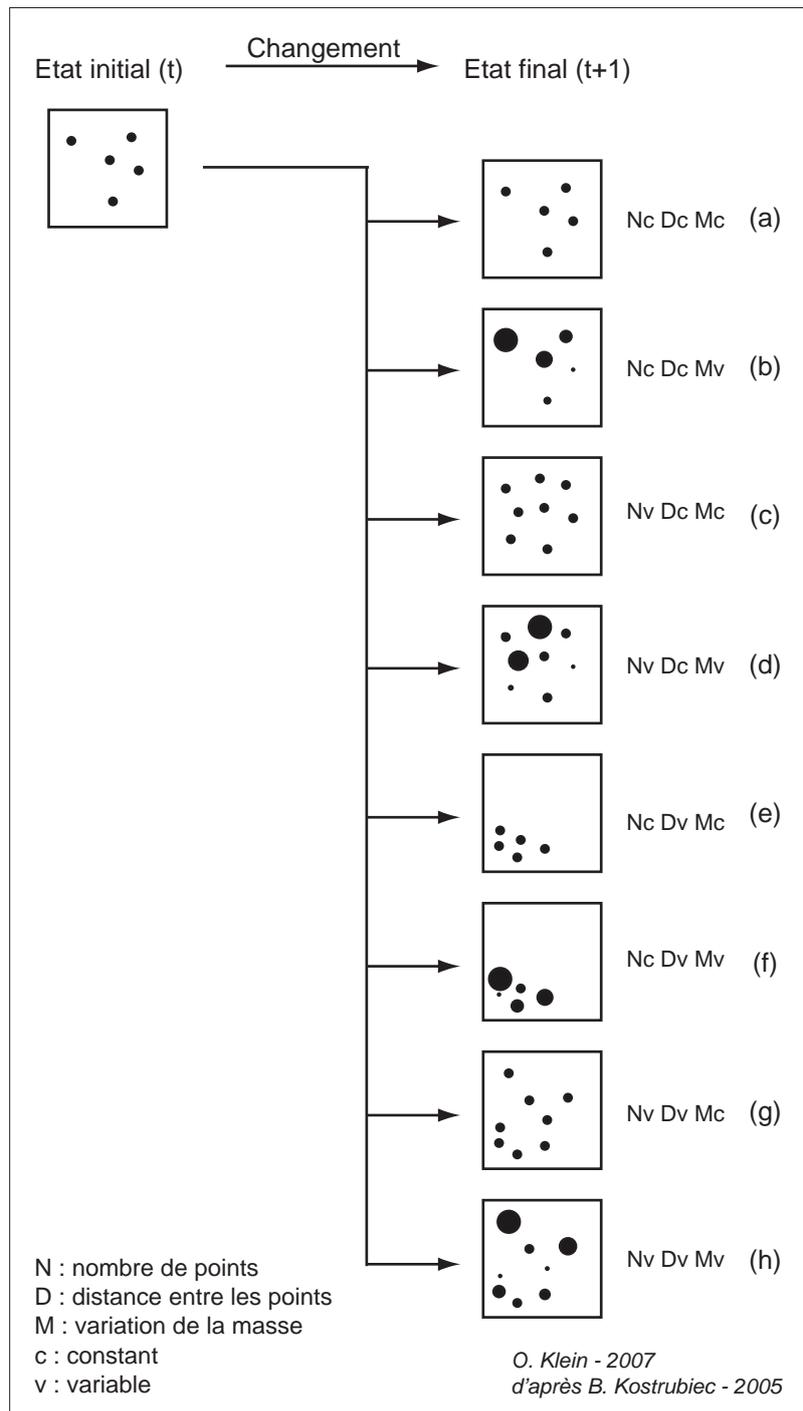


Dans un contexte spatio-temporel, les possibilités d'évolution d'un semis de points sont contraintes par trois paramètres pouvant être, tour à tour, constants ou variables : le nombre d'objets (N), la distance entre les objets (D) et la variation de la masse des objets (M). Ceci implique $2 \times 2 \times 2$ soit 8 configurations de changements d'états envisageables (Figure 3.53).

Les différents cas peuvent être illustrés par un exemple :

- (a) : pas de changement entre l'état initial et final ;
- (b) : une variation de la masse qui peut être caractérisée par une augmentation ou une diminution d'un attribut relatif aux mobiles, comme la variation du nombre de passagers embarqués dans un même système de transport. Il est à noter que pour l'application à l'exploitation de l'enquête relative aux déplacements au stade Bonal, cette masse n'a pu être prise en compte car les occupants d'un même véhicule n'ont pas pu être tous interrogés.
- (c) : une variation du nombre de points est relative à l'ajout ou à la suppression de mobiles respectivement liés à leur entrée et à leur sortie de la zone d'étude ;

Figure 3.53 – Illustration d'un changement d'état d'un semis de points



- (e) : l'évolution de la distance entre les points traduit le déplacement des mobiles au sein de la zone étudiée ;
- les autres possibilités de changement ne sont que des combinaisons des cas élémentaires (b), (c) et (e).

Dans l'application réalisée sur les mobilités événementielles liées à un match de football, le cas (g) résume bien les possibilités d'évolutions présentes. Seule la masse est constante, car chaque mobile a un poids unique et égal.

Chaque individu étant représenté par un point avec des possibilités d'évolution dans un environnement spatio-temporel, les limites de capacité des outils est très vite atteinte pour des études urbaines, aussi bien pour des mégapoles que pour des aires urbaines de taille moindre.

3.2. Un problème : la masse considérable des données

Face à une masse importante de données, l'utilisation de l'informatique seule ne suffit pas ; « si la machine va mille fois plus vite, cela signifie qu'on aura les résultats mille fois plus vite, mais on ne peut pas comprendre mille fois plus vite qu'avant. La seule façon d'appréhender la masse énorme d'informations est la représentation visuelle graphique » (A. Norton, nc). Ainsi, en raison d'une masse considérable de données, une variété de vues et d'affichages est nécessaire afin d'aboutir à une meilleure interprétation des phénomènes qui se déroulent. Les cartes conventionnelles ne peuvent répondre à ce besoin et d'autres approches sont à privilégier comme la visualisation scientifique.

3.2.1. De la représentation à la géovisualisation

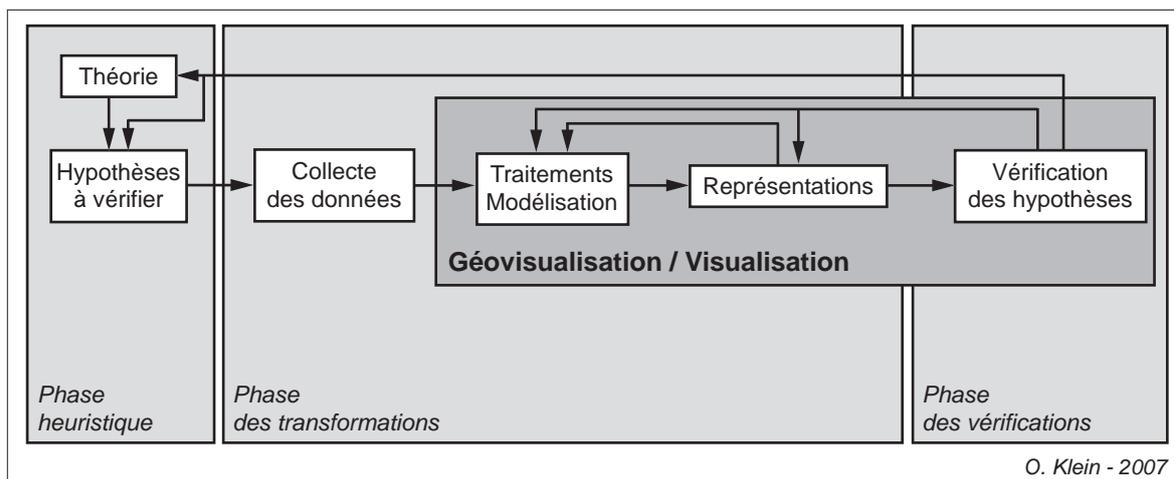
De manière générale, la visualisation scientifique est considérée comme un moyen de gagner en compréhension en se fondant sur une exploration graphique de la masse de données ; elle correspond donc à un processus graphique analogue à l'analyse numérique. Elle est davantage qu'une représentation, car dans la visualisation scientifique, il y a une volonté de comprendre et d'expliquer les processus et non pas simplement les restituer. Elle est définie comme « l'utilisation de la technologie informatique pour créer des affichages visuels, le but étant de faciliter la pensée et la résolution de problèmes » (McCormick et *al.*, 1987).

Bien souvent, les jeux de données à analyser sont très importants et il est relativement difficile d'en dégager des relations ou des structures. La visualisation est alors un moyen d'identifier et de comprendre rapidement des processus. Mais, il est clair que le recours à des voies plus classiques permet généralement d'aboutir aux mêmes résultats avec, toutefois, une démarche bien plus longue. Ainsi, la visualisation scientifique a recours à un ensemble d'outils et de techniques graphiques pour résoudre des problèmes en utilisant la technologie actuelle (Earnshaw et *al.*, 1992) sous différentes formes comme l'informatique graphique, le développement d'interfaces utilisateurs, le traitement d'images. Cet apport technologique est vital dans le processus de recherche en tant qu'outil révélateur ; par exemple, avec une visualisation interactive de données, le chercheur peut manipuler visuellement son jeu de données et le modifier dynamiquement durant les calculs pour voir les conséquences de certains paramètres. Le feedback visuel immédiat aide le chercheur également à mieux comprendre et même à détecter des anomalies, des particularités.

Apartir de ce paradigme – une compréhension facilitée par la vision – la visualisation peut être transposée à des données spatialisées, introduisant ainsi le concept de géovisualisation. Celui-ci renvoie à l'ensemble des outils et techniques permettant de résoudre des problèmes géographiques en utilisant les technologies actuelles ; il lui confère un rôle de révélateur, moyen par lequel des structures spatiales sous-jacentes peu ou non visibles directement peuvent être identifiées et prises en compte dans les analyses. Cette démarche, s'appuyant sur les nouvelles formes de représentations spatio-temporelles, est rendue possible grâce à la multiplicité des technologies actuelles, comme l'usage de l'animation et de l'interactivité qui forment également un autre moyen de mieux communiquer l'information.

La géovisualisation (Figure 3.54) s'étend de l'exploitation initiale des données, juste après la collecte des données, jusqu'à la vérification des hypothèses énoncées précédemment. De nombreuses possibilités d'interaction, combinées au *feedback* lors des affichages graphiques, permettent d'intervenir sur les traitements, modélisations et représentations pour manipuler les jeux de données et mener à bien le processus d'exploration.

Figure 3.54 – Géovisualisation et démarche cartographique



Le principal défi de notre approche est la volonté de présenter des mouvements de manière non pas statique mais dynamique et hautement interactive. La mise en place de cet environnement informatisé doit permettre de répondre aux questions suivantes tel que le proposent en partie Openshaw et *al.* (1994) :

- Que se passe-t-il ?
- Y a-t-il quelque chose d'intéressant ?
- Où et quand se passe-t-il quelque chose d'intéressant ?

A ces questions, on peut en ajouter une autre pour aller plus loin et proposer des alternatives à la situation actuelle : « que se passe-t-il si ? ».

La mise en place de cette approche nécessite un environnement hautement interactif, combinant des sources multiples de données et qui est relativement facile d'utilisation.

3.2.2. Vers un globe virtuel support unique de données spatialisées

L'idée de globe virtuel permettant à tout utilisateur de survoler la Terre, de faire le tour du monde, ou de naviguer en quelques clics, en s'attardant sur n'importe quelle contrée, fait l'objet depuis quelques années d'un véritable engouement et d'une course à l'innovation chez un grand nombre de spécialistes soit de l'information géographique, soit de l'internet. Actuellement, pas moins de cinq produits phares, s'appuyant sur ce type d'interface d'accès à l'information, sont en concurrence : *World Wind* (Nasa), *Géoportail* (IGN), *ArcGlobe* (Esri), *GoogleEarth* (Google) et *Virtual Earth* (Microsoft). Le principe est globalement toujours le même avec une visualisation de la Terre à partir d'un assemblage de photographies aériennes et d'images satellites. Parmi ces produits, nous retenons *GoogleEarth* qui semble disposer des atouts et des caractéristiques techniques les plus intéressants pour intégrer notre démarche

Comme ses concurrents, *GoogleEarth*⁶ est un logiciel de navigation tridimensionnel centré sur la Terre et couplé à de l'information géoréférencée (images satellites, photographies aériennes, information géographique vectorielle et géosignets) issue d'une banque de données appartenant à Google et dont la taille est estimée à plus de 12 To. Toutes ces données sont téléchargées à la volée en fonction des zones survolées pour garantir une fluidité lors de la consultation.

La puissance de cette application repose sur une navigation et une interface très intuitives (Figure 3.55) ainsi qu'un environnement 3D relativement fluide restituant le relief ainsi que la modélisation tridimensionnelle de certains bâtiments.

La particularité et l'intérêt de cette version du globe virtuel réside principalement dans le moteur de recherche géographique. Celui-ci fait figure de véritable explorateur terrestre – *earth browser* – comparable à l'explorateur internet – *Web browser*, et qui repose globalement sur les mêmes principes que les moteurs de recherche Google accessibles *via* l'adresse *www.google.fr* (Figure 3.56). Etant un produit diffusé par *Google*, ce globe virtuel bénéficie des infrastructures de la société éditrice, à savoir un nombre important de serveurs garantissant toujours une fluidité lors de l'accès à l'information et un débit de transmission élevé, ce qui a fortement fait défaut, par exemple, au géoportail de l'IGN lors des premiers jours de son lancement. Un élément supplémentaire et non négligeable pour ce globe, consiste en l'intégration de l'expérience préalable de *Google* en cartographie sur internet avec le transfert de toute la technologie développée dans *GoogleMaps* (avec, par exemple, le calculateur d'itinéraires).

Mais le principal intérêt, pour nous, est de pouvoir rajouter des informations personnelles qui peuvent être rendues publiques et qui sont diffusables.

⁶ *GoogleEarth* est un logiciel initialement développé par *Keyhole Inc.*, une société américaine spécialisée dans la cartographie interactive. Rachetée en octobre 2004 par *Google*, cette technologie bénéficie aujourd'hui des infrastructures de Google.

Figure 3.55 – Google Earth, une interface intuitive adaptée à tout public

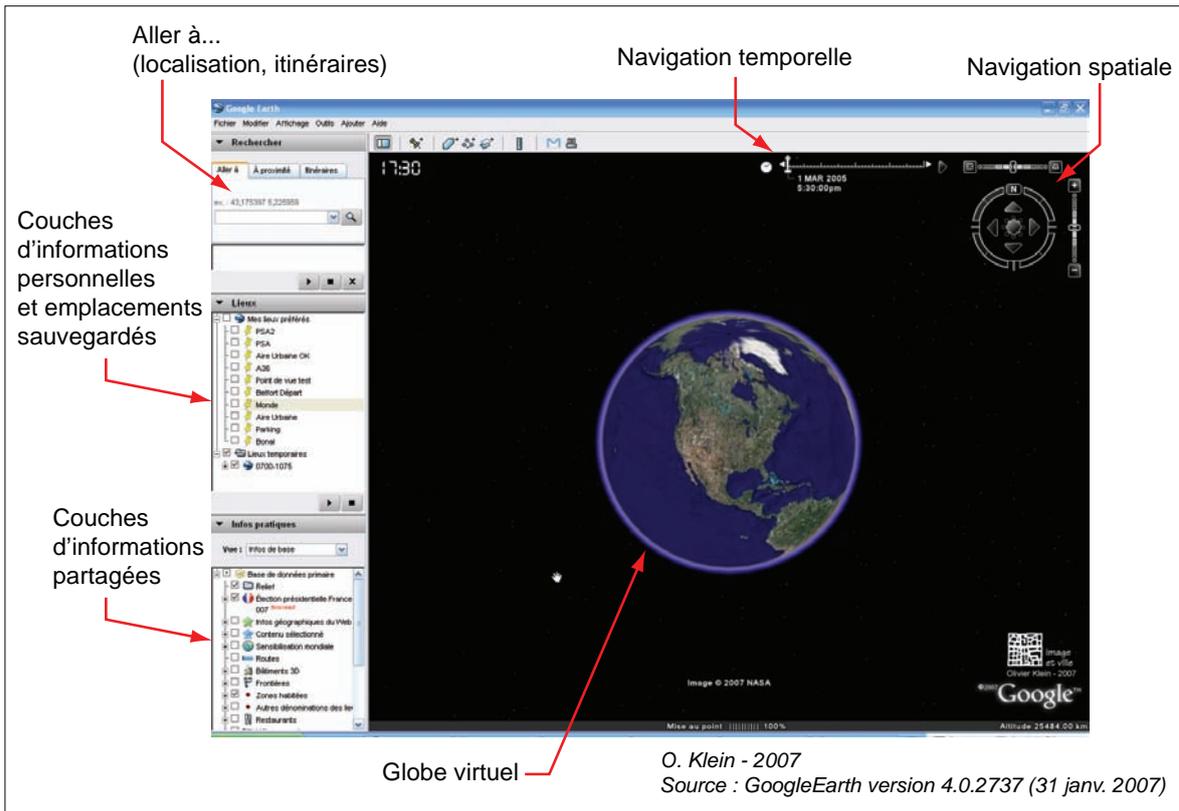
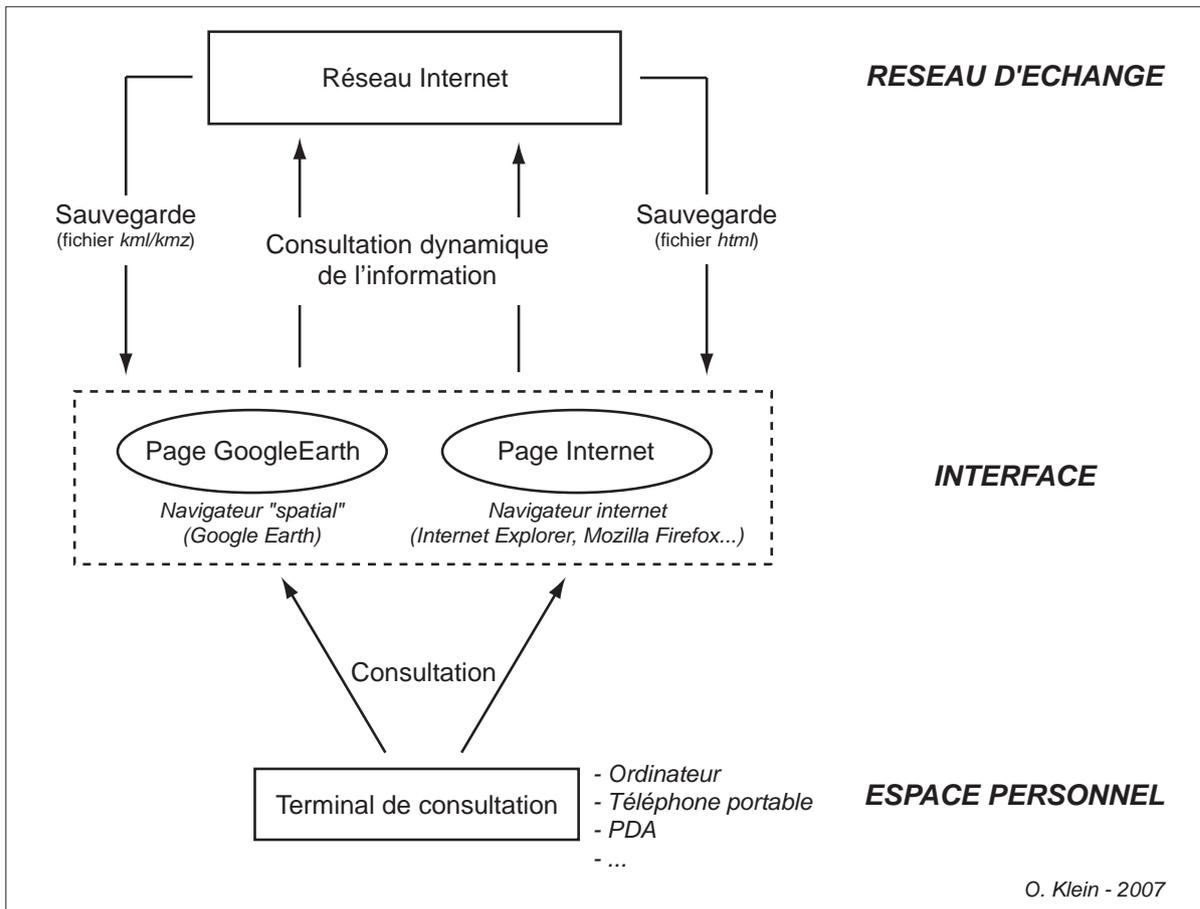


Figure 3.56 – Google Earth, un fonctionnement analogue à un moteur de recherche classique

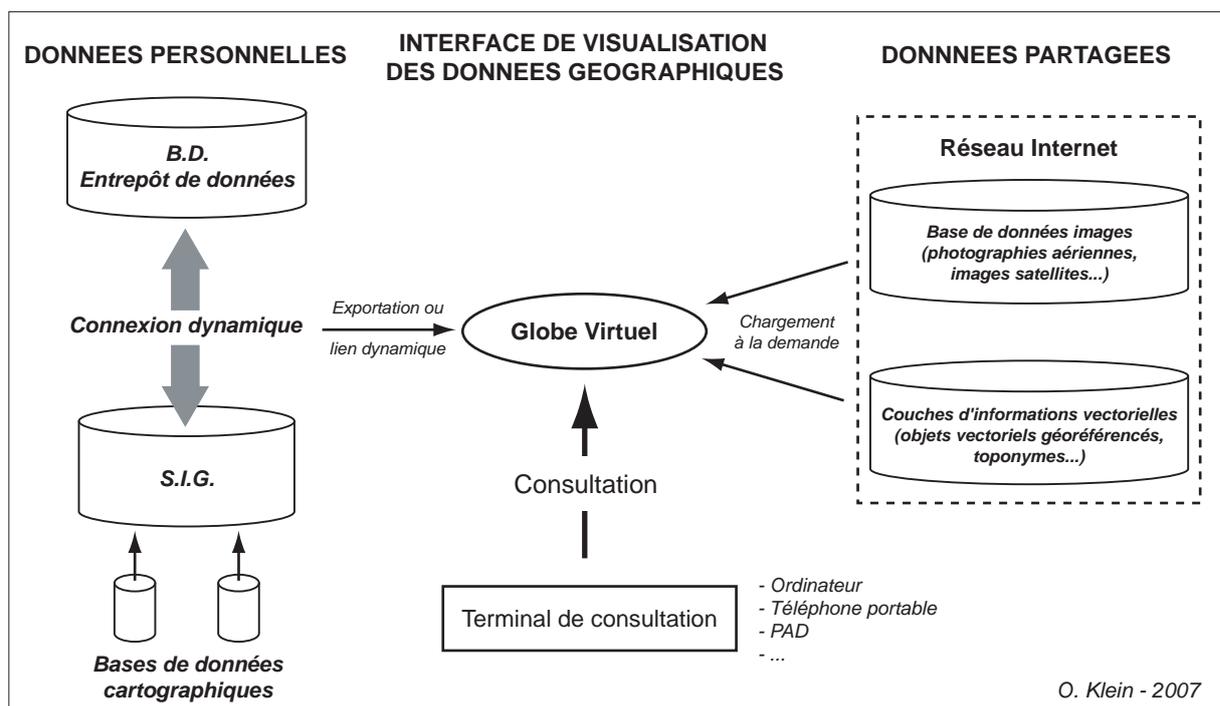


Couplé à un SGBD, le globe virtuel présente les fonctionnalités fondamentales caractérisant un système d'information géographique : acquérir, archiver, accéder, analyser et afficher des données géographiques (Cheylan, 1997). Par son interface intuitive, on passe au SIG pour tous, du moins accessible et utilisable par tous. L'architecture globale du système (figure 3.57) permet donc d'associer des données provenant de Google avec des données personnelles consultables sur différents supports.

Les échanges entre la base de données utilisateur et l'interface du globe virtuel peuvent s'établir de manière dynamique en mettant en place un lien via un serveur vers la base de données⁷, ou de manière indirecte via l'exportation de fichiers dans un format intégrable dans *GoogleEarth*.

La création d'un contenu géographique dans *GoogleEarth* s'effectue au moyen d'un fichier au format KML (*Keyhole Markup Language*), format interne développé initialement par *Keyhole*. Il repose sur une technologie XML (*Extensible Markup Language*), c'est-à-dire un langage informatique de balisage générique qui facilite l'échange de contenus et l'interopérabilité entre différents systèmes d'information notamment sur Internet⁸.

Figure 3.57 – Le globe virtuel, une interface ouverte pour une exploration spatio-temporelle



Ces globes virtuels sans cesse en développement, aussi bien par l'apport de données en partage issues de la communauté des utilisateurs, que par l'ajout de nouvelles

⁷ Cette solution est envisagée à terme, mais n'a pu être réalisée dans le cadre de cette recherche en raison de contraintes techniques d'hébergement.

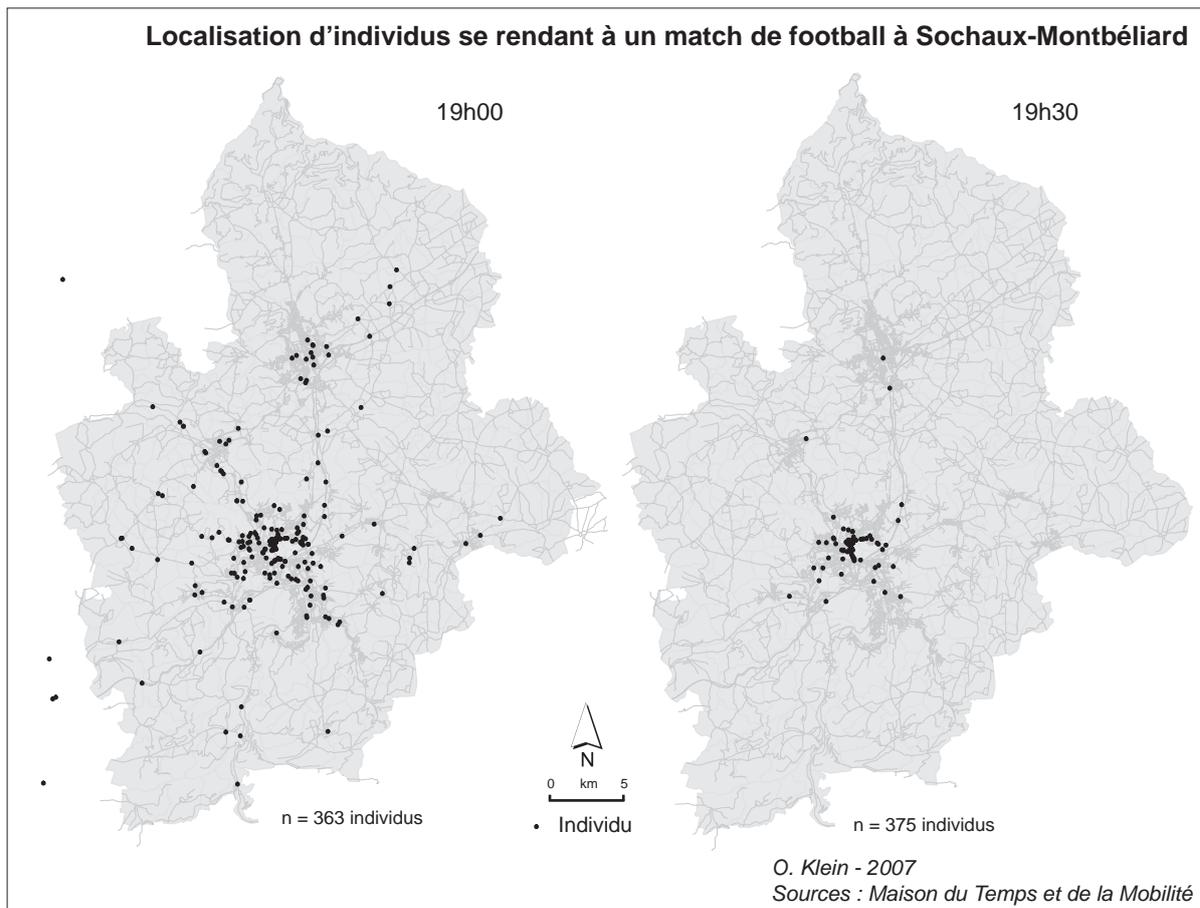
⁸ Un programme de conversion a été écrit dans ce cadre pour convertir des données tabulées de type (id, x, y, z, t) vers un fichier KML lisible dans *GoogleEarth*.

fonctionnalités par l'éditeur. Enrichies par des techniques d'analyse spatiale, les possibilités d'exploration sont encore potentiellement plus importantes.

3.3. Analyse spatiale.

Une catégorie élémentaire de représentations (Figure 3.58) permet de localiser les mobiles en mouvement et répond à la question « où sont les individus à telle heure ? ». Pour cette heure donnée, il s'agit de présenter la localisation des individus dans le territoire étudié (Exemple de carte : stade Bonal à 19h).

Figure 3.58 – Représentation élémentaire du semis



En appliquant les procédés d'animation définis précédemment, grâce à un simple enchaînement d'image, l'image des déplacements est recrée. Cette représentation animée de la ville recrée la fourmilière urbaine telle que la définit A. Banos (2005).

Ces formes de visualisation relativement élémentaires présentent bien la dynamique de la ville – un de nos objectifs de départ - mais nécessitent des éléments supplémentaires pour aboutir à des analyses plus riches. Une des solutions possibles est de faire appel aux statistiques spatiales descriptives permettant de calculer des paramètres décrivant les répartitions et leurs caractéristiques.

3.3.1. Centralité et dispersion

Le centre moyen

Un semis de point peut être résumé par un point unique représentatif de l'ensemble du semis. Apparenté à la moyenne en statistique descriptive, il s'obtient par le calcul de la moyenne des points selon les deux directions X et Y .

Dans le cas de l'analyse d'un ensemble de mobiles se rendant vers une destination unique, trouver le centre de la distribution d'un semis revient à déterminer le point d'articulation de son organisation autour duquel les objets gravitent ; le centre de gravité prend alors toute sa signification. Ce qui importe le plus est non pas sa position exacte et sa visualisation, mais sa variation dans le temps. Dans l'exemple des déplacements pour assister à une rencontre de football au stade Bonal, lors de la convergence du semis vers le point de destination, il est fort intéressant de comparer la position de ce point avec celle du centre moyen sur toute la période où les déplacements se déroulent. La distance entre le centre moyen et la destination finale peut être représentée sur graphique temporel.

$$d_{stade} = \sqrt{(X_{stade} - \bar{X})^2 + (Y_{stade} - \bar{Y})^2}$$

avec $\bar{X}; \bar{Y}$: coordonnées du centre moyen

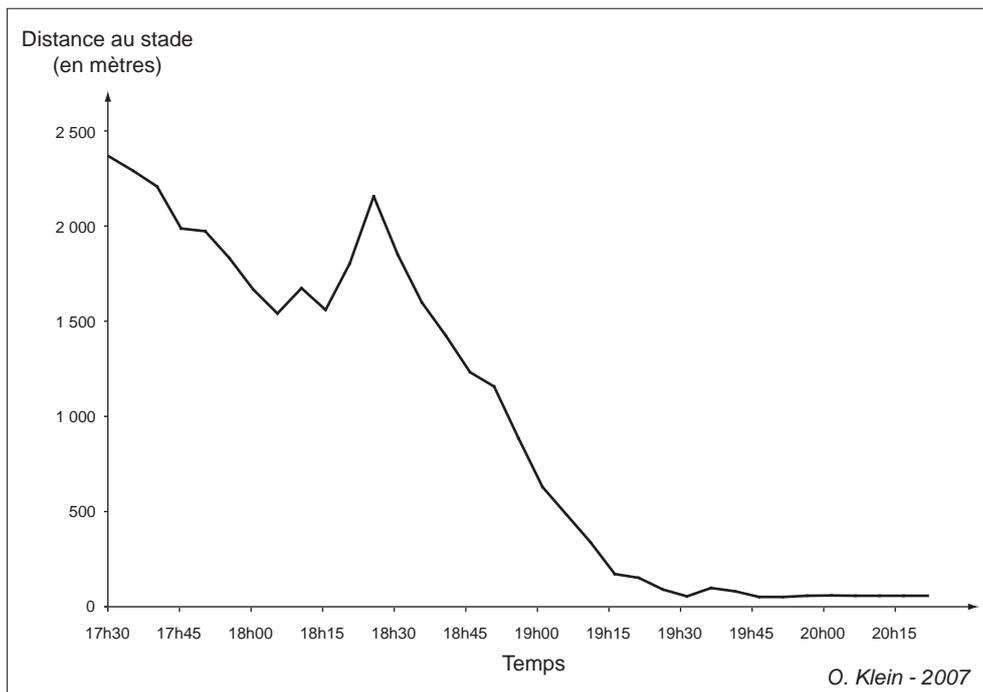
$X_{stade}; Y_{stade}$: coordonnées du stade (destination)

d_{stade} : distance au stade

Cette distance au stade d_{stade} a tendance à tendre vers 0 au fur et à mesure que t se rapproche de l'heure du coup d'envoi. Une représentation graphique de l'évolution de d_{stade} doit permettre d'identifier les grandes périodes de mobilité et d'immobilité des individus : une ligne horizontale caractérise une relative stabilité du semis ; une pente positive traduit une augmentation de d_{stade} dont les causes dépendent du phénomène représenté ; et une pente négative exprime une mobilité générale vers le point destination.

Un rapide interprétation du graphique (Figure 3.59) témoigne de mouvements vers le stade dès 17h30, avec une accélération de l'ensemble des déplacements entre 18h30 et 19h15 (moment où le plus grand nombre de points semblent mobiles), et une présence massive autour et dans le stade dès 19h30 (recherche de places de stationnement et entrée au stade). Le pic, qui prend place entre 18h15 et 18h30, signale l'arrivée de nouveaux individus résidant en dehors de la zone d'étude et venant gonfler la taille du semis.

Figure 3.59 – Evolution temporelle de la Distance moyenne du semis au stade lors d'un avant-match au stade Bonal



La distance de Bachi

Cette méthode permet de caractériser et de résumer la dispersion d'un semis par un indice unique et comparable qui s'apparente à la variance en statistique descriptive : moyenne des distances entre les points et le centre moyen.

La représentation graphique de cette distance, par un cercle de rayon standard autour du centre moyen, intégré à une animation, et associé à un graphique d'évolution temporelle de cette distance, permet de visualiser et de caractériser l'évolution temporelle du semis.

Figure 3.60 – Evolution temporelle de la Distance de Bachi lors d'un avant-match au stade Bonal

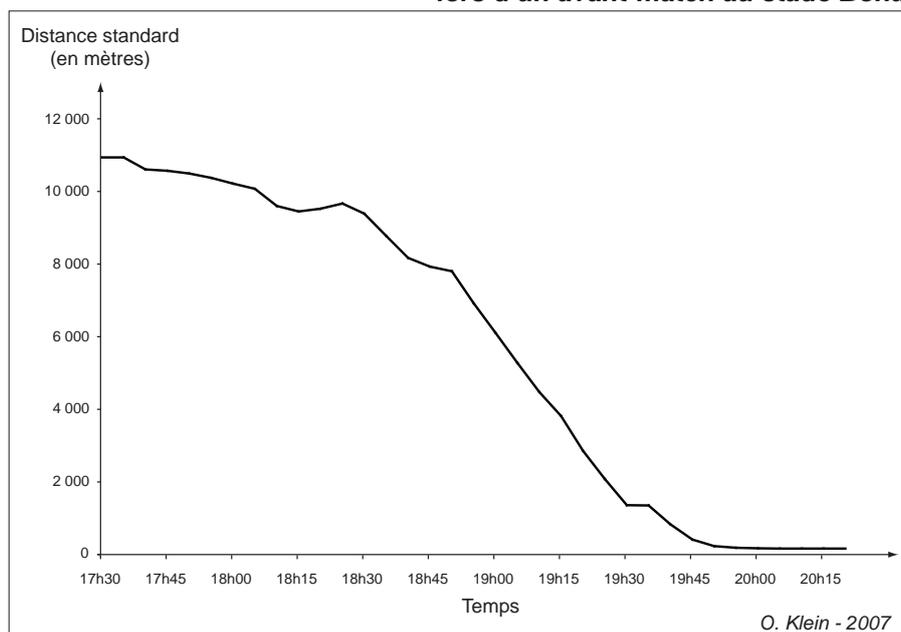
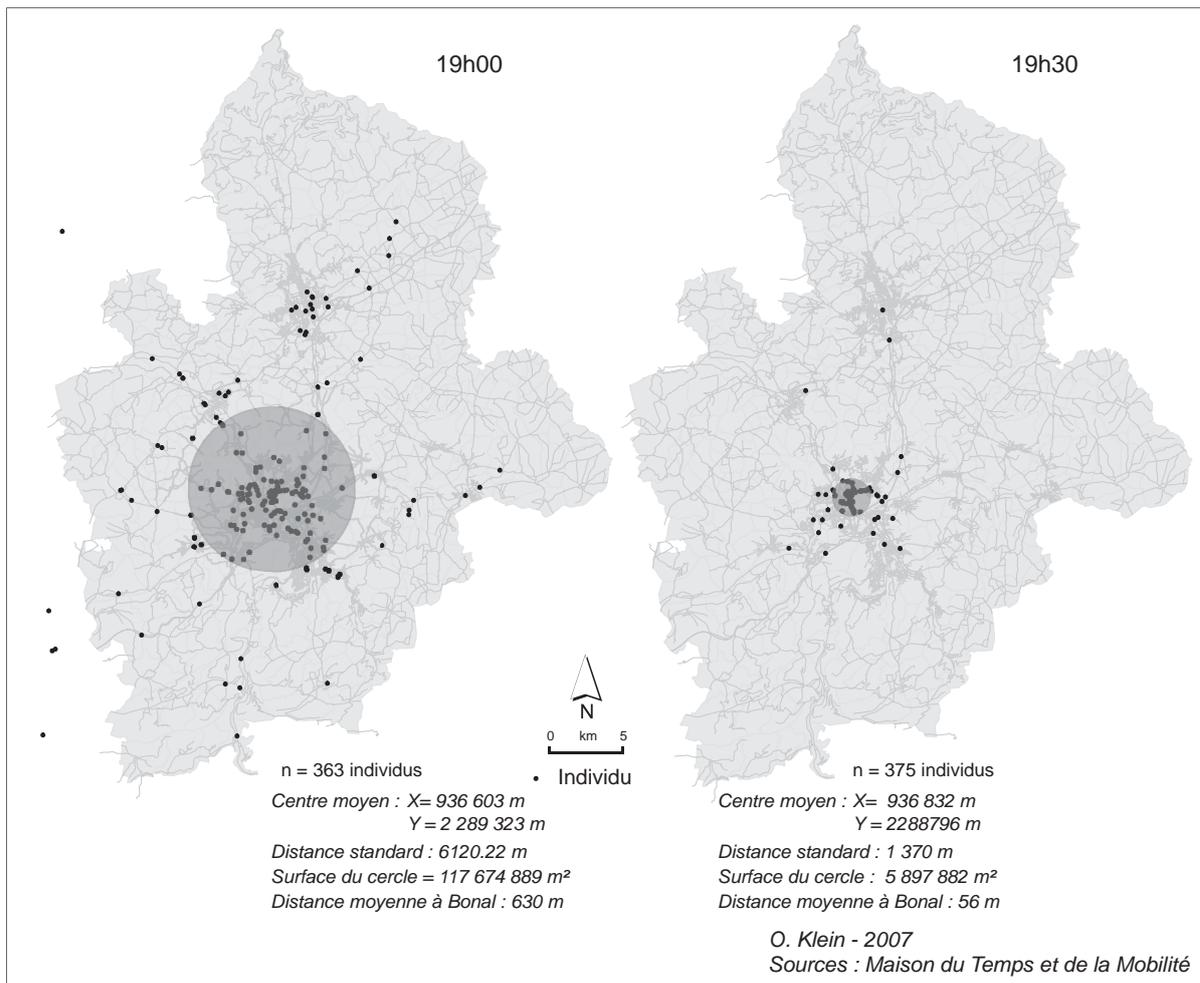


Figure 3.61 – Exemple de représentation cartographique de la distance standard lors d'un avant-match à Bonal



Ellipse standard

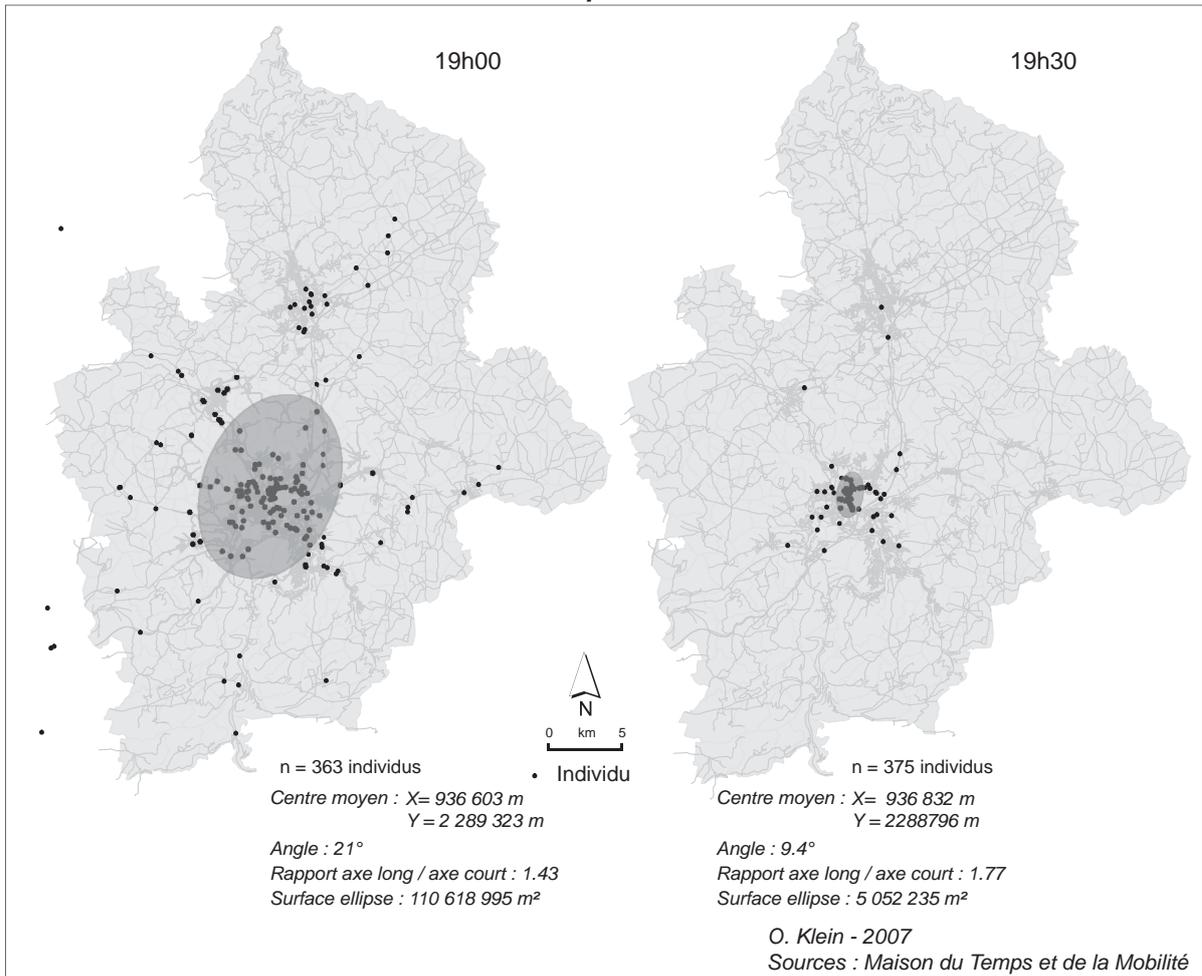
Une méthode complète la distance de Bachi, l'ellipse standard ; elle permet de mesurer et de résumer un semis de points, comme précédemment, mais elle enrichit la mesure en prenant en compte les directions privilégiées dans la dispersion. Il s'agit de calculer l'axe d'étirement maximum et l'axe d'étirement minimum (orthogonaux) centrés sur le centre moyen du semis. Par sa superficie, l'ellipse résume l'importance de la dispersion autour du centre moyen, comme l'écart-type exprime la dispersion autour de la valeur moyenne d'une distribution statistique. Selon la forme de l'ellipse, circulaire ou allongée (Figure 3.62), sa représentation graphique traduit l'absence ou la présence d'une direction prédominante dans le semis, l'orientation des axes précisant cette direction.

Figure 3.62 – Forme de l'ellipse de variabilité et caractéristiques de la répartition du semis

Caractéristiques de l'ellipse		Caractéristiques de la répartition
Si l'ellipse est petite		répartition concentrée
Si l'ellipse est grande		répartition dispersée
Si l'ellipse est circulaire		répartition identique dans toutes les directions
Si l'ellipse est allongée		répartition avec une étirement privilégié

O. Klein - 2007
d'après C. Cauvin - 2005

Figure 3.63 – Exemple de représentation cartographique de l'ellipse de variabilité lors d'un avant match à Bonal



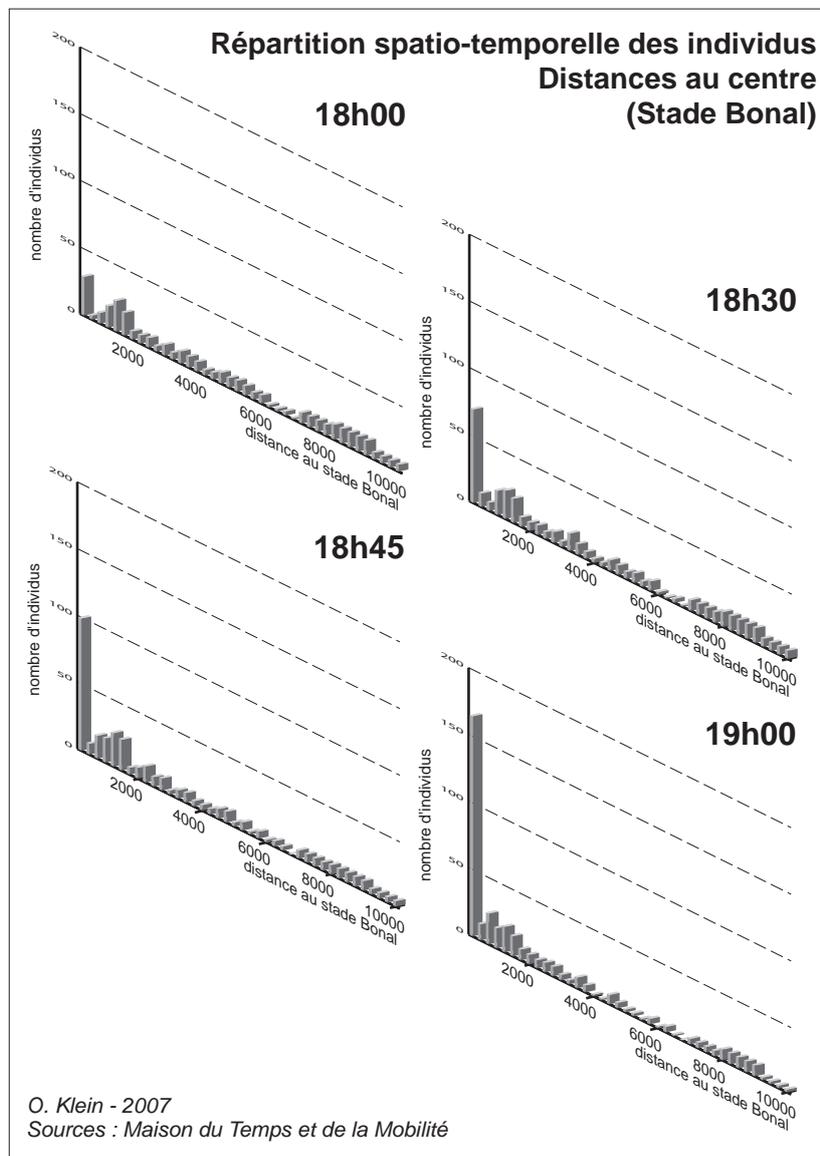
Ces paramètres statistiques décrivant la tendance centrale d'un semis et sa dispersion, peuvent être complétés par d'autres mesures, comme la distance à un point considéré comme « central » qui offre différentes possibilités de visualisation.

3.3.2. Distance au centre

Visualiser la distance au centre (ici, le lieu de destination), constitue, en effet, un autre procédé qui peut être utilisé en complément des précédents. A partir du calcul de cette distance, deux représentations peuvent être établies.

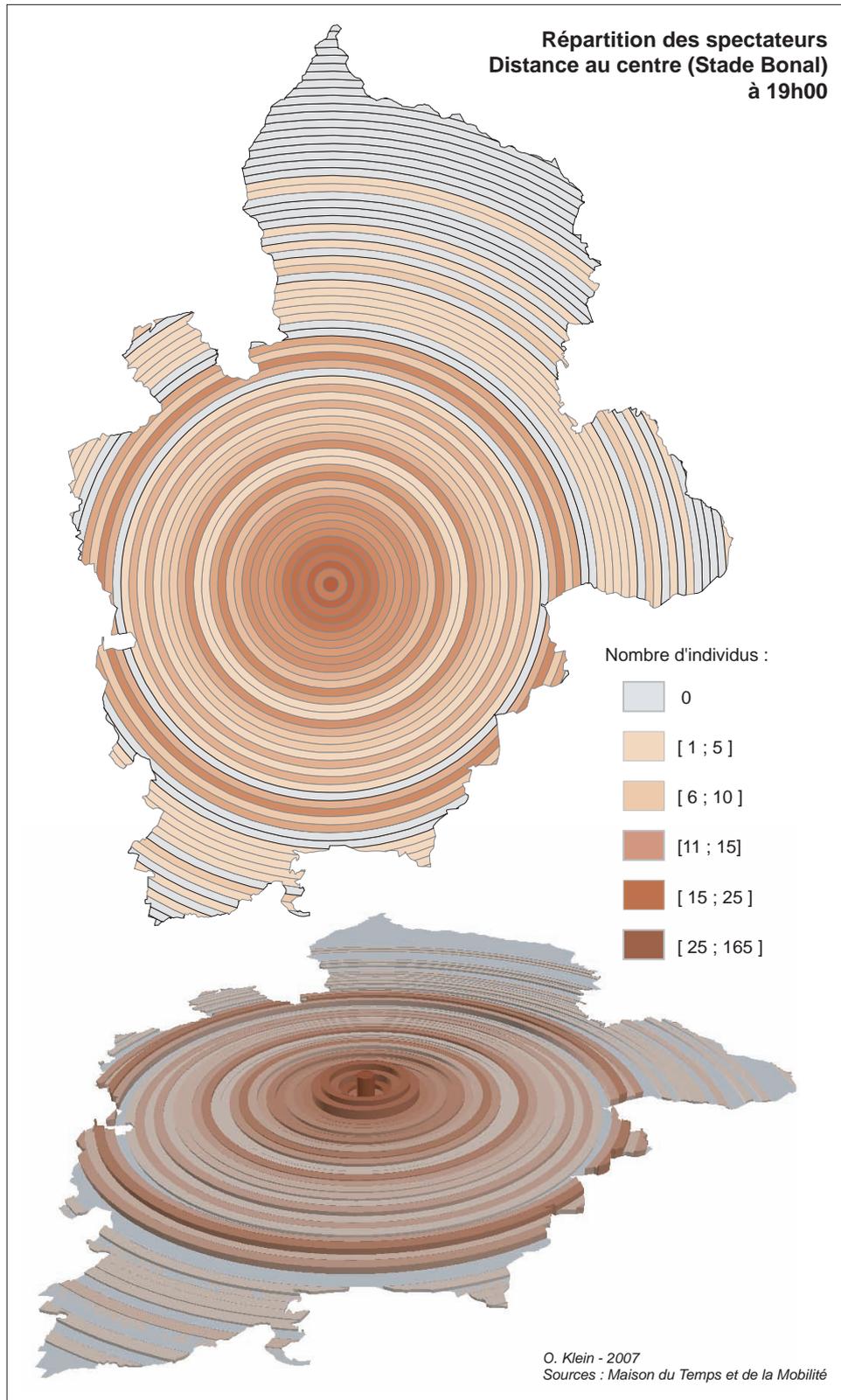
Une première représentation graphique (Figure 3.64) est obtenue en croisant en abscisse la distance au centre, avec un axe gradué selon un pas de 500 m dans notre exemple, et en ordonnée le nombre d'individus présents dans la classe considérée.

Figure 3.64 – Nombre d'individus selon la distance au centre : exemple un avant-match à Bonal



La seconde représentation, sous la forme d'une cartographie en trois dimensions, peut remplacer le graphique précédent, car elle spatialise directement les barres du premier graphique au sein d'auréoles concentriques (Figure 3.65)

Figure 3.65 – Représentation cartographique en 3D du nombre d'individus selon la distance au centre



Ces quelques indicateurs d'analyse spatiale intégrés dans notre démarche peuvent être suivis dans le temps à l'aide d'un calcul numérique du changement tel que :

$$c = \frac{(z_{t+1} - z_t)}{z_t}$$

avec c : indice de changement

z_t : valeur de z au temps t

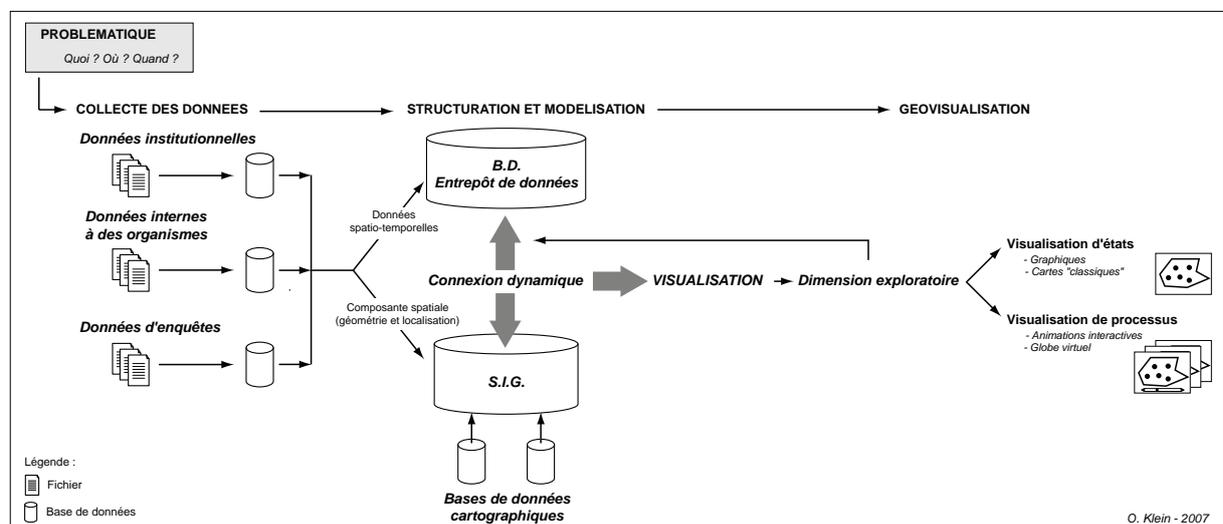
Ce changement peut également être représenté graphiquement pour visualiser l'évolution des indicateurs dans le temps.

Bien entendu, toutes les représentations proposées et les indicateurs calculés peuvent être intégrés dans des animations pour visualiser graphiquement et cartographiquement leur évolution dans le temps.

Limiter l'observation à des séries temporelles statiques réduit considérablement l'opportunité de découverte et d'identification de processus, qui serait même le plus souvent le fruit du hasard (Openshaw, 1994). Par conséquent, pour optimiser l'exploration des mobilités quotidiennes, l'approche classique (cartes classiques, graphiques...) doit être complétée par de nouvelles formes de cartographie interactives et animées révélant des structures spatiales sous-jacentes non directement visibles. Ces formes permettent à la fois de percevoir et mieux transmettre l'information, c'est-à-dire assurer le passage d'une dimension exploratoire à une communication adaptée (Antoni et Klein, 2003) destinée à divers publics (techniciens, élus, et autres acteurs du territoire). Elles sont des outils indispensables aux décideurs, pour l'aménagement du territoire.

La démarche adoptée jusqu'ici peut être schématisée ainsi :

Figure 3.66 – Schéma de la démarche : l'étape de visualisation

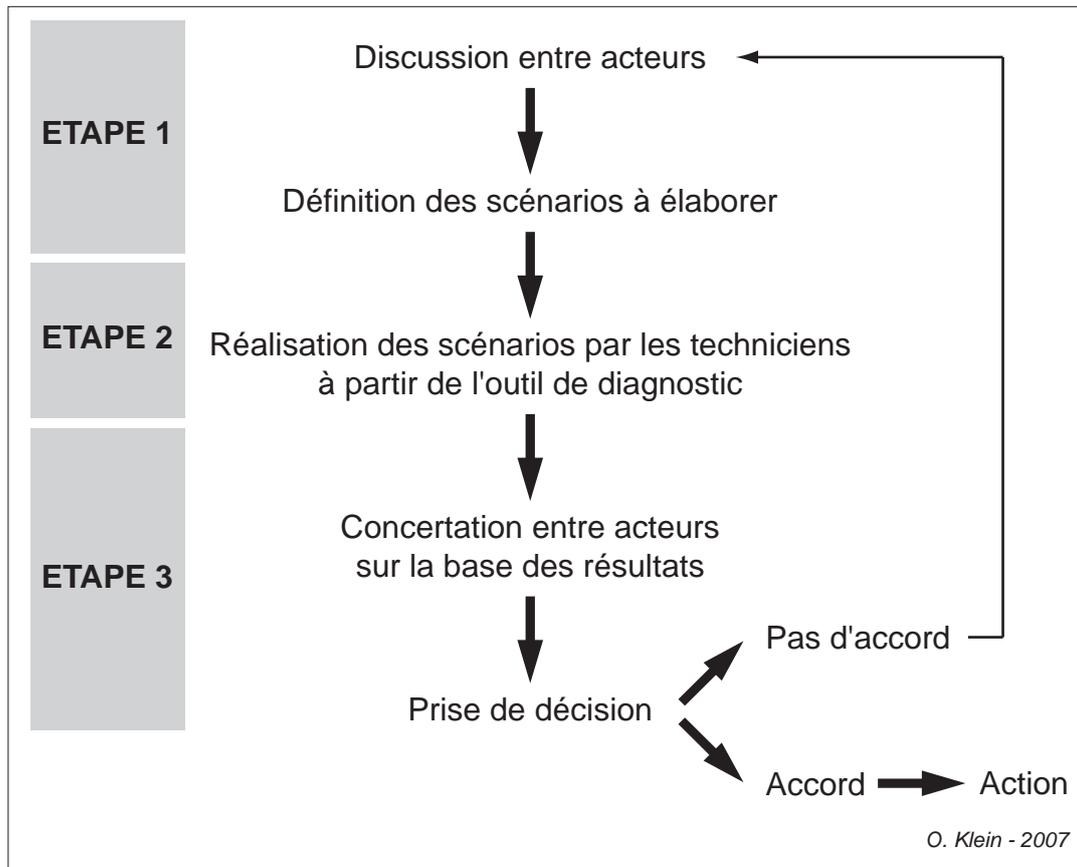


Chapitre 2 - D'une cartographie « traditionnelle » à un outil de géovisualisation : une application à l'Aire urbaine Belfort-Montbéliard

L'idée sous-tendue par cette recherche et annoncée dès l'introduction est que des décisions ne peuvent être prises et une concertation ne peut être efficace que si les échanges et les discussions s'appuient sur un ou des documents concrets. Or, ceux-ci n'ont vraiment d'intérêt que s'ils sont accessibles, compréhensibles et adaptés aux acteurs concernés.

Par conséquent, une démarche adaptée est nécessaire pour la construction de telles cartes, avec une intervention des acteurs concernés en amont de la construction des documents (Figure 3.67). Cette première discussion doit permettre aux acteurs de participer à l'élaboration des scénarios, proposant ainsi les éléments nécessaires pour la production de documents adaptés par l'outil de diagnostic. Dans l'étape suivante, ces documents forment le support de la discussion conduisant à des prises de décisions avec deux alternatives envisageable : une accord avec un passage à l'action, ou un désaccord impliquant de nouvelles discussions et l'élaboration de nouveaux documents.

Cette approche peut être intégrée dans toute démarche qu'elle soit d'aide à la décision ou même participative introduisant ainsi la carte dans le débat public pour donner corps à des propositions citoyennes. L'ensemble doit notamment permettre de faciliter et de renforcer le dialogue, par exemple, entre les services techniques d'un territoire donné et ses usagers. La mise en pratique peut s'effectuer aussi bien dans des comités de pilotage techniques restreints que dans des forums de discussion plus larges comme les Forum du Temps de la Maison du Temps et de la Mobilité ou les Conseils de Quartiers.

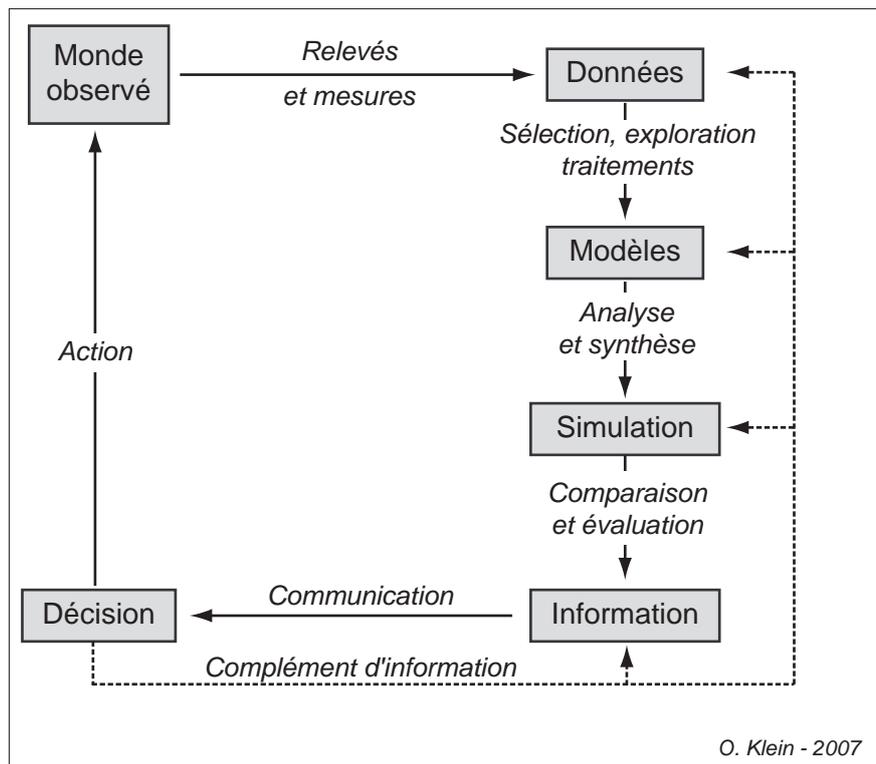
Figure 3.67 – Schéma de la démarche : l'étape de visualisation

Pour que la démarche soit efficace, il est nécessaire de prendre en compte les étapes successives suivantes (Figure 3.68) :

- une production de données correspondant à un problème identifié par relevés, enquêtes et mesures ;
- une modélisation du problème posé à l'aide de critères pré-définis ;
- l'établissement de simulations à partir d'actions proposées ;
- l'évaluation et la comparaison des scénarios issus de la simulation ;
- la négociation et la concertation entre acteurs et prise de décision.
- une action ou une demande de complément d'information selon les conclusions de la concertation.

Toutefois, rares sont pour le moment les démarches d'aménagement centrant la discussion sur un document image et bien souvent les cartes sont sous-employées, voire inadaptées, lorsqu'elles accompagnent certains rapports de présentation d'études. Manifestement, un décalage ressort entre la démarche scientifique universitaire d'élaboration des cartes, incluant une partie exploratoire et une partie de communication, et une cartographie d'application aux buts souvent mal définis et sous-employés (Jouhaud, 1979).

C'est pourquoi, après avoir décrit le contexte indispensable à la compréhension des phénomènes étudiés (ici, présentation de la zone d'application, l'aire urbaine Belfort-

Figure 3.68 – Etapes nécessaires pour une aide à la décision adaptée

Montbéliard), deux cas concrets impliquant l'usage de documents cartographiques adaptés sont abordés : d'une part, le cas des mobilités quotidiennes et, d'autre part, le cas des événements générateurs de déplacements exceptionnels.

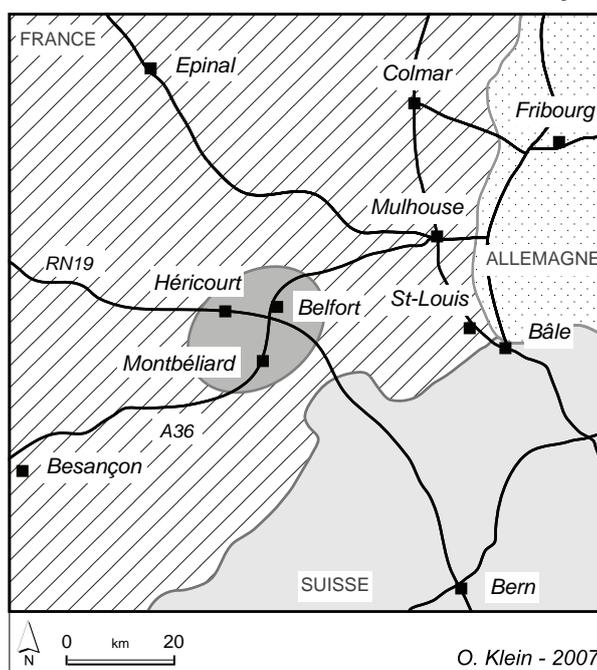
1. L'Aire urbaine Belfort-Montbéliard-Héricourt-Delle et son territoire

Les applications portent, comme cela a déjà été annoncé, sur l'Aire Urbaine de Belfort-Montbéliard-Héricourt-Delle. Une description exhaustive de cette zone ne présentant aucun intérêt dans le cadre de cette thèse, l'accent sera mis sur les particularités ayant des conséquences sur les déplacements et la mobilité quotidienne, en soulignant tout d'abord ce que recouvre spatialement cette aire urbaine. En matière d'emploi, de commerce, de culture ou de sport, les pratiques locales ne connaissent pas de frontières départementales entre les communes du Territoire de Belfort, du Doubs et de la Haute-Saône. En conséquence de ces pratiques bien anciennes, un Pays regroupant 198 communes a été mis en place. Ce pays de l'Aire urbaine se veut le fruit d'une longue démarche de coopération autour de projets de développement initiés depuis plus de 20 ans par les collectivités locales.

1.1. Une situation géographique privilégiée

Situé en bordure frontalière suisse et à proximité de l'Allemagne, au Sud du Parc Naturel Régional des Ballons des Vosges et s'étendant jusqu'à la naissance des plateaux du jura, l'Aire Urbaine Belfort-Montbéliard, et plus généralement le nord Franche-Comté, disposent d'une situation géographique à vocation internationale.

Figure 3.69 – L'Aire urbaine Belfort-Montbéliard dans l'est français

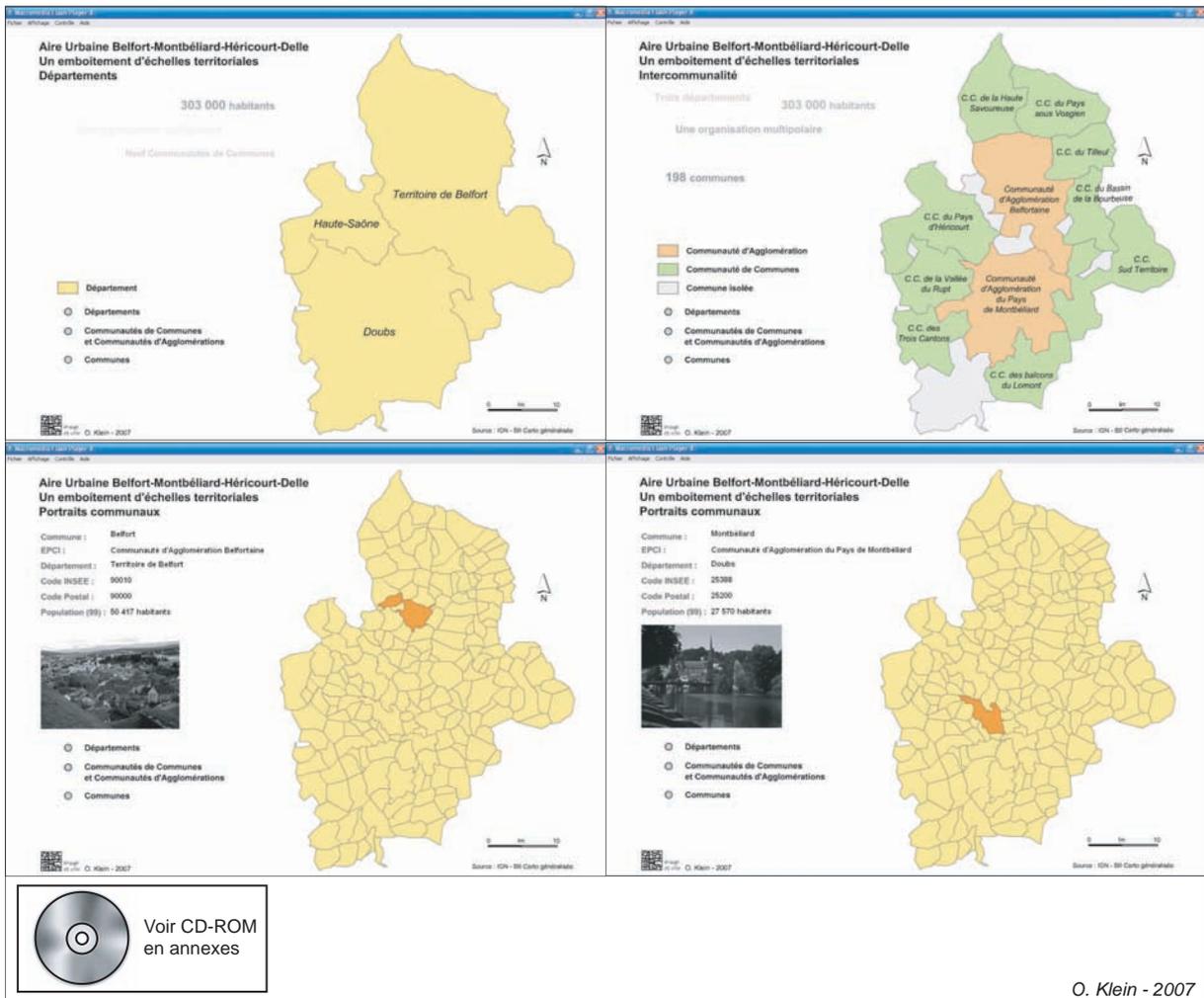


La structuration spatiale et urbaine du Nord-Franche-Comté est fondée sur une organisation multipolaire présentant une armature urbaine bipolaire – autour des villes de Belfort et de Montbéliard – et un tissu périphérique à tendance rurale et périurbaine composé d'un archipel de villes petites et moyennes. Localisée à un carrefour, l'Aire urbaine Belfort-Montbéliard-Héricourt-Delle s'étend sur trois départements, comprenant deux communautés d'agglomération et neuf communautés de communes (Figure 3.70).

Le nord Franche-Comté forme un seul et même bassin économique et urbain, le premier bassin démographique de la région. Avec 300 000 habitants, il constitue la plus grande entité urbaine entre Strasbourg et Lyon. Toutefois, sa structure territoriale composée d'agglomérations petites ou moyennes au sein d'un territoire morcelé implique des organisations administratives, spatiales et économiques éclatées, voire concurrentes.

La présence de réseaux de communication majeurs offre une place privilégiée sur l'axe Rhin-Rhône. Plus localement, l'autoroute A36 apparaît comme une véritable colonne vertébrale reliant ce territoire à Mulhouse au Nord et Besançon plus au sud. L'Aire urbaine se situe au croisement des axes ferroviaires Strasbourg-Lyon et Paris-Bâle. De nouveaux projets de desserte, avec la construction d'une ligne à grande vitesse et une gare TGV à l'échelle de l'aire urbaine, devrait renforcer ce rôle de carrefour. Mais, la mobilité intra-Aire Urbaine reste difficile sans voiture.

Figure 3.70 – L'Aire urbaine : une imbrication d'échelles



1.2. Des territoires en mutation

La région est marquée par de fortes mutations, territoriales, industrielles et tertiaires aux conséquences spatiales nombreuses et variées. S'ajoutent à cela de nouveaux modes de vie caractérisés par la flexibilité des horaires de travail, un accroissement de la mobilité et de nouveaux besoins en services.

1.2.1. Mutations territoriales

Elles se retrouvent principalement à trois niveaux :

- une échelle de compétence intermédiaire qui a pris sa place localement alliant développement économique et aménagement de l'espace : les communautés de communes.
- une logique de développement à l'échelle de l'Aire Urbaine qui permet d'une part de mutualiser un certain nombre d'équipement (gare TGV, complexe cinématographique) et d'autre part de valoriser les investissements déjà réalisés (stade Bonal). Ce modèle de développement est marqué par le passage d'un

schéma bipolaire à un système unique, multipolaire : l'Aire Urbaine. Le syndicat mixte de l'Aire urbaine Belfort-Montbéliard-héricourt-Delle appelé communément SMAU a été créé en 2002. Cette structure travaille à l'échelle du territoire de l'Aire urbaine. C'est un établissement public, espace de coopération entre les collectivités territoriales du nord-est Franche-Comté qui prolonge et consolide la coopération initiée depuis 1984 au sein de l'association Aire urbaine 2000. Espace de réflexion, le SMAU ne se substitue pas aux collectivités qui restent maîtresses de leurs actions. C'est une structure de concertation, de réflexion et d'échanges capable de mener des projets variés (transport, enseignement supérieur, nouvelles technologie, culture...) à l'échelle du bassin de vie de l'aire urbaine au-delà des limites institutionnelles habituelles. D'un point de vue transport, le SMAU assure une coordination des études ; Il est l'initiateur et le maître d'ouvrage de l'enquête ménages déplacements (EMD).

- un besoin de travailler à une échelle plus globale en liaison avec les territoires voisins suisses et allemands.

1.2.2. Mutations industrielles

L'Aire urbaine est un territoire avec une forte tradition industrielle, caractérisé par la présence de grands groupes tels que Alstom, PSA Peugeot-Citroën et tous leurs réseaux de sous-traitants, territoire dépendant de la situation économique de trois secteurs d'activités : l'automobile, l'énergie et le transport, ce nord Franche-Comté compte une population industrielle encore forte (36% de la population active lors du recensement de 1999).

L'entreprise Alstom, leader dans le domaine de la production d'énergie et le transport implanté sur un site industriel à proximité du centre-ville belfortain avec une emprise spatiale importante (5 km²) constitue une véritable barrière qui divise la ville en deux. Ces dernières années, elle a recentré ses activités sur le cœur de son métier et a externalisé ses autres activités. Ainsi, sur le site de Belfort, on passe d'une entreprise unique à une multitude d'entreprises auxquelles s'ajoutent d'autres entreprises non liées au groupe. Une extension du site historique s'opère également vers l'ancien site de Bull. Avec une trentaine d'entreprises et près de 5 000 employés, Alstom connaît à l'heure actuelle de nouvelles crises avec des menaces de licenciements.

Le constructeur automobile PSA Peugeot-Citroën est, avec 15 000 employés sur le site de Sochaux-Montbéliard et plus de 10 000 sur le site de Mulhouse, le premier employeur de l'aire urbaine. Du fait de son importance, il est doté de logiques de fonctionnement propres (horaires de production, système de transport interne...). Lorsque le marché fluctue, les horaires s'adaptent à la demande de production. Face à une production croissante, le groupe PSA a par exemple décidé au début des années 2000, de changer l'organisation des rythmes de production en instaurant des équipes de travail le week-end, en incitant les femmes à travailler la nuit et en produisant en non-stop au mois d'août traditionnellement fermé. Les conséquences de ces nouveaux rythmes sont à la fois sociales et spatiales sur toute l'aire urbaine. La mise en place d'une plateforme de production unique sur les deux sites a des

répercussions sur l'ensemble de la région, notamment dans les stratégies d'implantation des sous-traitants qui s'établissent non plus à proximité de chaque site mais à mi-chemin au nord de l'aire urbaine.

1.2.3. Mutations tertiaires

Une volonté locale est de développer le secteur tertiaire supérieur lié aux services de proximité insuffisamment représenté et qui est un frein au développement économique.

Les horaires de travail calés sur des rythmes de production industrielle qui synchronisaient l'ensemble de l'aire urbaine ont vécu. Aujourd'hui les demandes de la population se diversifient alors que les services, commerces et administrations conservent leurs rythmes antérieurs. Face à cette désynchronisation, de nouveaux services doivent être créés et l'offre de services adaptée à l'échelle pertinente de l'aire urbaine.

Quelques handicaps résultent de ces mutations et doivent être intégrés dans les démarches de redynamisation du territoire : une démographie à la baisse, des temps de parcours trop longs depuis les grandes métropoles, une image à revitaliser et un tertiaire insuffisant.

1.3. La mobilité, thème transversal du projet Aire urbaine

Avec la présence de grands groupes industriels des transports routier et ferroviaire, plus la configuration particulière du territoire et les pratiques quotidiennes qu'elle implique, la mobilité a été reconnue et définie comme un axe transversal de la Charte de développement de l'Aire urbaine.

De ce fait, toutes les études sur les déplacements sont dorénavant menées à l'échelle du territoire. Ainsi, en novembre 2004, le SMAU a lancé, en partenariat étroit avec l'Etat, une Enquête Ménages Déplacements (EMD), respectant la méthodologie nationale du CERTU, sur l'ensemble de son territoire. A travers cette démarche, il s'agit de mieux appréhender les enjeux de déplacements dans l'Aire urbaine et de mettre en oeuvre les politiques de déplacements les mieux adaptées aux nouveaux besoins de la population et au développement équilibré des territoires.

Chiffres clés de la mobilité dans l'Aire urbaine

1 160 000 déplacements quotidiens
 3.95 déplacements par personne
 2/3 des déplacements en voiture
 ¼ des déplacements à pied
 5 % en transports en commun
 1 % à vélo
 11 % d'immobiles

 15 % de déplacements pour le motif domicile-travail
 27 % de déplacements contraints (études, travail)
 51 % de déplacements pour les loisirs

Source : Syndicat Mixte de l'Aire Urbaine – 2005
 Enquête ménages déplacements

2. Une première application : la représentation des migrations quotidiennes

Etudier les migrations quotidiennes et chercher à en dégager les variations, nécessitent de traiter la masse d'informations que suggère le tableau précédent. Cela revient à la représenter, sans tenir compte des cheminements, afin de faire apparaître les échanges et les lieux occupés sur le territoire. Les solutions classiques étant insatisfaisantes, comme les exemples vont le montrer, deux propositions sont présentées : l'usage de la 3D, l'apport de l'animation enrichie par l'interactivité. Une approche des parcours individuels complétera cette première application.

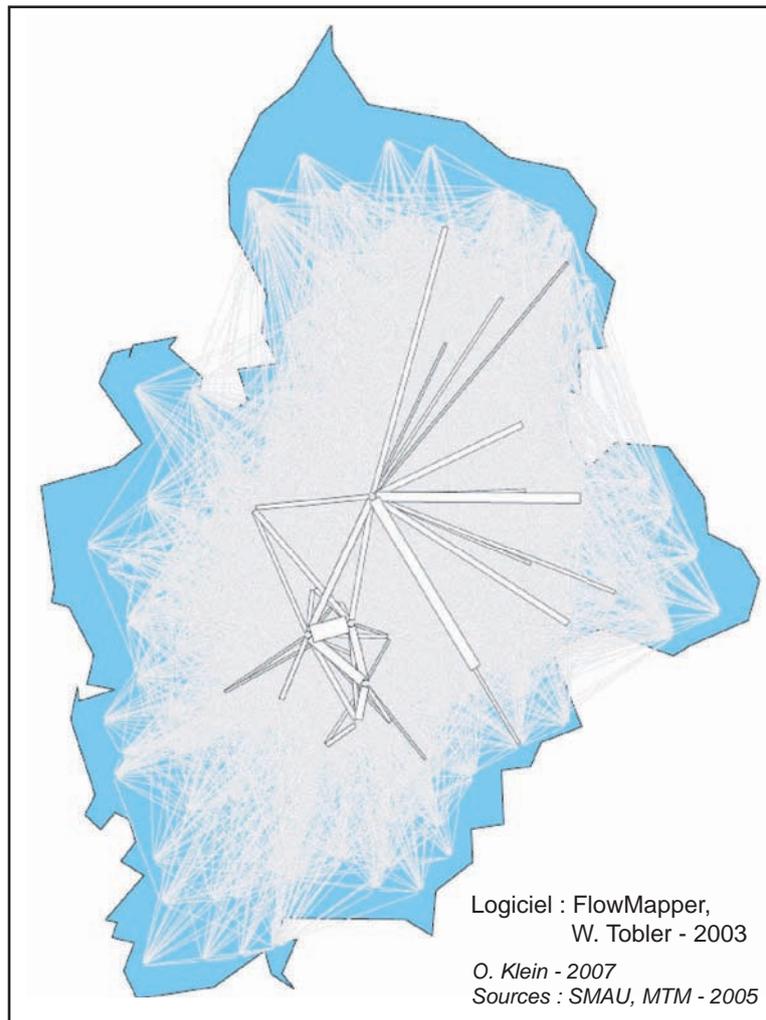
2.1. Cas des migrations domicile-travail

Les migrations domicile-travail intercommunales, dont les données sont élaborées par l'INSEE lors du recensement général de population, permettent d'appréhender une partie des flux quotidiens. Toutefois, du fait de l'absence conjointe de dimension temporelle et de précision spatiale (données de communes à communes), ces données ne peuvent être exploitées que pour disposer d'une vision globale et significative d'une partie de la dynamique d'un territoire.

Dans les bureaux d'études, l'intérêt porté aux migrations domicile-travail permet, de manière concrète et fonctionnelle, d'évaluer les échanges au sein d'un bassin de vie. Mais encore faut-il que les représentations cartographiques soient adaptées.

Si une approche classique de cartographie de report est retenue, sans sélection d'information, la représentation obtenue n'a que peu d'intérêt ; tout au plus, elle n'apporte qu'une confusion au lecteur, car un grand nombre de flux de très faible importance perturbe la communication graphique (Figure 3.71). Or, le lecteur d'une carte ne consacre généralement

**Figure 3.71 – Représentation classique
des migrations domicile-travail**



qu'un budget-temps limité à la lecture de l'image graphique, déterminé par son intérêt et sa lassitude (Rimbert, 1968).

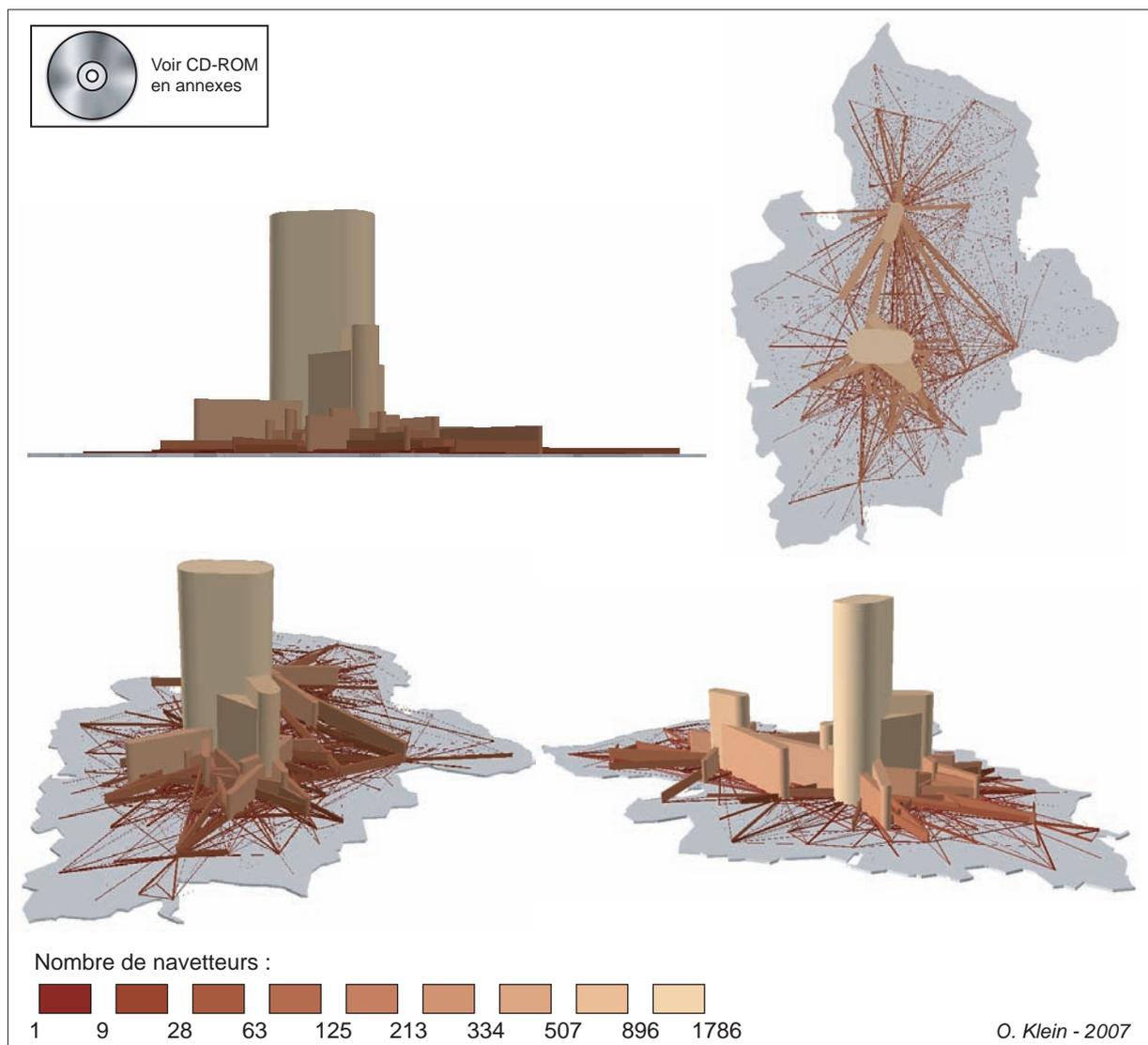
Cet exemple des migrations domicile-travail possède quelques valeurs extrêmes ayant un poids prédominant dans l'ensemble des échanges quotidiens. Aussi, faire appel à des méthodes de discrétisation s'avère inefficace. En effet, aucune méthode classique ne permet, semble-t-il, de tenir compte de manière pertinente d'un tel cas de figure, pourtant courant, malgré quelques indicateurs qui aident à choisir la méthode la moins mauvaise (Jenks et Coulson, 1963), les découpages sont souvent arbitraires et certaines limites de classes discutables. La solution de produire des cartes utilisant la variable visuelle « valeur », sans découpage en classes (Tobler, 1973, Muller 2002) avec des niveaux de valeurs continus sans discrétisation n'apporte pas non plus de solution satisfaisante du fait des trop nombreuses superpositions des flux.

2.1.1. La 3D pour accentuer et mieux percevoir les contrastes

La première solution envisagée pour résoudre ce problème consiste à faire subir aux flux une transformation dans une autre dimension que celle du plan (XY), en Z. Cette troisième dimension permet de transformer les éléments linéaires matérialisant les échanges en un volume, utilisant ainsi la hauteur Z à la manière d'une variable visuelle équivalente à la taille.

Les deux problèmes précédemment identifiés – surabondance de données et discrétisations inadéquates – peuvent être ainsi résolus. En trois dimensions, l'étape de discrétisation peut assez aisément être mise à l'écart puisque les variables sont alors représentées sans classes, en volume, avec une hauteur proportionnelle à leur valeur thématique, de manière continue (et non discrète). Pour autant, les propriétés des données sont conservées : l'ordre de grandeur, la distribution, la dispersion, et les cas particuliers associés à la variable représentée restent lisibles sur la carte. Pour préserver une vision d'ensemble, l'intégration de la 3D apporte une alternative intéressante et adaptée. Alors que l'ensemble

Figure 3.72 – La 3D, une solution pour faciliter la lecture



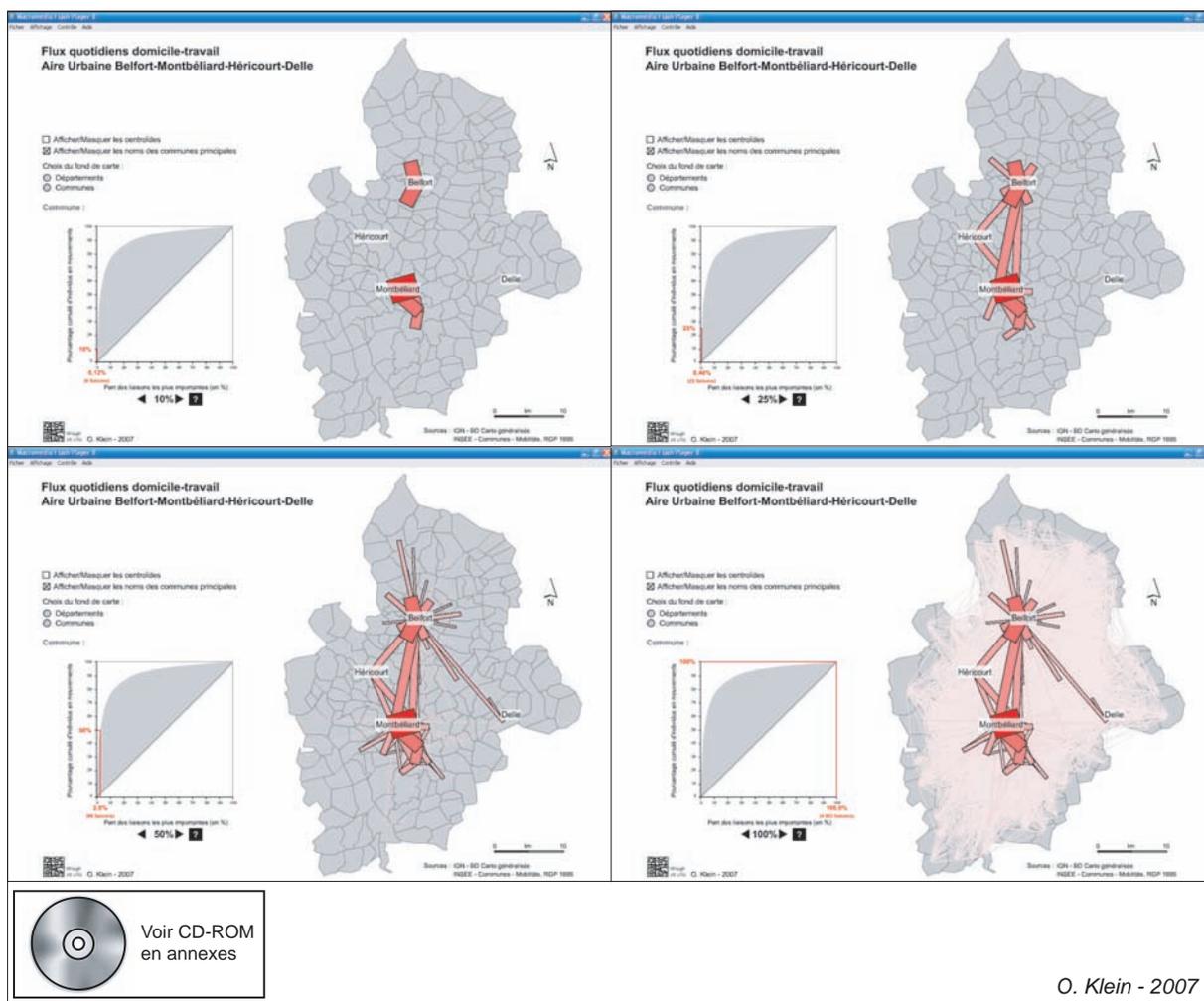
de l'information est conservée sur la carte, l'extrusion des flux selon leur importance permet d'introduire un contraste entre les valeurs les plus significatives et les valeurs mineures.

En ajoutant les possibilités de navigation, de telles représentations permettent de se déplacer dans l'espace virtuel afin de se focaliser sur un espace spécifique ou sur un point particulier à développer dans une étude. Ainsi, pour un gestionnaire de zone d'activités, ce type de représentation permet de disposer des premiers éléments significatifs sur l'origine résidentielle de ses employés, préalable intéressant pour une enquête destinée à la mise en place d'un plan de déplacement d'entreprise.

2.1.2. L'animation pour interagir avec les données

L'animation et l'interactivité offrent une seconde solution à ce problème de surabondance d'informations. En laissant au lecteur la liberté de choisir la quantité d'information à représenter, le cartographe lui transmet la responsabilité de retenir la bonne option, compte tenu de ses connaissances de la thématique (figure 3.73).

Figure 3.73 – L'interactivité, une solution pour choisir les données à représenter



L'interactivité permet également d'envisager une hiérarchie dans les flux en séparant les plus importants des suivants, tout en indiquant le poids de ces liaisons par rapport au total des mouvements de la zone considérée.

2.2. Une vision globale des mouvements quotidiens

Contrairement à l'approche précédente, dans laquelle le flux était envisagé dans sa masse – une quantité en mouvement entre communes – et selon une seule catégorie de mouvements – domicile-travail, nous envisageons, à présent, d'une part une approche davantage centré sur l'individu, et d'autre part, une approche plus globale montrant les variations d'occupation du territoire.

2.2.1. Des parcours individuels...

L'intérêt pour les parcours individuels qui repose sur les travaux de la Time Geography, permet d'étudier les territoires de vie quotidienne de ménages pris isolément ou de groupes d'individus. Elle permet de travailler sur l'enchaînement des chaînes d'activités, tout essayant de voir si l'offre en transport conduit à des chaînes de déplacements facilités (figure 3.74). Par conséquent, cette approche est destinée en priorité à des gestionnaires de transports cherchant à adapter leur réseau aux nouvelles pratiques de mobilité, plus complexes et plus contraignantes.

2.2.2. ...à l'approche globale et synoptique de l'ensemble du territoire

A l'opposé de l'approche microscopique des parcours individuels, une approche macroscopique peut être envisagée afin de connaître l'occupation réelle de l'espace par les habitants d'un territoire donné. Par cette approche, nous cherchons à dépasser les démarches classiques ne reflétant pas les dynamiques urbaines et ne proposant qu'une vision réductrice de la ville, celle qui dort, habitée par l'« homo dormiens », l'amputant ainsi d'une grande partie de ses composantes (figure 3.75).

Destiné à des aménageurs, ce type de cartographie permet de centrer les démarches d'aménagement sur des espaces et des temps spécifiques, notamment au moyen d'une visualisation spatio-temporelle dynamique, visualisant alors l'occupation réelle de l'espace sur des zones spécifiques : centre-ville, sortie d'usine, services administratifs, équipement culturels...

Figure 3.74 – Parcours quotidiens individuels

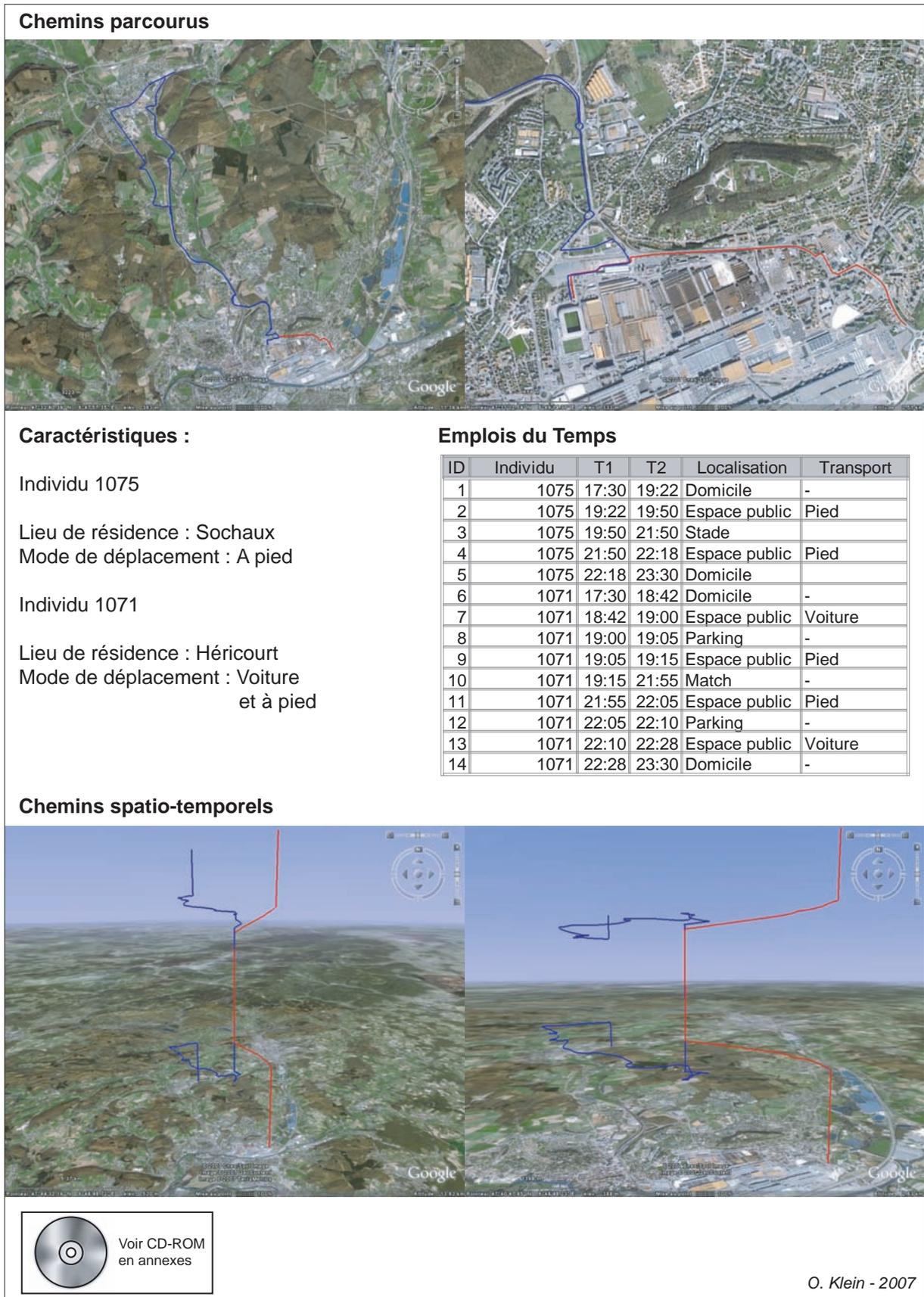


Figure 3.75 – Une vision globale de la dynamique quotidienne

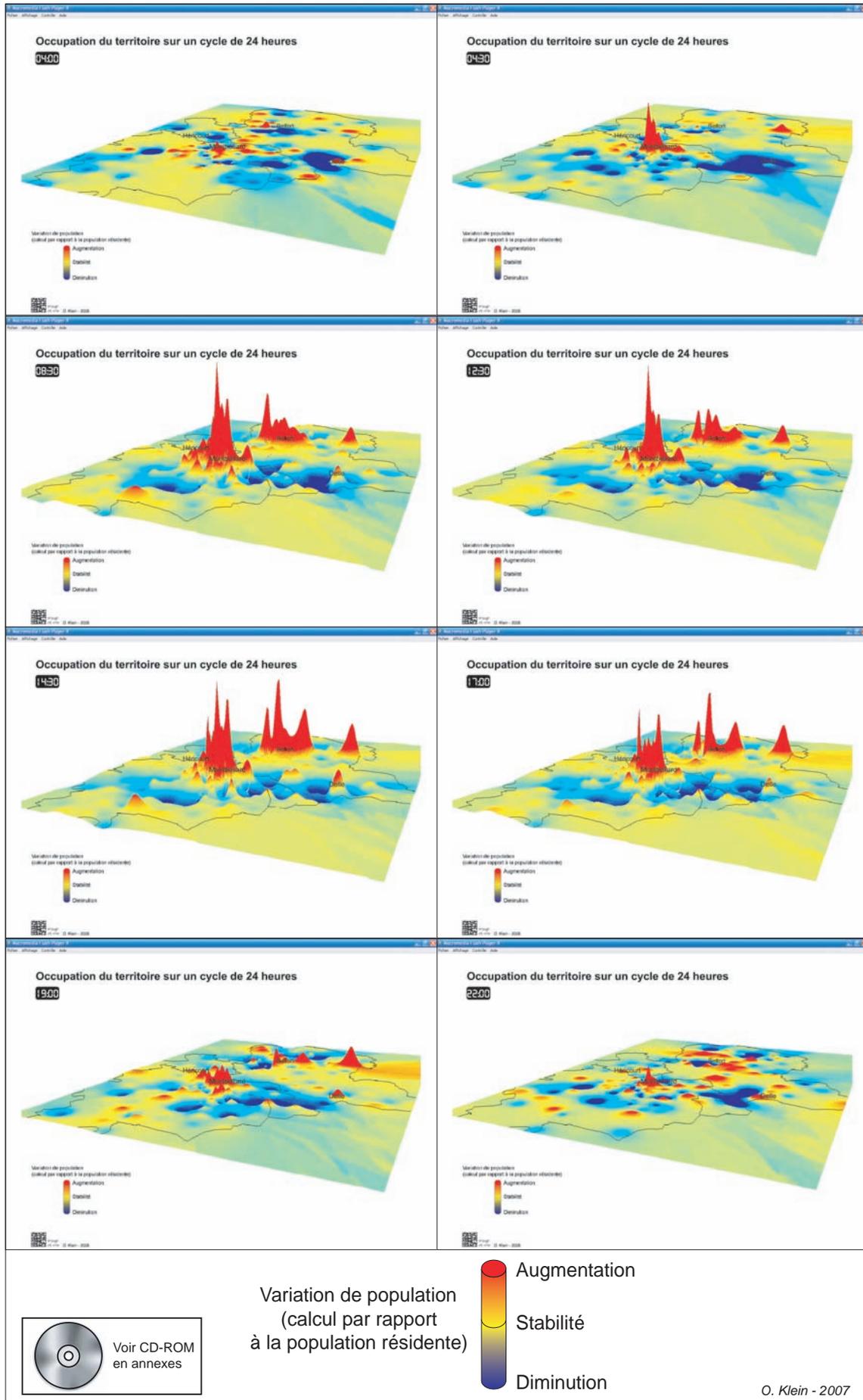
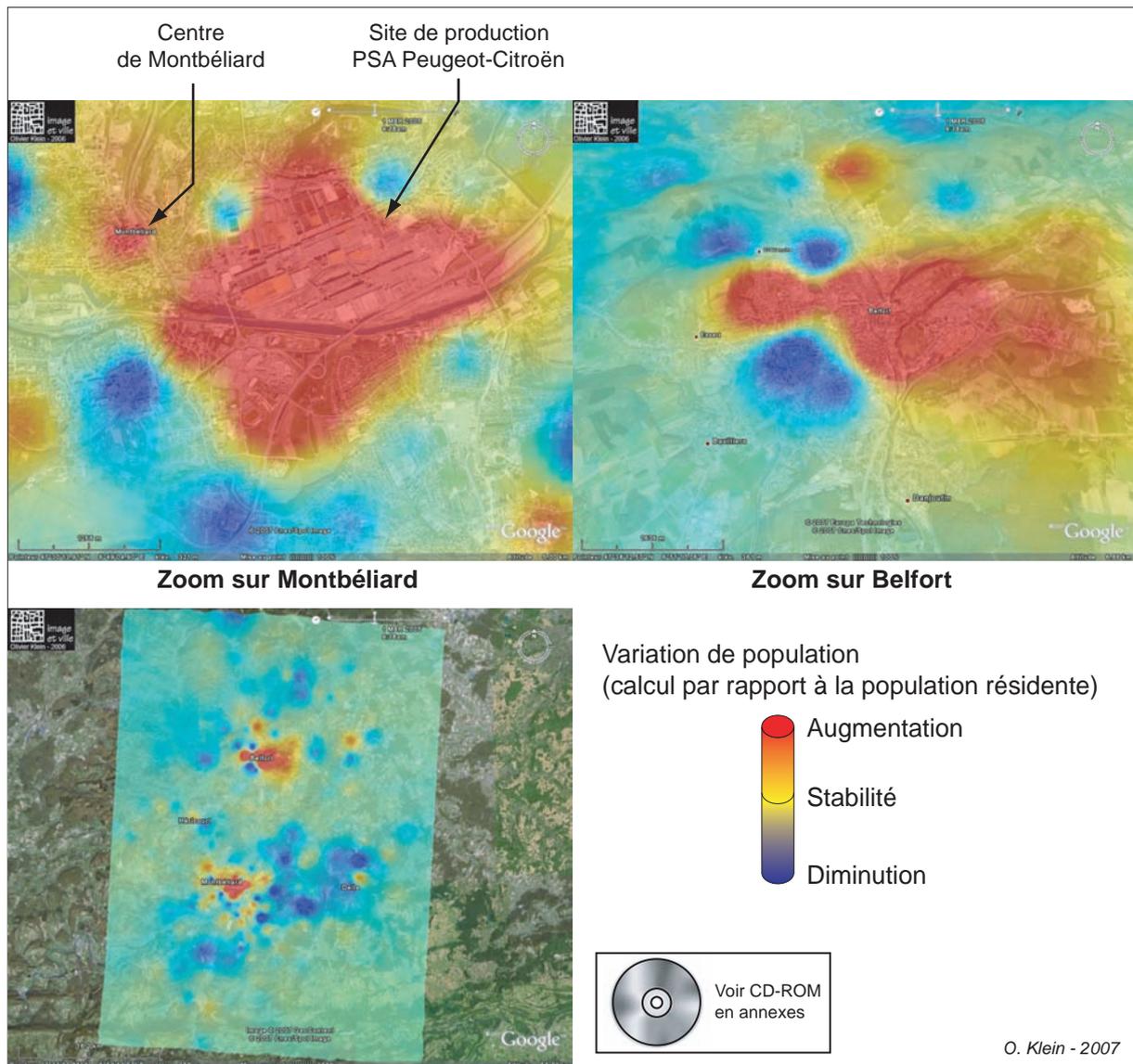


Figure 3.76 – Une visualisation multi-échelle fonction de la nature de la nature des problématiques



3. Une deuxième application concernant une mobilité originale, la mobilité événementielle

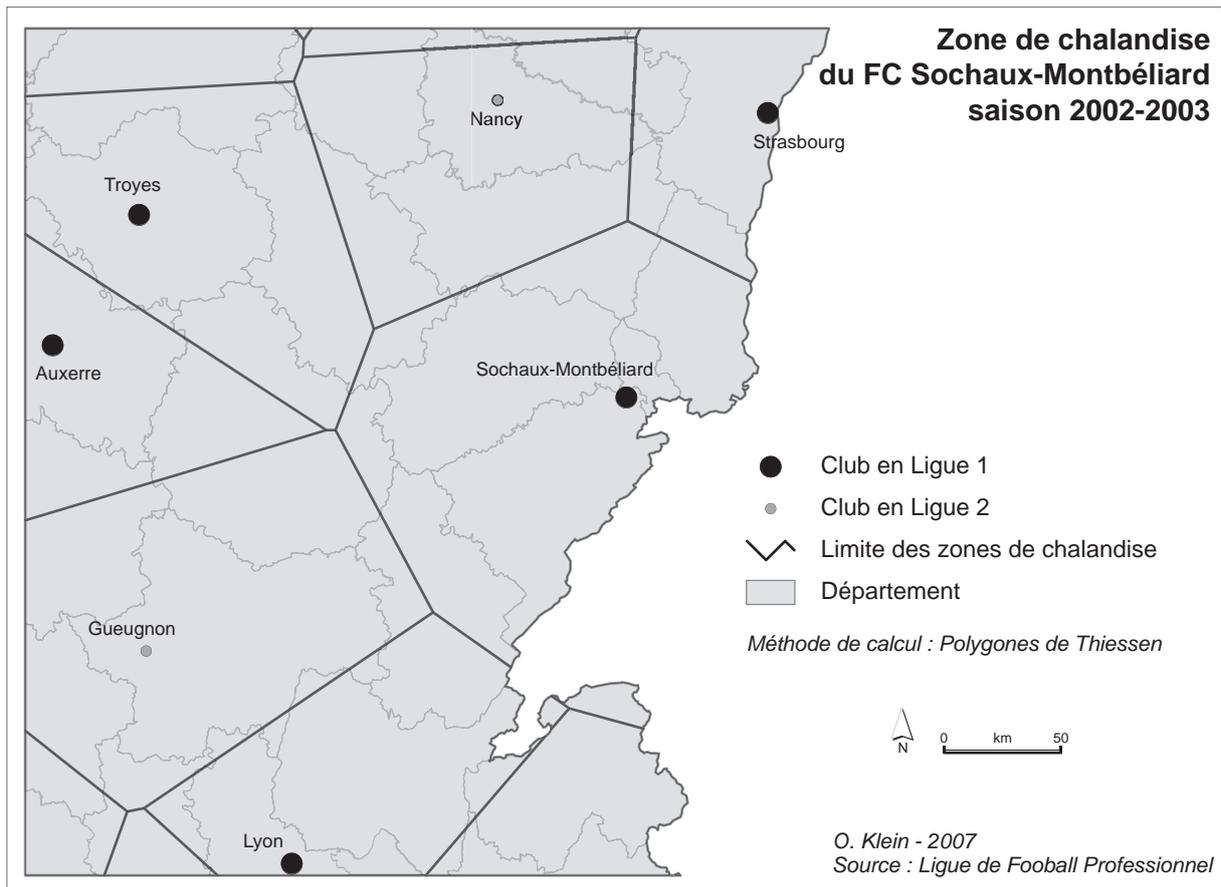
Cette seconde application va avancer des solutions à un problème de mobilité qui se développe et qui a des conséquences importantes sur la circulation, quel que soit l'événement en cause. En effet, depuis une vingtaine d'années, le nombre de manifestations, de festivals et d'autres types de rassemblements à caractère exceptionnel se multiplie. La ville devient de plus en plus souvent le support et le théâtre d'événements qui, de toute évidence, génèrent des mouvements qui se greffent sur les habituels flux quotidiens des agglomérations.

Dans une logique d'observation et d'analyse de ces flux, il est donc primordial de modéliser et d'observer l'impact spatial de tels phénomènes éphémères afin de disposer d'une

vision spatio-temporelle de l'attractivité de l'événement au cœur d'une aire urbaine telle le nord France-Comté.

Or, ces événements ont une attractivité très importante et engendrent une mobilité à plus longue distance. Dans le cas du football, la zone de chalandise du FC Sochaux-Montbéliard s'étend du centre de l'Alsace (région de Colmar) jusqu'au Jura.

Figure 3.77 – Zone de chalandise du FC Sochaux-Montbéliard



Ces événements jouent des rôles clés impliquant l'ensemble de la ville tandis que la société actuelle est habituellement marquée par la grande flexibilité et l'individualisation des emplois du temps. Les événements urbains, véritables temps forts de la cité, jouent alors le rôle d'éléments re-synchronisateur en permettant à des personnes vivant à des rythmes différents de se croiser, de partager et de vivre en commun un événement qui nécessite d'être présent ensemble à un même endroit (site de l'événement) pendant un même moment (durée de l'événement).

Les événements urbains ont pour conséquence sur la ville et son environnement des flux exceptionnels et une organisation temporaire (Liadat, 2004). Les concentrations de flux exceptionnels de personnes et de marchandises dans l'espace et dans le temps, sont les conséquences des événements urbains quelle que soit la nature de manifestation. Ces événements posent des problèmes spécifiques complexes identifiés par P. Bovy et al. (2003) et également présents sur l'aire urbaine Belfort-Montbéliard :

- convergence de flux très denses de spectateurs ou de visiteurs ;
- concentration temporelle de flux donnant des « hyperpointes » de trafic automobile, de transport collectif et de piétons aux abords du site de la manifestation ;
- superposition de ces flux exceptionnels aux flux quotidiens déjà denses dans les centres urbains ;
- forte proportion de trajets inhabituels impliquant des problèmes de repérage et d'accessibilité.

Le cas des migrations liées à des rencontres sportives possède deux caractéristiques particulières. Bien qu'étant un événement variable dans le temps, et donc à rythmicité mouvante, un certain nombre de rencontres se produisent dans le même lieu au cours d'une année (une vingtaine de fois par an pour le match de football). De ce fait, on pourra distinguer différentes populations fréquentant le stade : les fidèles, habitués ou abonnés, et les non-habitués ou occasionnels qui vont avoir des stratégies de déplacement différentes. Ainsi, le non-habitué se laissera souvent surprendre par des congestions de trafics à des moments inattendus (une autoroute saturée un samedi soir par exemple).

3.1. De la fourmilière urbaine...

La visualisation de points mobiles représentant les déplacements des individus produit une vision globale de l'impact d'un événement sur le territoire considéré. Ainsi, en se concentrant sur certaines zones clés, des problèmes de congestion sur certains échangeurs ou axes routiers, des problèmes de stationnement peuvent être identifiés. Les gestionnaires de l'événement disposent ainsi d'une connaissance des pratiques des spectateurs, peuvent envisager de mettre en place des solutions de transports en commun ou de parkings relais sur des zones plus éloignées du lieu de l'événement.

3.2. ...à l'analyse exploratoire des données

En combinant cette approche à d'autres éléments statiques (graphiques temporels, ellipses de variabilité...), les points de blocage dans l'espace et dans le temps peuvent être mieux cernés. Dans le cas du football si l'avant-match ne pose pas trop de problèmes avec des arrivées échelonnées dans le temps sur plus de 2 heures, l'après-match est très problématique puisque toute la foule reprend la route, essentiellement en voiture, en moins d'un quart d'heure (figure 3.78 et 3.79).

Figure 3.78 – Visualiser un avant-match à Bonal

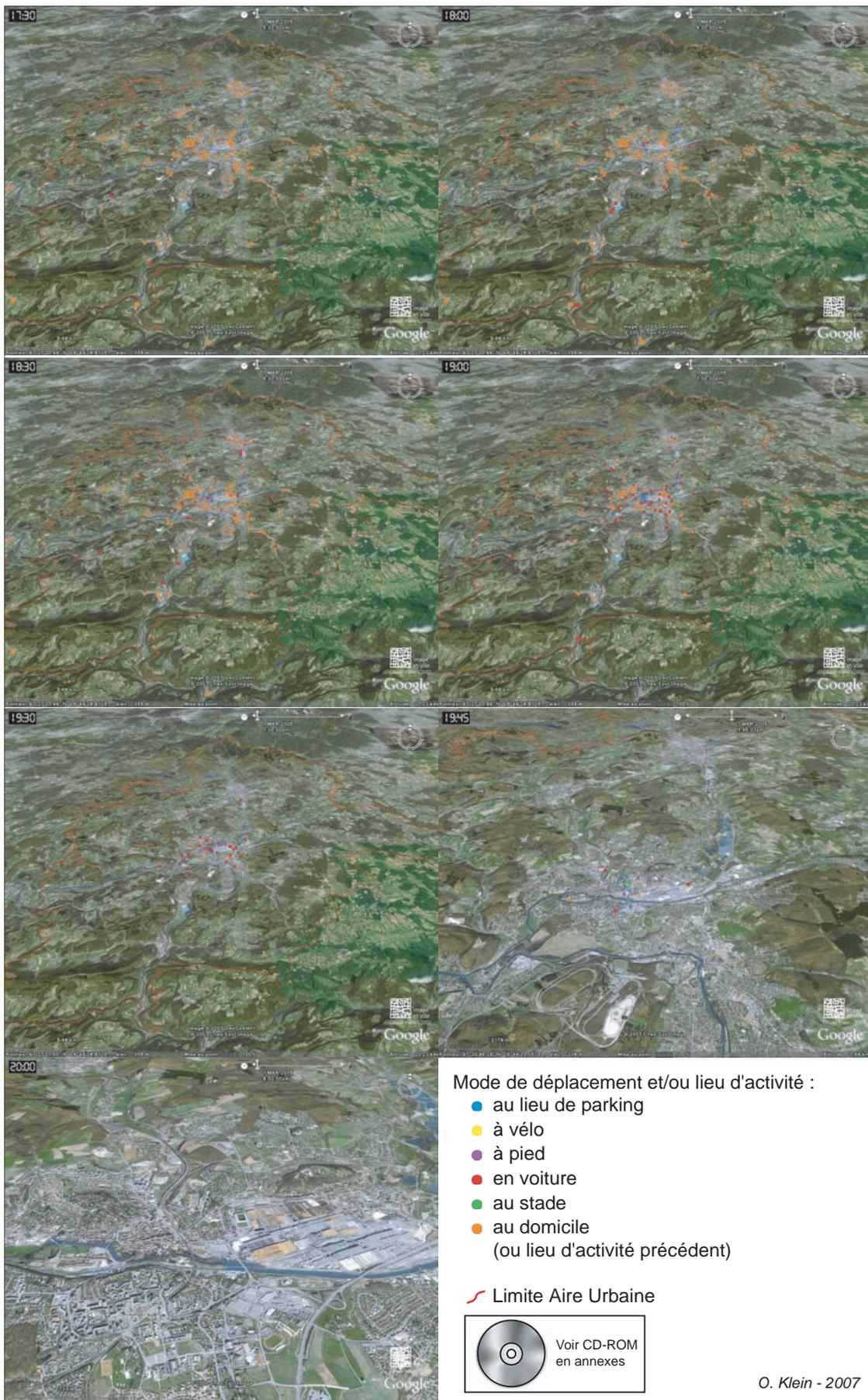


Figure 3.79 – Visualiser un après-match à Bonal

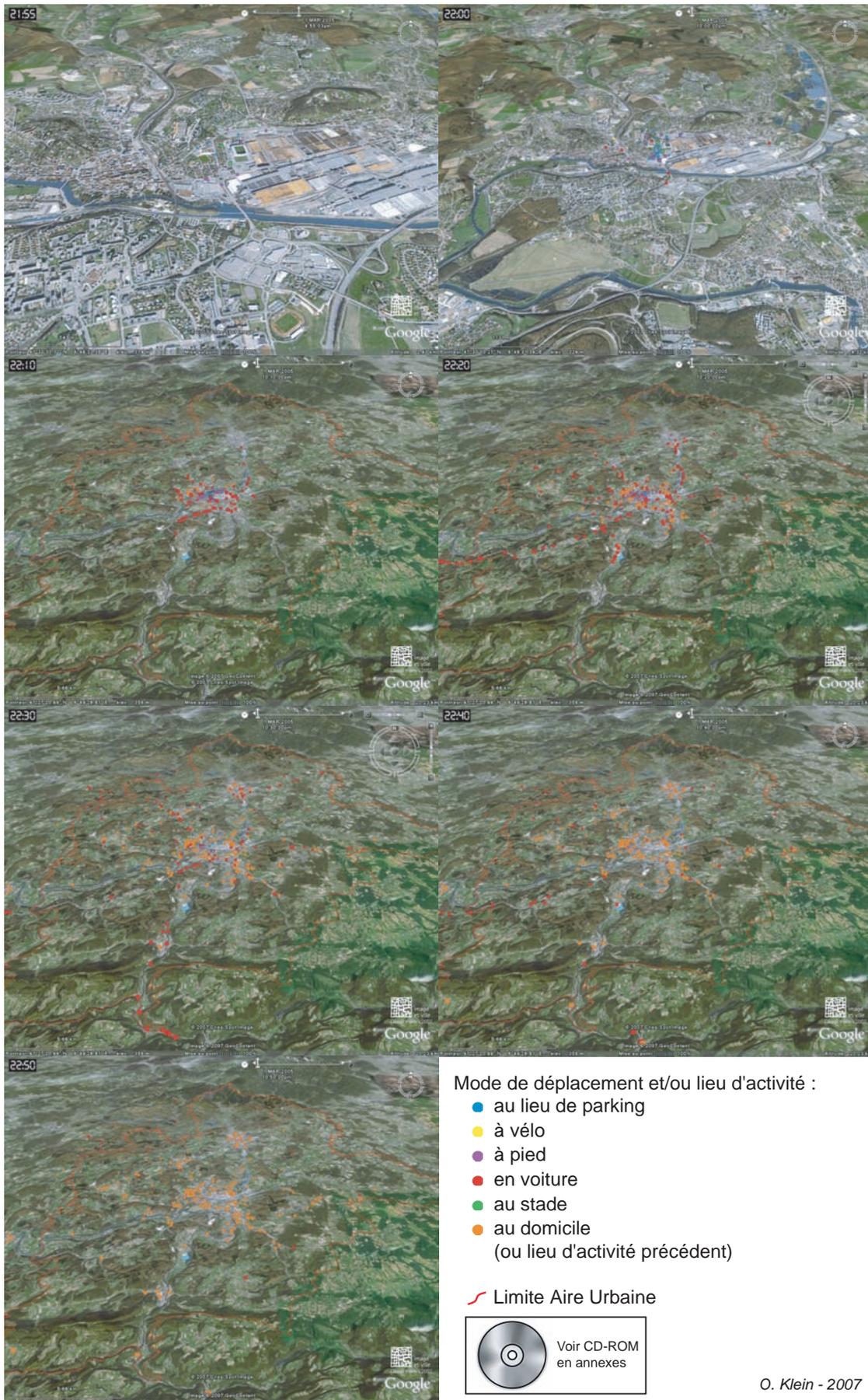
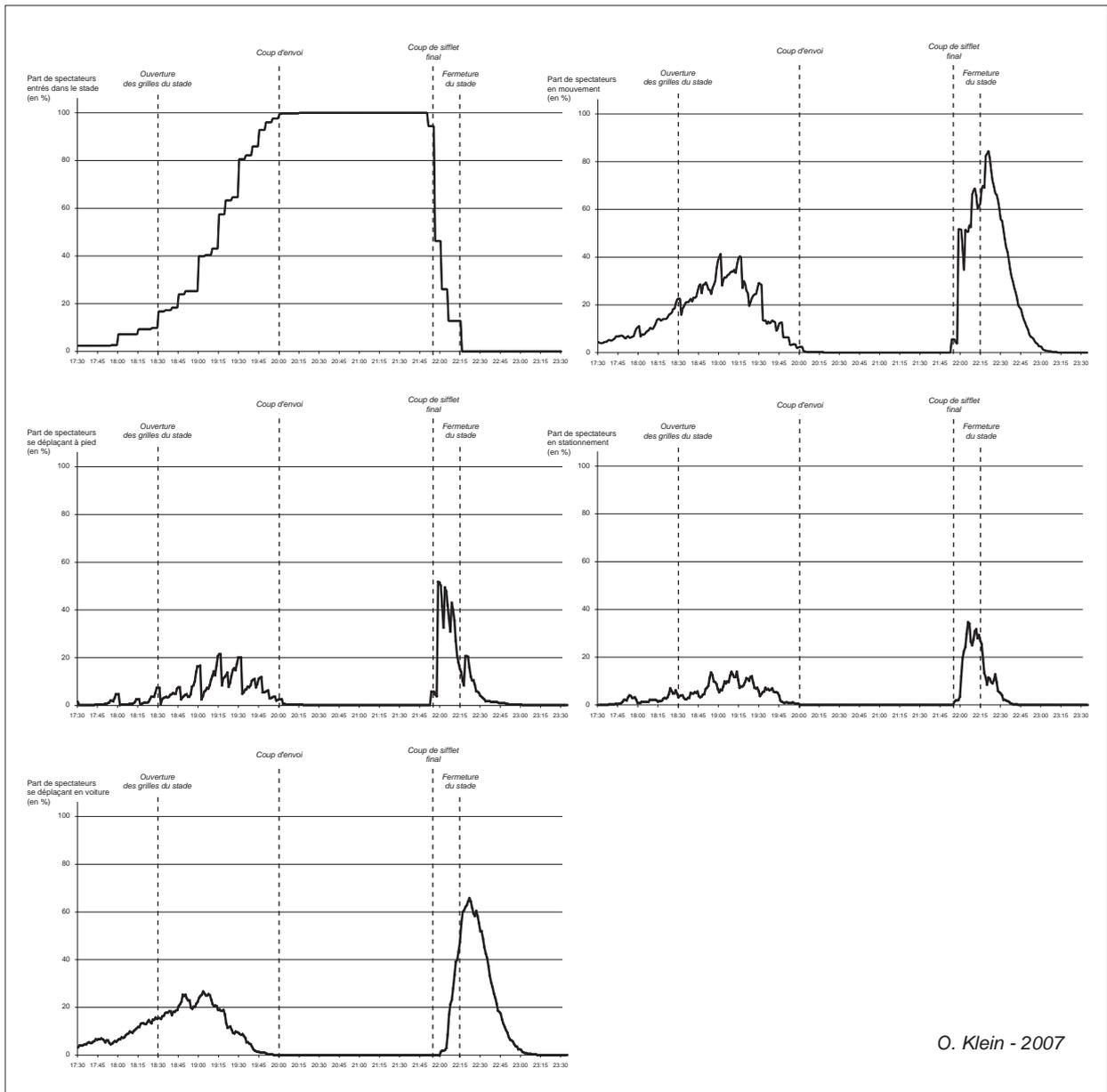


Figure 3.80 – Visualisation temporelle d'un match à Bonal



Avec ce second exemple, on voit clairement comment la visualisation peut aider les gestionnaires des flux, que ce soit pour un événement ponctuel comme un match de football, ou un événement répétitif comme des départs en vacances. La vision d'ensemble qui permet de voir les masses, les points de blocage, est complétée par des graphiques analytiques qui autorisent la prise de décision avec des arguments concrets.

Conclusion

Dans cette dernière partie, nous avons cherché à proposer des solutions graphiques et cartographiques pour mieux prendre en compte les données de mobilité quotidienne. Diverses solutions ont été proposées pour mieux comprendre et mieux communiquer le phénomène étudié.

En définitive, deux dimensions essentielles de la démarche peuvent être mises en évidence lors de la représentation des données de mobilité quotidienne. Une dimension exploratoire d'abord, caractérisée par la réflexion et la construction visuelle où le chercheur interroge la base de données spatio-temporelle préalablement établie (Partie 2) pour tenter de révéler des structures spatiales sous-jacentes par la visualisation d'états et de processus. Une dimension de transmission de l'information, ensuite, communication visuelle – dont le rôle est davantage explicatif avec la volonté d'adapter le produit cartographique au public visé avec des objectifs variés comme l'aide à la décision ou la concertation entre acteurs. Ces deux composantes de l'étape de visualisation des données géographiques impliquent deux temps distincts lors de l'élaboration des produits cartographiques (Figure 3.81) avec d'une part un domaine propre au chercheur et d'autre part un domaine du public, qui se retrouvent au cœur de la démarche globale (Figure 3.82).

Figure 3.81 – De la construction à la communication visuelle

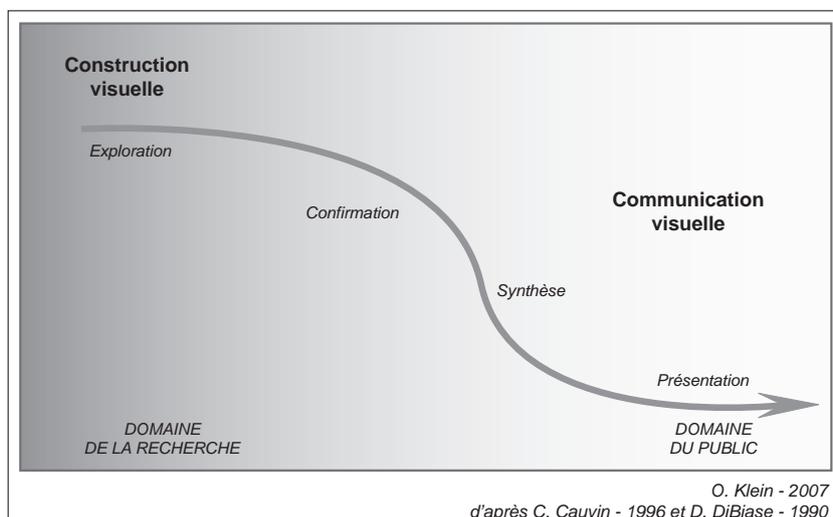
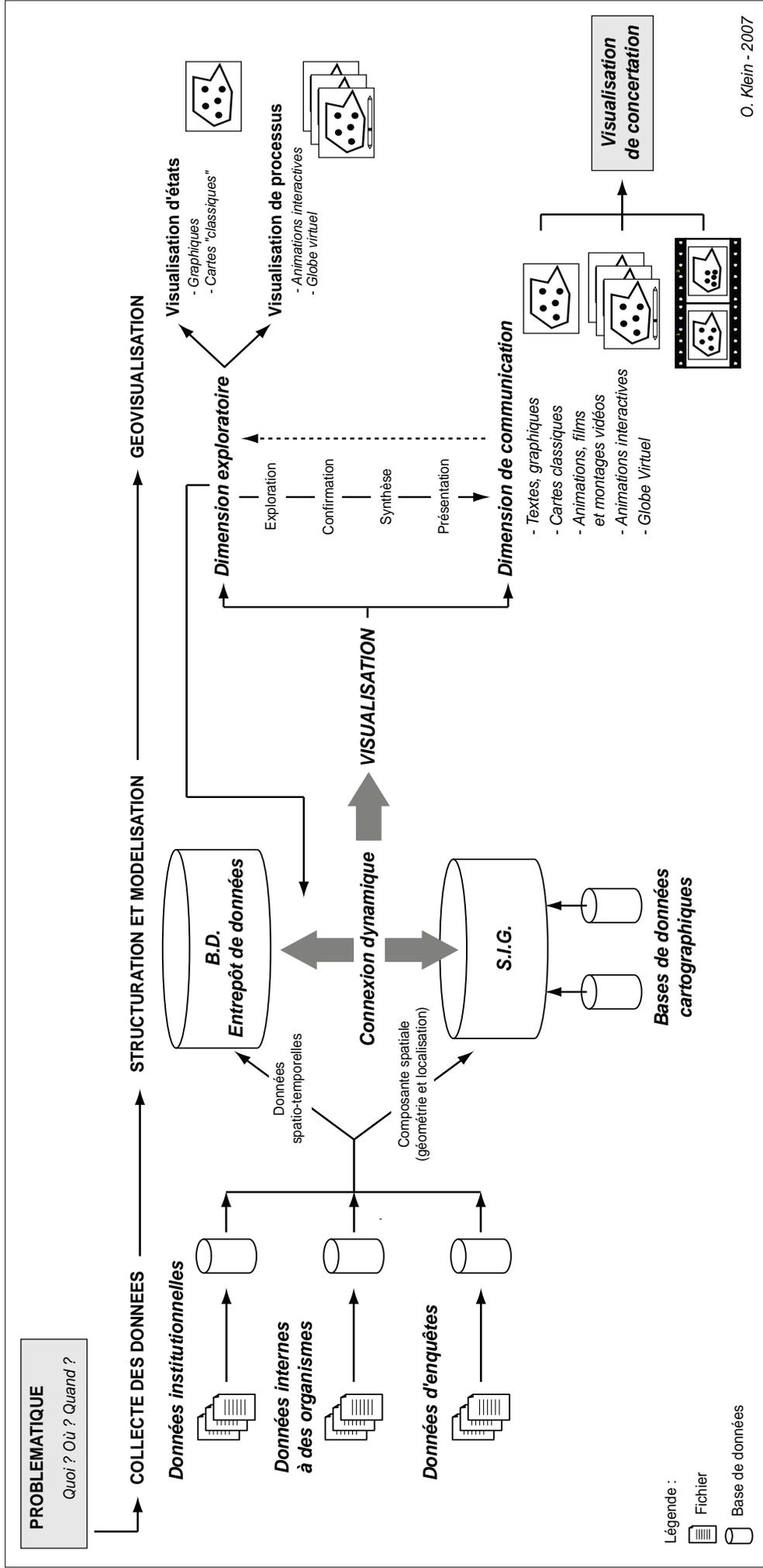


Figure 3.82 – Schéma général complet de la démarche



Conclusion générale

Dans cette thèse, nous nous sommes attaché à mettre au point une démarche destinée aux acteurs politiques afin qu'ils puissent prendre des décisions d'aménagement cohérentes et adaptées aux problèmes à résoudre. Cette démarche est centrée sur un outil, la carte – ou, de manière plus générale, l'image – afin qu'échanges, dialogues et concertation s'effectuent concrètement et aisément. Appliquée dans cette étude aux thématiques liées aux nouveaux rythmes urbains et à leurs conséquences sur la mobilité quotidienne, la méthodologie proposée ici se veut très souple et adaptable à toutes les catégories d'acteurs : de la mise en place, par un industriel, d'un Plan de Déplacement d'Entreprise pour ses salariés, à une collectivité dans le cadre des déplacements urbains ou, plus ponctuellement, à une entité génératrice de flux exceptionnels comme lors des rencontres sportives.

L'image est au cœur de cette recherche qui, grâce aux apports des nouvelles technologies, multiplie les types de représentations, les diversifie en fonction de la précision de la demande et des acteurs concernés. Pourtant, accroître la variété des produits cartographiques ne suffit pas à répondre aux besoins des gestionnaires urbains.

En effet, l'approche des mobilités quotidiennes souffre de lacunes en données pertinentes et adaptées ; hormis de rares exceptions, des enquêtes complémentaires, lourdes à mettre en place, sont indispensables avant de disposer de données permettant la construction des images souhaitées.

De plus, lorsqu'elles existent, bien souvent, ces données ne sont pas structurées pour traiter la composante temporelle et leur exploitation s'avère complexe : combinant les dimensions espace, temps et thème, la structuration de données sur les mobilités

quotidiennes nécessite des connaissances informatiques en gestion de données qui ne sont pas nécessairement présentes au sein des bureaux d'études ou des organismes concernés.

Aussi, compte tenu des insuffisances au niveau des données (absence, non-disponibilité, structuration incomplète), avons nous élargi la recherche de manière à ce qu'aucune étape de la démarche ne puisse gêner ou interrompre la mise en oeuvre des propositions émises.

Pour lever le premier verrou, les données à construire ont été précisément décrites, afin de mettre en place des enquêtes permettant l'appréhension des mobilités quotidiennes tant d'un point de vue macroscopique que microscopique. Lorsque les données ne peuvent être collectées par enquête, une solution alternative a été mise au point : elles sont alors complétées par approximation à l'aide d'une part de règles de « probabilité d'appartenance » à certaines zones pour affiner la localisation des individus, d'autre part d'une modélisation des chemins parcourus si ce sont leurs trajectoires que l'on cherche à appréhender.

Dans un deuxième temps, un modèle conceptuel de données relativement général a été développé permettant d'organiser selon les besoins les différentes composantes spatiales, thématiques et temporelles présentes dans les données. Toutefois, il est pour le moment délicat, voire impossible à notre connaissance, de proposer un modèle général et adaptable à tous les besoins. Selon les cas de figure, il devra toujours être modifié en fonction des exigences et nécessitera l'intervention d'un technicien qualifié dans le domaine pour procéder aux ajustements.

Le troisième point concerne le cœur du projet de cette thèse sur un plan conceptuel : une approche théorique de la visualisation des données de mouvement a été développée, en intégrant, chaque fois que cela a été possible, les innovations informatiques les plus récentes, comme *GoogleEarth*.

Enfin, après avoir fait état des nouvelles formes de cartographie disponibles et des changements qu'elles induisent, nous avons intégré l'ensemble dans une phase plus opérationnelle avec une proposition de démarche concertée faisant appel à un prototype d'outil d'aide à la décision construit par nos soins.

Cette approche comprend donc une amélioration des données à utiliser, une structuration intégrant le temps, une réflexion théorique sur la visualisation et une application avec un prototype opérationnel. Elle est construite selon un raisonnement global, et la démarche proposée est reproductible et applicable à d'autres secteurs géographiques et d'autres thématiques.

Afin que cette démarche atteigne sa pleine utilité dans l'avenir, elle devrait être testée auprès des utilisateurs potentiels avec diverses orientations. Elle peut ainsi constituer, entre autres :

- un *outil de diagnostic* du territoire pour alimenter des tableaux de bord d'observatoires ;
- un *outil d'aide à la décision* au service des aménageurs notamment dans la mise en place de plans de déplacements ;
- un *outil de dialogue* dans la mise en place d'une démarche participative impliquant l'ensemble des acteurs du territoire, provenant d'horizons variés, c'est-à-dire aussi bien des élus que des techniciens ou de simples habitants.

Une fois la validité de la démarche testée auprès d'utilisateurs d'horizons multiples, les diverses applications possibles permettront de l'enrichir d'un point de vue aussi bien théorique – en intégrant de nouvelles formes de modélisation – que pratique – en appliquant la visualisation de l'information à d'autres données, intégrables dans le système d'information.

De la sorte, affiner la modélisation des déplacements en intégrant des conditions de déplacements et de trafics plus réalistes pourrait être une des voies principales d'approfondissement ultérieur de cette recherche. Une autre possibilité pourrait consister à intégrer dans la démarche les principes des SMA (Systèmes Multi-Agents) afin d'introduire des processus de décisions lors des déplacements des individus étudiés et, ainsi, simuler, par exemple, les conséquences de la modification d'infrastructures (suppression, déviation, limitation...) ou de la mise en place de nouveaux services de mobilité (comme de nouveaux services de transports en commun, du co-voiturage, de l'auto-partage ou des vélos en libre-service).

Au-delà de l'outil d'aide à la décision, cette démarche fondée sur l'image est une alternative aux approches classiques, grâce notamment à l'animation et à l'interactivité. De cette manière, elle permet une visualisation différente du fonctionnement quotidien de la ville. En effet, face aux nouvelles temporalités dictées par les changements dans les rythmes de travail, il est indispensable, aujourd'hui, pour les géographes et aménageurs de disposer d'outils permettant de porter un nouveau regard sur la ville.

Bibliographie

- Allen J. F., 1983, « Maintaining Knowledge about Temporal Intervals ». *Communications of the ACM*, vol. 26, n°11, November 1983, pp. 832-843.
- Andrienko G. L., Andrienko N. V., 1999, « Interactive Maps for Visual Data Exploration ». *International Journal of Geographic Information Science*, vol. 13, n°4, pp. 355-374.
- Antoni J.P., Klein O., 2003, « L'animation d'anamorphoses. Un atout pour la communication en cartographie ». In Josselin D., Fabrikant S. (coord.), « Cartographie animée et interactive », *Revue Internationale de Géomatique*, vol. 13, n°1/2003, pp. 81-92.
- Antoni J.P., Klein O., Moisy S., 2004, « Cartographie interactive et multimédia : vers une aide à la réflexion géographique ». *Cybergéo : Revue européenne de Géographie*, n°288, 21 octobre 2004, 16 p.
- Armoogum J., Castaigne M., Hubert J.P., Madre J.L., 2005, « Immobilité et mobilité observées à travers les enquêtes ménages de transport ou d'emploi du temps ». *Actes des Journées de méthodologie statistique*, INSEE, Paris, 13 p.
- Armstrong M. P., 1988, « Temporality in spatial databases ». *Proceedings of GIS/LIS'88*, vol. 2, pp. 880-889.
- Ascher F., 2004, « Les sens du mouvement : modernités et mobilités ». In Allemand S., Ascher F., Lévy J., *Les sens du mouvement*. Belin, pp. 21-34.
- Ascher F., Godard F., 2003, *Modernité : la nouvelle carte du temps*. Collection bibliothèque des territoires, Editions de l'Aube – DATAR, 262 p.
- Axhausen K. W., Köll H., Bader M., Henry M., 1997, « Workload response rate and data yield : experiments with long distances diaries ». *76th annual TRB meeting*, pp. 29-40.
- Axhausen K., 2002, « A dynamic understanding of travel demand. A sketch ». *ESRC mobile network workshop*, Cambridge.
- Bailly J.P., Heurgon E., 2001, *Nouveaux rythmes urbains. Quels transports ?* Editions de l'Aube, 224 p.
- Banos A., 2006, « A la conquête de la fourmilière urbaine : quand le géographe se fait explorateur de mondes artificiels ». *Actes du Festival International de Géographie de Saint-Dié-des-Vosges*, 11 p.
- Banos A., Chardonnel S., Lang C., Marilleau N., Thévenin T., 2005, « Modéliser et simuler la fourmilière urbaine par les systèmes multi-agents ». *Actes du colloque SAGEO*, Avignon, 21-23 juin 2005, 15 p.

- Barreau H., 1996, *Le temps*. Que sais-je ?, n°3180, Presses Universitaires de France, 128 p.
- Beguïn M., Pumain D., 1994, *La représentation des données géographiques. Statistique et cartographie*. Armand Colin, 192 p.
- Bellman R., 1958, « On a routing problem ». *Quarterly of Applied Mathematics*, vol. 16, n°1, pp. 87-90.
- Berthet V., Royan C., 2001-2002, « Un enjeu d'urbanité ». *Economie et Humanisme*, n° 359, décembre-janvier, pp. 6-8.
- Bertin J., 1967, *Sémiologie graphique*. Gauthier Villars et Mouton, 431 p.
- Bertin J., 2005, *Sémiologie graphique. Les diagrammes, les réseaux, les cartes*. 4e édition, Editions de l'École des Hautes Etudes en Sciences Sociales. 452 p.
- Black J., 2004, *Regards sur le monde. Une histoire des cartes*. Octopus, Hachette, 176 p.
- Boulour A., Dekeyser L. J., 1983, « Abstractions in temporal information ». *Information Systems*, vol. 8, n°1, pp. 41-49
- Brohm M., 1993, *Les meutes sportives : critique de la domination*. L'Harmattan, 575 p.
- Bromberger C., 1989, « Le stade de football : une carte de la ville en réduction ». *Mappemonde*, n°2, pp. 37-40.
- Bromberger C., 1995, *Le match de football – Ethnologie d'une passion partisane*. Maison des Sciences de l'Homme, Paris, 406 p.
- Bromberger C., 1998, *Football, la bagatelle la plus sérieuse du monde*. Collection Agora, Bayard Editions, 127 p.
- Brunet R., Ferras R., Théry H. (dir.), 1992, *Les mots de la géographie. Dictionnaire critique*. Collection Dynamique des Territoires, Reclus – La documentation française, 518 p.
- Brunet R., 1987, *La carte : mode d'emploi*. Fayard/Reclus, 270 p.
- Caquard S., 1998, « La cartographie sur Internet – Eléments de réflexions à travers quelques sites ». *Netcom*, vol. 12, n°1/2-1998, pp. 349-357.

- Caquard S., 2001, *Des cartes multimédias dans le débat public. Pour une nouvelle conception de la cartographie appliquée à la gestion de l'eau*. Thèse de doctorat, UFR de Géographie, Université Jean Monnet, Saint-Etienne, 277 p.
- Cartwright W., 1997, « Multimédia interactifs et nouveaux produits de cartographie ». *Numéro spécial Cartographie numérique et multimédia, Revue du Comité Français de Cartographie*, n°151-152, Mars-Juin 1997, pp. 10-21.
- Cauvin C., 1996, In favour in teaching theory in cartography. Suggestions for an academic cursus. *Cartographica*, vol. 33, n°3, pp. 21-28.
- Cauvin C., 1998, « Raisonement cartographique et démarche scientifique expérimentale ». *Bulletin du Comité Français de Cartographie*, Version française de la communication pour la conférence internationale de cartographie (ICC), Stockholm, 7 p.
- Cauvin C., Gwiazdzinski L. (resp. scient.) avec la collaboration de Antoni J.P., Bronner A.C., Enaux C., Klein O., 2005, *Offre spatio-temporelle de services urbains au public*. Lettre de commande DATAR-Europe n°BC 03000208. Rapport final, Image et Ville UMR 7011, Strasbourg, 224 p. (+ annexes + atlas + CD-ROM).
- Cauvin C., Reymond H., 1989, *Une approche de la représentation cartographique des flux*. Journée du GDR – CNRS Réseau, IGN, 18 p. (+ figures).
- Cauvin C., Reymond H., 1991, « Interaction spatiale et cartographie : les solutions de W. Tobler ». *Espace, Populations, Sociétés*, n°1991/3, pp. 467-485.
- Ceram C. W., 1966, *Archéologie du cinéma*. Plon, 264 p.
- CERTU, 2005, *Calcul a posteriori des distances dans les enquêtes ménages déplacements*. Note méthodologique, CERTU, 45 p.
- Chardonnel S., 1999, *Emplois du temps et de l'espace. Pratiques des populations dans une station touristique de montagne*. Thèse de doctorat, UFR de Géographie, Université Joseph Fourier, Grenoble, 230 p.
- Cheyland J.P., 1997, « SIG et Cartographie ». *Numéro spécial Cartographie numérique et multimédia, Revue du Comité Français de Cartographie*, pp. 22-34
- Cheyland J.P., Ruas A., 1998, « Editorial : Ce que l'informatique a changé, pourrait changer ou aurait dû changer ». *Mappemonde*, n°49, 1/98, pp. 1-2.
- Claramunt C., Thériault M., 1995, « Managing Time in GIS : An event-oriented approach ». In Clifford J., Tuzhilin A. (eds), *Recent Advances on Temporal Databases*. Springer-Verlag, pp. 23-42.

- Codd E. F., 1970, « A relational Model of Data for Large Shared Data Banks ». *Communications of the ACM*, vol. 13, n°6, pp. 377-387.
- Collectif, 2001, *Dynamiques urbaines et synergies entre le Nord-Est Franche-Comté et le Sud-Alsace*. Etude réalisée dans le cadre d'un travail interagences, Agence d'Urbanisme du Territoire de Belfort, Agence de Développement et d'Urbanisme du Pays de Montbéliard, Agence d'Urbanisme de la Région Mulhousienne, 144 p.
- Cormen T. H., Leiserson C. E., Rivest R. L., 1990, *Introduction to Algorithms*. MIT Press and McGraw-Hill, 995 p.
- Cornwell B., Robinson A., 1966, « Possibilities for Computer Animated Films in Cartography ». *Cartographic Journal*, vol. 3, n°2, pp. 79-82.
- Cunty C., 2004, *Système d'Information Géographique et sécurité : une application pour la RATP*. Thèse de Doctorat, Université Paris I Panthéon – Sorbonne, 441 p.
- DATAR, 2001, *Temps et Territoires – Prospective et expérimentations*. DATAR, Décembre 2001, 62 p.
- DiBiase D., MacEachren A., Krygier J., Reeves C., 1992, « Animation and the Role of Map Design in Scientific Visualization ». *Cartography and Geographic Information Systems*, vol. 19, n°4, pp. 201-214.
- DiBiase D., MacEachren A. M., Krygier J., Reeves C., Brenner A., 1991, « Animated cartographic visualization in earth system science ». *Proceedings of the 15th International Cartographic Association Conference*, Bournemouth (UK), pp. 223-232.
- DiBiase D., Reeves C., Krygier J., MacEachren A. M., von Weiss M., Sloan J., Detweiller M., 1994, « Multivariate Display of Geographic Data : applications in earth system science ». In MacEachren A. M., Taylor D. R. F. (eds), *Visualization in modern cartography*, Pergamon Elsevier, pp. 287-312.
- Dijkstra E. W., 1959, « A note on two problems in connexion with graphs ». *Numerische Mathematik*, vol. 1, pp. 269-271.
- Dijkstra E. W., 1968, « Go To Statement Considered Harmful ». *Communication of the ACM*, vol. 11, n°3, March 1968, pp. 147-148.
- Dorling D., 1992, « Visualizing people in time and space ». *Environment and Planning B.*, vol. 19, pp. 613-637.
- Dumontier F., Guillemot D., Méda D., 2002, « L'évolution des temps sociaux au travers des enquêtes Emploi du temps ». *Économie et statistiques*, n° 352-353, pp. 3-13.

- Dumontier F., Pan Ké Shon J.L., 1999, « En 13 ans, moins de temps contraint et plus de loisirs ». *INSEE Première*, n°675, 4 p.
- Dupin C., 1826, *Carte figurative de l'instruction populaire en France*. Jobard 249 p.
- Durand D., 1992, *La systémique*. Que sais-je ?, n°1795, Presses Universitaires de France, 126 p.
- Earnshaw R. A., Wiseman N., 1992, *An introductory Guide to Scientific Visualization*. Springer-Verlag, 156 p.
- El-Gayar O., Chen K., Tandekar K., 2005, « Multimedia Interactivity on the Internet ». In Pagani M., 2005, *Encyclopedia of Multimedia Technology and Networking*. Idea Group Reference, pp. 724-730.
- El-Geresy B. A., Abdelmoty A. I., Jones C. B., 2002, « Spatio-temporal Geographic Information Systems : A causal Perspective ». *ADBIS 2002*, Bratislava (Slovakia), pp. 191-203.
- Eppstein D., 1998, « Finding the k shortest paths ». *SICOMP, Society for Industrial and Applied Mathematics*, vol. 28, n°2, pp. 652-673.
- Fetterman R., 1997, *The interactive corporation*. Random House, 276 p.
- Floyd R. W., 1962, « Algorithm 97 (shortest path) ». *Communications of the ACM*, vol. 5, n°6, p. 345.
- Foley J. D., van Dam A. Feiner S. K., Hughes J. F., 1995, *Introduction à l'infographie*. Addison Wesley, 573 p.
- Ford L. R., Fulkerson D. R., 1962, *Flow in Networks*. Princeton University Press.
- Friendly M., 2005, « Milestones in the History of Data Visualization : A Case Study in Statistical Historiography ». In Weihs C., Gaul W., *Classification : The Ubiquitous Challenge*. Springer-Verlag, pp. 34-52.
- Friendly M., Denis D., 2001, « The roots and branches of statistical graphics ». *Journal de la Société Française de Statistique*, vol. 141, n°4, pp. 51-60.
- Gaytan J. A., Slate J. R., 2002-2003, « Multimedia and the college of business : A literature review ». *Journal of Research on Technology in Education*, vol. 35, n°2, pp. 186-205.
- Goldberg A. V., Werneck R. F., 2005, « Computing Point-to-Point Shortest Paths from External Memory. SIAM Workshop on Algorithms Engineering and Experimentation ». *ALLENEX'2005*, Vancouver, 15 p.

- Gruber T. R., 1993, « Towards Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing ». In Guarino N., Poli R. (eds), *Formal Ontology in Conceptual Analysis and Knowledge Representation*. Kluwer Academic Publishers, 23 p.
- Grubler A., 1998, *Technology and Global Change*, Cambridge University Press, 462 p.
- Gruer P., 2002, « Le temps et l'informatique ». *Séminaire Temps et Territoires*, Maison du Temps et de la Mobilité. Belfort, 14 mars 2002, 5 p.
- Guyon F., 1985, *La modélisation gravitaire des migrations : l'apport de la solution proposée par W. Tobler*. Mémoire de DEA, Université Louis Pasteur, Strasbourg, 73 p. (+ annexes).
- Gwiazdzinski L. (dir.), 2002, *La ville 24 heures sur 24*. Coll. Bibliothèque des territoires, DATAR, Editions de l'Aube, 254 p.
- Gwiazdzinski L., Pujo E., Klein O., 2001, « Diagnostic temporel. Une fonction essentielle d'observation et de représentation ». *Territoires*, n°420, pp. 14-24.
- Ha L., James E. L., 1998, « Interactivity reexamined: A baseline analysis of early business Web sites ». *Journal of Broadcasting & Electronic Media*, vol. 42, n°4, pp. 457-474.
- Hägerstrand T., 1970, « What about people in regional science ? ». *Papers of the Regional Science Association*, vol. 24, pp. 7-21.
- Hägerstrand T., 1973, *Innovation diffusion as a spatial process*. Chicago : University of Chicago Press, trad. Allan Pred, 334 p.
- Haggett P., 1973, *L'analyse spatiale en géographie humaine*. Collection U, A. Colin, 390 p.
- Harness H. D., 1838, *Atlas to accompany the second report of the railway commissioners*. Dublin, Ireland.
- Harrower M., 2004, « A look at the History and Future of Animated Maps ». *Cartographica*, vol. 39, n°3, pp. 33-42.
- Hernet P., 1995, *Les algorithmes*. Que sais-je ?, n°2928, Presses Universitaires de France, 127 p.
- Hervé E., 2001, *Temps des Villes*. Rapport remis à Nicole Perry (secrétaire d'état aux droits des femmes) et Claude Bartolone (Ministre délégué à la ville), 68 p.
- Hsu M. L., 1978, « The cartographer's conception and symbolization ». *9th International Conference of Cartography*, Maryland (USA), 12 p.

- Huisman O., Forer P., 1998, « Computational agents and urban life spaces: a preliminary realisation of the time-geography of students lifestyles ». *Proceedings of the 3rd International Conference on Geocomputation*, Bristol, 18 p.
- Huisman O., Forer P., 1998, « Towards a Geometric Framework for Modelling Space-Time Opportunities and Interaction Potential ». *Proceedings of the 3rd International Conference on GeoComputation*, Bristol, 18 p.
- Hunold-Viprey A., 2002, *Les transports de soirée*. Mémoire de DESS «Aménagement et développement régional, local et urbain», UFR de Géographie, Université Louis Pasteur, Strasbourg, 54 p. (+ annexes).
- Jensen C. S., Clifford J. et al., 1992, « A glossary of Temporal Database Concepts ». *SIGMOD Record*, vol. 21, n°3, pp. 35-43.
- Jensen C. S., Clifford J. et al., 1994, « A consensus Glossary of Temporal Database Concepts ». *SIGMOD Record*, vol. 23, n°1, pp. 52-64.
- Jensen C. S., Dyreson C., 1998, « The Consensus Glossary of Temporal Database Concepts ». In Etzion O, Jajodia S. and Sripada S. (eds), *Temporal Databases – Research and Practice*. Springer-Verlag, pp. 367-405.
- Jouhaud J.P., 1979, *Questions soulevées par l'examen visuel des cartes d'aménagement*. Thèse de 3è cycle, UFR de Géographie, Université Louis Pasteur, Strasbourg, 169 p.
- Kaufmann V., 2000, *Mobilité quotidienne et dynamiques urbaines. La question du report modal*. Coll. « Science, technique, société », Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 252 p.
- Klein E., 1995, *Le temps*. Coll. Dominos, Flammarion, n°52, 124 p.
- Klein O., 2000, *Temps et Espace-Temps (Essais de représentation)*. Mémoire de DEA Systèmes Spatiaux et Environnement. Faculté de Géographie, Université Louis Pasteur, Strasbourg I, 74 p. (+ annexes).
- Kostrubiec B., 2005, *Les processus de concentration spatiale d'objets géographiques*. Séminaire de Laboratoire, Laboratoire Image et Ville, Faculté de Géographie, Université Louis Pasteur, Strasbourg I, 28 avril 2005.
- Kraak M.J., 1989, « Computer-assisted cartographical 3D imaging techniques ». In Raper J. (eds), *GIS, Three Dimensional Applications in Geographic Information Systems*. Taylor and Francis, pp. 99-113.
- Kraak M.J., 1999, « Dealing with time ». *Cartography and Geographical Information Systems*, vol. 26, n°2, pp. 83-84.

- Kraak M.J., 2003, « Geovisualization illustrated ». *Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, vol. 57, Elsevier Science, pp. 390-399.
- Kraak M.J., Edsall R., MacEachren A. M., 1997, « Cartographic Animation and Legends for Temporal Maps : Exploration and or Interaction ». *Proceedings of the 18th International Cartographic Conference*, vol. 1, pp. 253-261.
- Kraak M.J., Ormeling E. J., 1996, *Cartography : visualization of spatial data*. Addison Wesley, 222 p.
- Kraak M.J., van Driel R., 1997, « Principles of hypermaps ». *Special issue on exploratory cartographic visualization, Computers & Geosciences*, vol. 23, n°4, pp. 457-464.
- Krygier J. B., 1994, « Sound and geographic visualization ». In MacEachren A. M., Taylor D. R. F., (eds), *Visualization in Modern Cartography*. Pergamon, pp. 149-166.
- Kwan M.P., 1998, « Space-time and integral measures of individual accessibility : A comparative analysis using a point-based framework ». *Geographical Analysis*, vol. 30, n°3, pp. 191-216.
- Kwan M.P., 2000, « Interactive geovisualization of activity-travel patterns using three-dimensional geographical information systems : a methodological exploration with a large data set ». *Transportation Research Part C : Emerging Technologies*, vol. 8, n°1-6, pp. 185-203.
- Kwan M.P., 2002, « Feminist Visualization : Re-envisioning GIS as a Method in Feminist Geographic Research ». *Annals of the Association of American Geographers*, vol. 92, n°4, pp. 645-661.
- Langran G., 1993, *Time in Geographic Information Systems*. Taylor and Francis, 189 p.
- Lasswell H. D., 1966, « The structure and function of communication ». In Berelson B., Jonowitz M. (eds), *Reader in public opinion and communication*. Free Press, New York, pp. 178-190.
- Laurini R., Milleret-Raffort F., 1990, « Principles of geomatic hypermaps ». *Proceedings of 4th Conference on Spatial Data Handling*, Zürich, pp. 642-651.
- Lenntrop B., 1976, « Paths in Space-Time Environments : A Time Geographic Study of Movement Possibilities of Individuals ». *Lund Studies in Geography B : Human*, Lund. 150 p.
- Lum V., Dadam P., Erbe R., Guenauer J., Pistor P., Walch G., Werner H., Woodfill J., 1984, « Designing DBMS Support for the Temporal Dimension ». *Proceedings of the SIGMOD'84 Conference*, June 1984, pp. 115-130.

- MacEachren A. M., 1994, « Time as a cartographic variable ». In Hearnshaw H. M., Unwin D. J., *Visualization in Geographical Information System*. John Wiley and Sons, pp. 115-130.
- MacEachren A. M., Monmonier M., 1992, « Geographic Visualization : Introduction ». *Cartography and Geographic Information Systems*, vol. 19, n°4, pp. 197-200.
- MacEachren A. M., Taylor D. R. F. (eds), 1994, *Visualization in modern cartography*, Pergamon Elsevier, 368 p.
- Madre J. L., Axhausen K. W., Gascon M. O., 2003, « Immobility : a microdata analysis ». *10th International Conference on Travel Behaviour Research : the physical and Social Dimensions of Travel*, Lucerne, August 2003, pp. 107-128.
- Maison du Temps et de la Mobilité, 2003, « Amélioration de la desserte du stade Bonal ». *Dossier du Temps*, Maison du Temps et de la Mobilité, Belfort, 69 p.
- Malcolm D., Waddington I., Dunning E., Walsh L., Murphy P., 1992, *The Peoples' Game : What People ? A Survey of Arsenal and Aston Villa Fans*. Leicester University, Leicester.
- Marchetti C., 1991, « Voyager dans le temps. Considérations pour une meilleure exploitation de la liaison fixe ». *Futuribles*, n°156, juillet-août 1991, pp. 19-29.
- McBride S., Ma D., Escobar F., 2002, « Management and Visualisation of Spatiotemporal Information in GIS ». Presented at SIRC 2002, *The 14th Annual Colloquium of the Spatial Information Research Centre*, University of Otago, Dunedin, New Zealand, December 3-5th 2002, 13 p.
- McCormick B. H., DeFanti T. A., Brown M. D., 1987, « Visualization in Scientific Computing ». *Computer Graphics*, vol. 21, n°6, (numéro complet).
- McMillan S. J., Hwang J., 2002, « Measures of perceived interactivity : An exploration of the role of direction of communication, user control, and time in shaping perceptions of interactivity ». *Journal of Advertising*, vol. 31, n°3, pp. 29-42.
- Méda D., Orain R., 2002, « Transformations du travail et du hors travail : le jugement des salariés sur la réduction du temps de travail ». *Travail et Emploi*, DARES, n°90, avril 2002, pp. 23-38.
- Miller H. J., 1991, « Modeling accessibility using space-time prism concepts within geographical information systems ». *International Journal of Geographical Information Systems*, vol. 5, pp. 287-301.

- Miller H. J., 2004, « Activities in Space and Time ». In Hensher D. A., Button K. J., Haynes K. E., Stopher P. (eds), *Handbook of transport 5 : Transport Geography and Spatial Systems*, Pergamon/Elsevier Science, pp.647-660.
- Millet B., Manachère G., 1983, *Introduction à l'étude des rythmes biologiques*. Vuibert, Paris, 88 p.
- Minard C. J., 1845, *Carte de la circulation des voyageurs par voitures publiques sur les routes de la contrée où sera placé le chemin de fer de Dijon à Mulhouse*.
- Minard C. J., 1866, *Carte figurative et approximative des quantités de coton brut importées en europe en 1858, en 1864 et en 1865*.
- Moellering H., 1980, « Strategies of real time cartography ». *The Cartographic Journal*, vol. 17, n°1, pp. 12-15.
- Monmonier M., 1990, « Strategies for the visualization of geographic time-series data ». *Cartographica*, vol. 27, n°1, pp. 30-45.
- Moutel G., 2002, *Le temps des uns, le temps des autres. Une étude internationale sur le temps privé, le temps de travail et le temps des entreprises*. Rapport Qualité/Temps, Chronopost International, Editions lpm, 155 p.
- Muller J.C., 1983, « Ignorance graphique ou cartographie de l'ignorance ». *Cartographica*, vol. 20, n°3, pp. 17-30.
- Muller J.C., 2002, « Cartographie multimédia ». *Séminaire de la Faculté de Géographie et d'Aménagement*, Université Louis Pasteur, Février 2002.
- Muller J.C., Laurini R., 1997, « La cartographie de l'an 2000 ». *Revue Internationale de Géomatique*, vol. 7, n°1, pp. 87-106.
- Muller J.C., Scharlach H., Jäger M., 1999, « Noise in Urban Environment : Problems of representation and communication ». *ICA Conference, Touch the past, visualize the future*, Ottawa, pp. 955-964.
- Muller P.A., Gaertner N., 2004, *Modélisation objet avec UML*. 2ème édition, Collection Best Of, Eyrolles, 514 p.
- Noble B., 2001, « Using simple time use to investigate travel ». *International Conference on Transport Survey Quality and Innovation*, Kruger Park (South Africa), August 2001.
- Oberlin C., 2003, *L'offre de soirée à Montbéliard. Diagnostic et enquête auprès des spectateurs du Stade Bonal sur leurs parcours actuels et leurs attentes en services et animations d'après-match*. Rapport de Stage de Maîtrise d'Aménagement du Territoire. Université Louis Pasteur, Strasbourg, 60 p. (+ annexes).

- Offner J.M., 2000, « Mobilité ». In Wachter S., Bourdin A., Levy J., Offner J.M., Padioleau J.G., Scherrer F. Theys J., *Repenser le territoire. Un dictionnaire critique*. DATAR – Editions de l'Aube, p. 56.
- Ohno T., 1988, *Toyota Production System : Beyond Large-Scale Production*. Productivity Press, 163 p.
- Ormeling F., 1995, « Teaching Animated Cartography ». *Proceedings of seminars ICA Standing Commission on Education and Training*, 11 p.
- Pagani M., 2005, *Encyclopedia of Multimedia Technology and Networking*. Idea Group Reference, 1 113 p.
- Palsky G., 1996, *Des Chiffres et des Cartes : Naissance et développement de la Cartographie Quantitative Française au XIXème siècle*. Editions CTHS, 331 p.
- Palsky G., 1998, « Origines et évolution de la Cartographie Thématique (XVIIème-XIXème siècles) ». *Revista da Faculdade de Letras, Geografia I serie*, vol. XIV, Porto, pp. 39-60.
- Palsky G., 1999, « The debate on the standardization of statistical maps and diagrams (1857-1901). Elements for the History of Graphical Language ». *Cybergeo*, n°85, 16 mars 1999, 9 p.
- Pas E. I., Harvey A. S., 1997, « Time use Research and Travel Demand Analysis and Modelling ». In Stopher P., Lee-Gosselin M., *Understanding travel behaviour in a era of change*. Pergamon, pp. 316-338.
- Passeron V., 2002, « 35h : trois ans de mise en oeuvre du dispositif Aubry I ». *Premières Synthèses*, n°06.2, DARES, 10 p.
- Peterson M. P., 1994, « Spatial Visualization through Cartographic Animation : Theory and Practice ». *Proceeding of Geographic Information Systems / Land Information Systems (GIS/LIS)*, pp. 250-258.
- Peterson M. P., 1995, *Interactive and Animated Cartography*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, 464 p.
- Peterson M. P., 1998, « That Interactive Thing You Do ». *Cartographic Perspectives*, n°29, pp. 3-4.
- Peterson M. P., 1999, « Active Legends for Interactive Cartographic Animation ». *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 13, n°4, pp. 375-383.

- Peterson M. P., nc, *Between Reality and Abstraction : Non-Temporal Applications of Cartographic Animation*, University of Nebraska, Omaha, Article en ligne, <http://maps.unomaha.edu/AnimArt/article.html>, dernier accès le 22 avril 2007.
- Petit J.P., 1980, *Le géométricon*. Coll. La science en bandes dessinées, Belin, 63 p.
- Peuquet D. J., 1994, « It's About Time : A Conceptual Framework for the Representation of Temporal Dynamics in Geographic Information Systems ». *Annals of the Association of American Geographers*, vol. 84, n°3, pp. 441-461.
- Peuquet D. J., Duan N., 1995, « An Event-Based Spatio-Temporal Data Model for Geographic Information Systems ». *International Journal of Geographical Information Systems*, vol. 9, n°1, pp. 7-24.
- Playfair W., 1802, *Eléments de statistique*. Paris.
- Pred A., 1977, « The choreography of existence : Comments on Hägerstrand's time geography and its usefulness ». *Economic Geography*, vol. 53, pp. 207-221
- Renault E., 1985, *La cartographie des flux. Ses problèmes et les solutions de W. Tobler*. Dossier de recherche, DEA Géographie de l'Aménagement, Faculté de Géographie, Université Louis Pasteur, Strasbourg I, 97 p.
- Rimbert S. et al., 1979, *Cartographie informatisée et géographie humaine*. ATP n°2457, CNRS, Informatique et sciences humaines, Tome 2, Expérimentations en cartographie transformationnelle, 76 p. (+ annexes).
- Rimbert S., 1964, *Cartes et graphiques. Initiation à la Cartographie appliquée aux Sciences Humaines*. Société d'Édition d'Enseignement Supérieur, 236 p.
- Rimbert S., 1968, *Leçons de cartographie thématique*. Regards sur la géographie, SEDES, 139 p.
- Rimbert S., 1973, « Des "bruits" qui brouillent les cartes : les insuffisances de la lecture visuelle des cartes thématiques », *L'espace géographique*, n°4, Doin, pp. 313-316.
- Robinson A. H., 1952, *The look of maps. An examination of cartographic design*. The University of Wisconsin, Madison, 105 p.
- Robinson A. H., 1953, *Elements of cartography*. John Wiley & Sons, New York, first edition, 245 p.
- Robinson A. H., 1955, « The 1837 Maps of Henry Drury Harness ». *The Geographical Journal*, vol. 121, n°4, pp. 440-450.

- Robinson A. H., 1982, *Early thematic mapping in the history of cartography*. The University of Chicago Press, 280 p.
- Rouleau B., 2000, *Méthodes de la cartographie*. CNRS éditions, 213 p.
- Roy B., 1959, « Transitivité et connexité ». *CRAS*, n°249, pp. 216-218.
- Sansot P., 1973, *Poétique de la ville*. Collection d'esthétique, Klincksieck, 422 p.
- Sansot P., 2003, « Prendre son temps ? ». *Carnet du temps*, n°8, Compte-rendu de Forum, Maison du Temps et de la Mobilité, Belfort, 26 juin 2003, 18 p.
- Saussure (de) F., 1916, *Cours de linguistique générale*. Réédition 1995, Payot, 520 p.
- Slocum T. A., McMaster R. B. et al., 1999, *Thematic Cartography and Geographic Visualization*. Series in Geographic Information Science, Second Edition, Prentice Hall, 518 p.
- Snodgrass R. T., Ahn I., 1985, « A Taxonomy of Time in Databases ». *Proceedings of the 1985 ACM SIGMOD*, International Conference on Management of Data, Austin (United States), pp. 236-246.
- Snow J. M. D., 1855, *On the mode of communication of cholera*. London, John Churchill, New Burlington Street, England, 38 p.
- Stopher P. R., 1992, « Use of an activity-based diary to collect household travel data ». *Transportation*, n°19, pp. 159-176.
- Szego J., 1987, *Human Cartography : Mapping the World of Man*. Swedish Council for Building Research, Stockholm, 237 p.
- Talbot J., 2001, « Les déplacements domicile-travail. De plus en plus d'actifs travaillent loin de chez eux ». *INSEE Premières*, n°767, Avril 2001, 4 p.
- Tardieu H., Rochfeld A., Colletti R., 1983, *La Méthode Merise, Principes et Outils*. Collection Ingénierie des systèmes d'information, Les éditions des organisations, 318 p.
- Taylor D. R. F. (ed.), 1980, *The Computer in Contemporary Cartography*. Wiley, 252 p.
- Taylor D. R. F., 1983, *Graphic Communication and Design in Contemporary Cartography. Progress in Contemporary cartography*. Volume 2, John Wiley & Sons, 314 p.
- Thrower N. J. W., 1959, « Animated Cartography ». *The professional Geographer*, vol. 11, n°6, pp. 9-12.

- Thrower N. J. W., 1961, « Animated cartography in the United States ». *International Yearbook of Cartography*, vol. 1, pp. 20-30.
- Tobler W.R., 1970, « A computer Movie Simulating Urbain Growth in the Detroit Region ». *Economic Geography*, vol. 46, pp. 234-240.
- Tobler W. R., 1973, « Choropleth maps without class intervals ». *Geographical Analysis*, vol. V, n°3, Research Note, pp. 262-265.
- Tobler W.R., 1975, Commodity fields. *Papers for IIASA*, 15p.
- Tobler W.R., 1976, « Spatial Interaction Patterns ». *Journal Environmental Systems*, vol. 6, n°4, pp. 271-301.
- Tobler W.R., 1978, « Data Structures for Cartographic Analysis and Display ». *Proceedings of Computer Science and Statistics : Eleventh Annual Symposium on the Interface*, Raleigh, North Carolina State University, Institute of Statistics, pp. 134-140.
- Tobler W.R., 1978, « Migration fields ». In Clark W., Moore E., *Population mobility and residential change*, Studies in Geography, vol. 25, Evanston, pp. 215-232.
- Tobler W.R., 1979, *A geographic flow mapping program*. Geographic interaction project, Department of Geography, University of California, Santa Barbara, 39 p. ronéotées.
- Tobler W.R., 1981, A model of geographical movement. *Geographical Analysis*, 13, 1, pp.1-20.
- Tobler W. R., 1982, « Cartographic study of mouvement tables ». *Communication at the Statistical Graphics Mapping national Computer Graphics Association*, Anaheim, California, 4 p.
- Tobler W. R., nc, *Les possibilités de la cartographie des mouvements*.
- Torricelli G. P., Andrieu D., 2000, « Cartographie des flux ». *Movements 2.01*. Université de Lugano.
- Tufte E. R., 1983, *The visual display of quantitative information*. 2e édition, Cheshire, Connecticut : Graphics Press.
- Tukey J. W., 1977, *Exploratory data analysis*. Addison-Wesley, 688 p.
- Ulrich V., 2002, « L'incidence des 35 heures sur le temps partiel ». *Premières synthèses*, n°07.1, DARES.
- Urry J., 2004, « Petits mondes ». In Allemand S., Ascher F. Lévy J. (dir.), *Les sens du mouvements*, Belin, pp. 37-48.

- Vasconcellos R., 1996, « Tactile Mapping Design and the Visually Impaired User ». In Wood C. H., Keller C. P. (Eds.), *Cartographic Design. Theoretical and Practical Perspectives*. Chichester, John Wiley & Sons, pp. 91-102.
- Vasiliev I. R., 1996, « Design issues to be considered when mapping time ». In Wood C. H., Clifford H., Keller C. P. (eds), *Cartographic Design. Theoretical and Practical Perspectives*. Chichester, John Wiley & Sons, pp. 137-145.
- Vasiliev I. R., 1997, « Mapping Time ». *Cartographica*, Monograph 49, vol. 34, n°2, Toronto, 51 p.
- Vermotte F., 2003, « Temps et mesure ». *Séminaire de recherche Temps et Territoires*, Maison du Temps et de la Mobilité, Belfort, 13 février 2003.
- Viard J., 2002, *Le sacre du temps libre. La société des 35 heures*. Editions de l'Aube, 214 p.
- Viard J., 2003, « Le temps libre, acteur social ». In Ascher F., Godard F. (coord.), *Modernité : la nouvelle carte du temps*. Collection bibliothèque des territoires, Editions de l'Aube – DATAR, pp. 129-137.
- Wagner D., Willhalm T., 2003, « Geometric Speed-up technics for Finding Shortest Paths in Large Sparse Graphs ». *11th European Symposium on Algorithms (ESA'2003)*, Budapest, September 15-20, 12 p.
- Warshall S., 1962, « A Theorem on Boolean Matrices ». *Journal of the ACM*, vol. 9, n°1, pp.11-12.
- Wright J. K., 1942, « Map makers are human comments on the subjective in maps ». *The geographical Review*, vol. 32, n°4, pp. 527-544.
- Yu H., 2006, « Spatio-temporal GIS Design for Exploring Interactions of Human Activities ». *Cartography and Geographic Information Science*, vol. 33, n°1, pp. 3-19.
- Yu H., Shaw S. L., 2005, « Revisiting Hägerstrand's Time-Geographic Framework for Individual Activities in the Age of Instant Access ». *Proceedings of Research Symposium on Societies and Cities in the Age of Instant Access*, Salt Lake City, Utah, November 10-12, 2005, 21 p.
- Yuan M., 1996, « Modeling semantic, temporal, and spatial information in geographic information systems ». In Craglia M., Couclelis H. (eds), *Geographic Information Research : Bringing the Atlantic*. Taylor and Francis, pp. 334-347.

Annexes

Annexe 1

Capacité et fréquentation du stade Bonal

Annexe 1.a
Capacité d'accueil par tribune
Stade Auguste Bonal - Sochaux

Tribune	Secteur	Section	Capacité	Poids
Est	Forges Basse	A	600	3,01%
Est	Forges Basse	B	600	3,01%
Est	Forges Basse	C	600	3,01%
Est	Forges Haute	D	360	1,81%
Est	Forges Haute	E	360	1,81%
Est	Forges Haute	F	360	1,81%
Est	Latérale Est	A	600	3,01%
Est	Latérale Est	B	600	3,01%
Est	Latérale Est	C	360	1,81%
Est	Latérale Est	D	360	1,81%
Total Est			4 800	24,09%

Tribune	Secteur	Section	Capacité	Poids
Nord	Populaire Nord	A	426	2,14%
Nord	Populaire Nord	B	600	3,01%
Nord	Populaire Nord	C	600	3,01%
Nord	Populaire Nord	D	560	2,81%
Nord	Populaire Nord	E	410	2,06%
Nord	Populaire Nord	F	371	1,86%
Nord	Seconde Nord	A	300	1,51%
Nord	Seconde Nord	B	222	1,11%
Nord	Seconde Nord	C	360	1,81%
Nord	Seconde Nord	D	360	1,81%
Nord	Seconde Nord	E	360	1,81%
Nord	Seconde Nord	F	208	1,04%
Nord	Seconde Nord	G	299	1,50%
Nord	Seconde Nord	H	195	0,98%
Total Nord			5 271	26,46%

Tribune	Secteur	Section	Capacité	Poids
Sud	Populaire Sud	G Visiteur	363	1,82%
Sud	Populaire Sud	H Visiteur	438	2,20%
Sud	Populaire Sud	I	600	3,01%
Sud	Populaire Sud	J	600	3,01%
Sud	Populaire Sud	K	600	3,01%
Sud	Populaire Sud	L	301	1,51%
Sud	Seconde Sud	I	185	0,93%
Sud	Seconde Sud	J	298	1,50%
Sud	Seconde Sud	K	217	1,09%
Sud	Seconde Sud	L	360	1,81%
Sud	Seconde Sud	M	346	1,74%
Sud	Seconde Sud	N	360	1,81%
Sud	Seconde Sud	O	222	1,11%
Sud	Seconde Sud	P	300	1,51%
Total Sud			5 190	26,05%

Tribune	Secteur	Section	Capacité	Poids
Ouest	Présidentielle	A	280	1,41%
Ouest	Présidentielle	B	280	1,41%
Ouest	Présidentielle	C	280	1,41%
Ouest	Présidentielle	D	280	1,41%
Ouest	Présidentielle	E	237	1,19%
Ouest	Présidentielle	F	111	0,56%
Ouest	Présidentielle	G	111	0,56%
Ouest	Présidentielle	H	237	1,19%
Ouest	Latérale Ouest	A Ouest	537	2,70%
Ouest	Latérale Ouest	B Ouest	513	2,58%
Ouest	Latérale Ouest	C Ouest	313	1,57%
Ouest	Latérale Ouest	D Ouest	313	1,57%
Ouest	Club Prestige	A	97	0,49%
Ouest	Club Prestige	B	98	0,49%
Ouest	Club Prestige	C	98	0,49%
Ouest	Club Prestige	D	97	0,49%
Ouest	FCSM Or		81	0,41%
Ouest	Loge	n°1	12	0,06%
Ouest	Loge	n°2	12	0,06%
Ouest	Loge	n°3	12	0,06%
Ouest	Loge	n°4	12	0,06%
Ouest	Loge	n°5	12	0,06%
Ouest	Loge	n°6	12	0,06%
Ouest	Loge	n°7	12	0,06%
Ouest	Loge	n°8	12	0,06%
Ouest	Loge	n°9	12	0,06%
Ouest	Loge	n°10	12	0,06%
Ouest	Loge	n°11	12	0,06%
Ouest	Loge	n°12	12	0,06%
Ouest	Loge	n°13	12	0,06%
Ouest	Loge	n°14	12	0,06%
Ouest	Loge	n°15	12	0,06%
Ouest	Loge	n°16	12	0,06%
Ouest	Loge	n°17	12	0,06%
Ouest	Loge	n°18	12	0,06%
Ouest	Loge	n°19	12	0,06%
Ouest	Loge	n°20	12	0,06%
Ouest	Loge	n°21	12	0,06%
Ouest	Loge	n°22	12	0,06%
Ouest	Loge	n°23	12	0,06%
Ouest	Loge	n°24	12	0,06%
Ouest	Loge	n°25	12	0,06%
Ouest	Loge	n°26	12	0,06%
Ouest	Loge Présidentielle		52	0,26%
Ouest	Handicapés	Handi A	24	0,12%
Ouest	Handicapés	Handi B	32	0,16%
Ouest	Handicapés	Handi C	32	0,16%
Ouest	Handicapés	Handi D	24	0,12%
Ouest	Sièges Affaires	F	111	0,56%
Ouest	Sièges Affaires	G	111	0,56%
Total Ouest			4 661	23,40%

Total			19 922	100,00%
--------------	--	--	---------------	----------------

Annexe 1.f
Affluence moyenne lors de 3 matchs
Tableau de synthèse
Stade Auguste Bonal - Sochaux

Secteur	Capacité d'accueil		FCSM - Bordeaux		FCSM - Bastia		FCSM - Nice		Moyenne sur 3 matchs	
	Capacité	Poids	Affluence	Poids	Affluence	Poids	Affluence	Poids	Affluence	Poids
Populaire	5 869	29,5%	5 289	27,7%	3 808	34,8%	5 147	33,3%	4 748	31,3%
Forges	2 880	14,5%	2 880	15,1%	1 216	11,1%	1 872	12,1%	1 989	13,1%
Seconde	4 592	23,0%	4 590	24,1%	2 695	24,6%	4 087	26,4%	3 791	25,0%
Latérale	3 596	18,1%	3 595	18,8%	1 504	13,8%	2 442	15,8%	2 514	16,6%
Présidentielle	1 816	9,1%	1 701	8,9%	798	7,3%	1 014	6,6%	1 171	7,7%
Autre	1 169	5,9%	1 023	5,4%	913	8,4%	893	5,8%	943	6,2%
Total	19 922	100,0%	19 078	100,0%	10 934	100,0%	15 455	100,0%	15 156	100,0%

O. Klein - 2006

Sources : F.C. Sochaux-Montbéliard - 2002-2003

Maison du Temps et de la Mobilité - 2003

Annexe 2

Enquête sur les déplacements
des spectateurs du Stade Bonal
(Questionnaire complet)

Enquête sur les déplacements des spectateurs du Stade Auguste Bonal de Sochaux-Montbéliard

Administration de l'enquête (partie pré-remplie)

A1. Date :

A3. Nom de l'enquêteur :

A2. Rencontre : FC Sochaux -

A4. Numéro d'enquête :

Fréquentation

1. Dans quelle tribune êtes-vous placé ?

- Populaire
 Forges
 Seconde
 Latérale
 Présidentielle (ou équivalent)
 Autre

2. Êtes-vous abonné ?

- Oui Non Invité

Si "Oui" ou "Invité", aller à la question 6

3. Si non, quand achetez-vous vos places ?

.....

4. Dans quel commerce achetez-vous vos places ?

.....

5. Dans quelle commune ?

.....

6. Faites-vous partie d'un club de supporter ?

- Oui Non

Si "Non", aller à la question 8

7. Lequel ?

.....

8. A combien de rencontres assistez-vous
chaque saison ?

- 1 à 5 6 à 10 Plus de 10

Déplacement

9. Dans quelle commune habitez-vous ?

.....

10. D'où venez-vous ?

- De votre domicile De votre lieu de travail
 De chez des amis D'un bar
 D'un restaurant Autre

Si "domicile", aller à la question 13

Si "travail", aller à la question 12

Si "amis", aller à la question 12

11. Lequel ? (à préciser)

.....

12. Dans quelle commune ?

.....

13. A quelle heure en partez-vous ?

14. A quelle heure arrivez-vous au stade ?

15. Pourquoi venez-vous à ce moment ?

.....

.....

16. Comment venez-vous au stade ?

(plusieurs réponses possibles)

- Voiture Bus
 Train Taxi
 2 roues à moteur Vélo
 A pied En stop
 Avec le réseau CTPM

Si réponse différente de "Voiture",

aller à la question 22

17. Si vous venez en voiture, combien de
personnes partagent votre véhicule ?18. Combien de temps mettez-vous pour
trouver une place de parking ?

19. Où vous garez-vous ?

.....

.....

20. Pourquoi ?

.....

.....

21. Trouver une place de parking proche du stade est :

- Très facile Facile
 Moyennement facile Difficile
 Très difficile Sans opinion

22. Connaissez-vous les possibilités de stationnement sur les parking des centres commerciaux ?

- Oui Non

Si "Non", aller à la question 26

23. Si oui, les utilisez-vous ??

- Oui Non

Si "Non", aller à la question 25

24. Pourquoi ?

.....

25. Connaissez-vous les possibilités de desserte de la SNCF sur Montbéliard les soirs de matchs ?

- Oui Non

Si "Non", aller à la question 30

26. Si oui, les utilisez-vous ?

- Oui Non

Si "Non", aller à la question 29

27. Pourquoi ?

.....

28. Connaissez-vous des parkings deux-roues au Stade Bonal ?

- Oui Non

29. Seriez-vous prêt à vous rendre au Stade Bonal à vélo ou à deux roues motorisé ?

(plusieurs réponses possibles)

- Oui, à vélo Oui, à deux roues motorisé
 Non

30. Pourquoi ?

.....

31. Comment jugez-vous l'accessibilité au stade ?

(plusieurs réponses possibles)

- Très bonne Bonne
 Moyenne Mauvaise
 Très mauvaise Sans opinion

32. Pourquoi ?

.....

Expérimentation**33. Seriez-vous prêt à utiliser un système de navette, avec rabattement sur parking ?**

- Oui Non

34. Pourquoi ?

.....

35. Combien seriez-vous prêt à dépenser pour un tel service, par personne ?

.....

36. Combien seriez-vous prêt à dépenser pour un tel service, par voiture ?

.....

37. Seriez-vous prêt à utiliser les transports en commun les soirs de match ?

- Oui Non Sans opinion

38. Pourquoi ?

.....

39. Seriez-vous intéressé par un système de covoiturage ?

- Oui Non

40. Pourquoi ?

.....

41. Combien de temps êtes-vous prêt à marcher entre votre place de parking et le stade ?

.....

Après-match**42. A quel moment quittez-vous le stade ?**

- Avant la fin du match A la fin du match
 5 minutes après 10 minutes après
 15 minutes ou plus

43. Pourquoi ?

.....

44. Etes-vous bloqué dans les embouteillages ?

- Oui Non

45. Combien de temps ?

46. Où vous rendez-vous, généralement, après le match ?

- Retour direct au domicile Chez des amis
 Dans un bar En discothèque
 Au restaurant Autre

*Si "Retour au domicile", aller à la question 47
Sinon, aller à la question 48*

47. Pourquoi ?

.....

Aller à la question 50

48. Lequel / laquelle ?

.....

.....

49. Dans quelle commune ?

.....

.....

50. Selon vous, manque-t-il des activités en après-match ?

- Oui Non Sans opinion

*Si "Non" ou "Sans opinion",
aller à la question 52*

51. Lesquelles ?

.....

.....

Signalétique**52. Sexe**

- Féminin Masculin

53. Age**54. Catégorie professionnelle**

- Agriculteur
 Commerçant, artisan
 Cadre, profession intellectuelle supérieure
 Profession intermédiaire
 Employé
 Ouvrier
 Retraité
 Inactif, autre

55. Coordonnées

.....

.....

.....

56. Remarques

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Annexe 3
Reconstruction des lieux de résidence
avec les données de l'EMD

Annexe 3 - Peuplement Lieu de résidence des ménages de l'EMD



O. Klein - 2006
Sources : Certu
Syndicat Mixte de l'Aire Urbaine
Maison du Temps et de la Mobilité - 2005

Annexe 4 Paramétrage des tronçons

Annexe 4 - Paramétrage des tronçons avant le calcul des temps de déplacements

Classement physique		Classement fonctionnel	Vitesse attribuée	
			Urbain	Inter-urbain
Autoroute	Principal	<input type="text" value="70"/>	<input type="text" value="110"/>	
	Primaire	<input type="text" value="70"/>	<input type="text" value="110"/>	
Bretelle	Primaire	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	
	Secondaire	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	
	Tertiaire	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	
	Sans objet	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	
Route à 2 chaussées	Primaire	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	
	Secondaire	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	
	Tertiaire	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	
	Desserte	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	
	Sans objet	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	
Route à 1 chaussée	Primaire	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	
	Secondaire	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	
	Tertiaire	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	
	Desserte	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	
	Sans objet	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	
Chemin	Desserte	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	
	Sans objet	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	
Escalier ou passerelle	Sans objet	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	

*Extrait du prototype
O. Klein - 2007*

Annexe 5
Connexion entre un SIG
et une base de données externe
Application à Microsoft Access et ArcGIS

Les sources de données ODBC (*OpenDatabase Connectivity*) permettent d'accéder à partir d'une application (SIG ou autre) à des données issues d'un Système de Gestion de Base de Données (SGBD). L'intérêt de ce type d'échanges réside dans un principe d'accès à distance entre applications sans avoir à gérer le transfert de données d'un logiciel à l'autre et en évitant ainsi la gestion de fichiers d'importation et d'exportation.

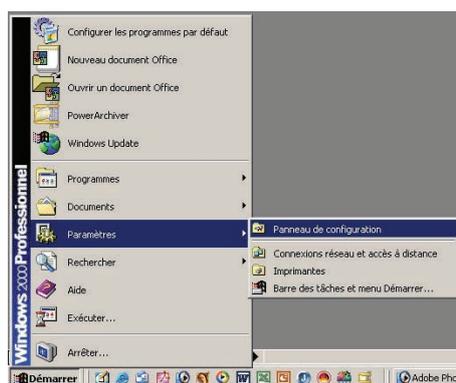
Pour que cette connexion soit possible, il est nécessaire d'ajouter des composants logiciels appelés pilotes qui gèrent ces liaisons. Ceux-ci se configurent et se paramètrent par l'intermédiaire du menu « *Sources de données ODBC* ». La démarche à suivre est décrite ci-dessous.

Démarche à suivre

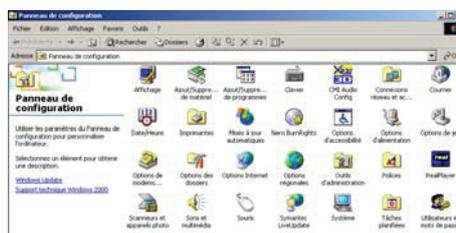
Avant de créer la liaison dans le Système d'Information Géographique, il faut déclarer et paramétrer la connexion ODBC dans le Système d'Exploitation (en l'occurrence *Windows*).

1. Déclaration de la connexion ODBC

1. Dans la barre d'outils de Windows, cliquez sur « *Démarrer* », puis « *Paramètres* » et « *Panneau de configuration* » pour accéder au *Panneau de configuration*.

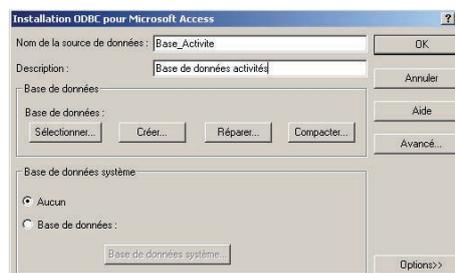
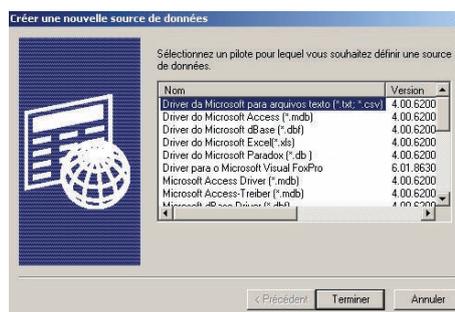
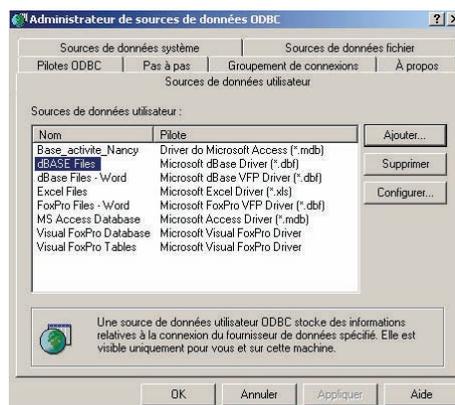


2. Choisissez ensuite l'icône « *Outils d'administration* ».



3. Choisissez ensuite l'icône « Sources de données (ODBC) ».
4. Dans la fenêtre « Administrateur de sources de données ODBC », sélectionnez l'onglet « Sources de données utilisateur », puis cliquez sur le bouton « Ajouter... »
5. Sélectionnez ensuite le pilote de base de données que vous souhaitez utiliser : « Microsoft Access Driver (*.mdb) ». Cliquez sur le bouton « Terminer » pour valider.
6. Une boîte de dialogue dénommée « Installation ODBC pour Microsoft Access » apparaît. Elle permet de configurer le pilote de base de données en renseignant les champs suivants :
 - « Nom de la source de données » : Nom de la liaison ODBC ;
 - « Description » : optionnel, bref descriptif du contenu de la base de données
 - le bouton « Sélectionner... » permet enfin de choisir la base à connecter par l'intermédiaire de la boîte de dialogue « Sélectionner la base de données ».
7. Dans cette boîte de dialogue, recherchez et sélectionnez la base de données souhaitée dans l'arborescence de Windows puis cliquez sur le bouton « OK » pour valider la sélection.

Une nouvelle connexion ODBC est créée. Cliquez sur le bouton « OK » pour valider.



2. Création d'une connexion à une base externe dans ArcGIS

Cette seconde étape consiste à visualiser dans ArcGIS la connexion qui vient d'être créée. La démarche à suivre est décrite dans le paragraphe suivant.

1. Lancez *ArcMap*.
2. Cliquez sur le bouton « *Ajouter des données* » dans la barre d'outils. 



3. Ouvrez le dossier « *Connexions aux bases de données* » puis double-cliquez sur la commande « *Ajouter une connexion OLE DB* ».

Une boîte de dialogue intitulée « *Propriétés des liaisons de données* » apparaît.

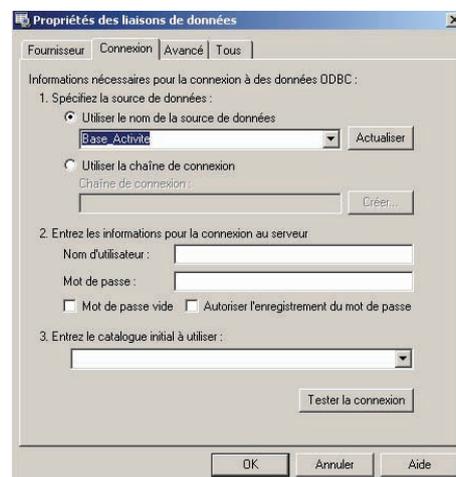
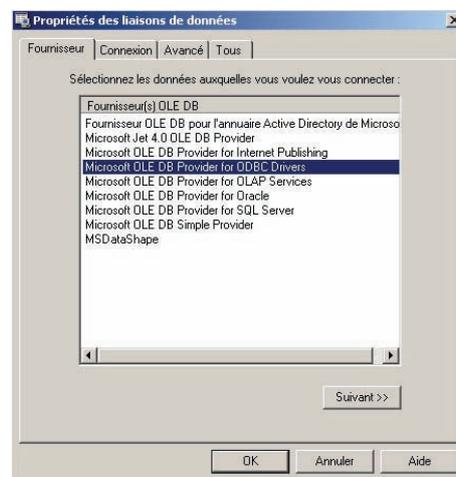


4. Sélectionnez l'onglet *Connexion* puis l'option « *Utiliser le nom de la source de données* ».
5. Sélectionnez le nom de la source de données ODBC dans le menu déroulant. Si elle n'apparaît pas, cliquez sur le bouton « *Actualiser* » pour une mise à jour du contenu de la liste déroulante.

Vous pouvez tester la liaison en cliquant sur le bouton « *Tester la connexion* »

Validez votre choix en cliquant sur « *OK* »

La nouvelle connexion apparaît dans le catalogue.



- Pour afficher le contenu de la base de données à laquelle nous venons de nous connecter, vous devez cliquer sur le bouton « *Ajouter des données* » dans la barre d'outils.

Ensuite, double-cliquez le dossier « *Connexions aux bases de données* » et enfin sélectionnez la table ou le résultat de requête que vous voulez mettre en liaison dans le SIG et cliquez sur le bouton « *Ajouter* ».

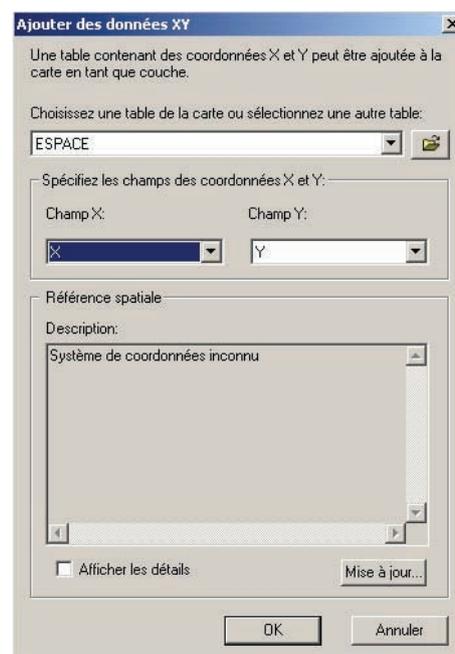


ArcMap ajoute les tables et requêtes dans le document et se place automatiquement sur l'onglet « *Source* » de la table des matières.

3. Ajouter des données X, Y provenant d'une base externe

Cette dernière étape ne peut être effectuée que si les coordonnées des centroïdes sont stockées dans une base de données externe au SIG.

- Cliquez dans la barre de menu d'*ArcMap* sur le menu « *Outils* », puis le sous-menu « *Ajouter des données XY* ».
- Choisissez dans le menu déroulant la table ou la requête dans laquelle se trouvent les coordonnées des centroïdes à cartographier.
- Spécifiez les champs contenant les X et les Y à l'aide des menus-déroulants correspondants (*Champ X* et *Champ Y*).
- Enfin, dans « *Référence spatiale* », précisez le système de projection des coordonnées ajoutées à l'aide du bouton « *Mise à jour* ».



Cliquez ensuite sur le bouton « *OK* » pour valider le paramétrage et visualiser le résultat.

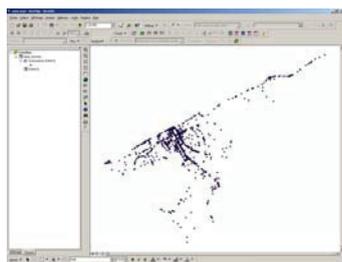


Table des matières

Remerciements	3
Sommaire	5
Préface	6
Introduction générale	7
Première partie – Bases conceptuelles	11
Introduction	12
Chapitre 1 - Le Temps	13
1. Une notion si familière et pourtant si complexe	13
1.1. Définir le temps	14
1.2. Concevoir le temps	15
1.2.1. Temps linéaire, succession et simultanéité	15
1.2.2. Temps cyclique, répétition et périodicité	16
1.2.3. Temps événementiel, exception et particularité	17
1.2.4. Coexistence des formes de temps	18
1.3. Mesurer le temps	18
1.4. Représenter le temps et le rapporter à l'espace	19
2. Temps social et temps urbain	20
2.1. Evolution du temps de travail et des temps sociaux	20
2.2. D'un éclatement des temporalités à de nouveaux temps contraints	22
2.3. Aménager les espaces-temps : une nécessité centrale des bureaux des temps	23
Chapitre 2 - Le Mouvement	25
1. Mouvement, mobilité, déplacement : un vocabulaire à clarifier	26
2. Typologie des formes de mobilité	27
2.1. Mobilités a-spatiales	27
2.2. Mobilités spatiales	28
3. Une approche des mobilités quotidiennes et événementielles	30
Conclusion	31

Seconde partie – De la collecte à la structuration des données	33
Introduction	34
Chapitre 1 - Une insuffisance des données disponibles	38
1. Les organismes officiels fournisseurs de données	39
1.1. L'Insee	39
1.1.1. Le fichier Communes... Mobilités	39
1.1.2. L'enquête Emploi du Temps	42
1.2. L'enquête Ménages Déplacements du Certu	44
1.3. Autres sources de données	47
2. Des besoins internes à des organismes : le cas de PSA	49
3. Proposition d'une grille de lecture comparative des données à disposition	52
Chapitre 2 - Une autre approche plus adaptée	56
1. Une enquête à double objectif	58
2. Méthodologie	59
2.1. Qui interroger ?	59
2.1.1. Un public représentatif de la population	59
2.1.2. Construction de l'échantillon	60
2.2. Déroulement de l'enquête	63
2.3. Comment ? L'enquête et ses modalités	63
3. Résultats : vérification de l'adéquation des données avec la démarche globale	64
3.1. Limites de l'enquête	64
3.2. Adaptabilité à la démarche globale	65
Chapitre 3 - Une nécessaire modélisation des données : affiner et reconstruire a posteriori	67
1. Affiner les localisations des individus et des lieux d'activités	68
1.1. Enoncé du problème	68
1.2. Propositions de solution	69
1.2.1. Localisation des lieux de résidence	69
1.2.1.1. Cas d'une structure spatiale homogène	69
1.2.1.2. Cas d'une structure spatiale hétérogène	70
1.2.1.3. Une localisation fondée sur les caractéristiques de l'individu	71
1.2.2. Localisation des lieux d'activité	74
1.3. Démarche adoptée	75
2. Reconstruire les trajets	76
2.1. Le postulat du plus court chemin : justification d'un choix	77
2.2. Le problème du plus court chemin	78
2.3. Distance s'appuyant sur le réseau physique	79
2.3.1. Vers une représentation informatisée du réseau	81
2.3.1.1. Représentation par listes d'adjacences	82
2.3.1.2. Représentation par matrices d'adjacences	83
2.3.2. Vers une modélisation du plus court chemin	83
2.3.2.1. Un algorithme à origine unique et destinations multiples (ou inversement) : l'algorithme de Dijkstra	84
2.3.2.2. Un algorithme à origines et destinations multiples : l'algorithme de Floyd	86

Chapitre 4 - De la reconstruction des données à leur structuration	88
1. Une nécessaire structuration appuyée sur les SGBD	88
2. Une question permanente et mal résolue : la prise en compte du temps dans les bases de données	90
2.1. Les rapports entre informatique et temps	90
2.2. Identification des temps des bases de données	91
3. Approches et classification des modèles de données spatio-temporels	93
3.1. Les modèles de données à base unique	95
3.1.1. Cas des modèles à base spatiale	95
3.1.2. Cas des modèles à base temporelle	96
3.1.3. Cas des modèles à base thématique	98
3.2. Les structurations selon des bases organisationnelles multiples	100
3.2.1. Le modèle Triad	100
3.2.2. Le modèle trois domaines	101
3.3. Une classification des modèles : un premier bilan	103
4. Vers une structuration des données adaptée à notre démarche	104
4.1. Éléments constitutifs du modèle de données	104
4.1.1 Modélisation de l'information géographique	104
4.1.2. Modélisation de l'information temporelle	105
4.1.3. Modélisation de l'information thématique	106
4.2. Proposition d'un modèle de données	107
4.3. Structure générale du système d'information	110
Conclusion	112
Troisième partie – Une première approche des mouvements quotidiens par la géovisualisation	114
Introduction	115
Chapitre 1 - Un état de l'art et ses implications	116
1. Une approche classique restreinte	118
1.1. Des cartes de mouvements inscrites dans l'évolution générale de la cartographie thématique	118
1.1.1. Les grandes périodes	119
1.1.2. La place de la cartographie des mouvements	121
1.2. Une sémiologie graphique insuffisante pour exprimer les changements	125
1.2.1. La carte : un support visuel de transmission d'informations	125
1.2.2. Une première approche de la sémiologie graphique adaptée aux changements qu'ils soient temporels ou spatiaux	126
1.2.3. Une classification selon les catégories de temps	129
1.2.4. La représentation du changement par la sémiologie graphique : un bilan mitigé	130
1.3. La représentation des déplacements : les possibilités issues de la Time Geography	131
1.3.1. Approche générale proposée par T. Hägerstrand	132
1.3.2. Des solutions cartographiques originales	134
1.4. L'approche originale de W. Tobler pour visualiser les flux	140
1.4.1. Approche classique et complexe de la représentation des flux	141
1.4.2. Les solutions proposées par W. Tobler	146

1.4.2.1 Une solution simple : la sélection d'informations	146
1.4.2.2. Un apport de la modélisation : d'une carte de flux à un champ vectoriel	149
1.4.3. Synthèse des propositions	150
2. Une cartographie en mutation	151
2.1. Une solution technique : l'animation	153
2.1.1. Animer pour recréer du mouvement	153
2.1.1.1. Une origine pré-cinématographique	154
2.1.1.2. Une transposition précoce en cartographie	155
2.1.2. Différentes formes d'animation	157
2.1.2.1. Une classification selon une entrée temporelle	157
2.1.2.2. Une classification selon le lien entre contenu de l'image et position de l'observateur	160
2.1.2.3. Une classification selon les techniques de réalisation	161
2.2. Quelles conséquences en cartographie ?	162
2.2.1. L'ajout de nouvelles variables dynamiques	163
2.2.2. Une contrainte indispensable : l'interactivité	165
2.2.3. Vers une cartographie multimédia	169
2.2.4. Une communication par la carte modifiée	172
3. Vers une analyse exploratoire des données	174
3.1. Les changements possibles de points dans l'espace	175
3.2. Un problème : la masse considérable des données	178
3.2.1. De la représentation à la géovisualisation	179
3.2.2. Vers un globe virtuel support unique de données spatialisées	180
3.3. Analyse spatiale	183
3.3.1. Centralité et dispersion	184
3.3.2. Distance au centre	188
Chapitre 2 - D'une cartographie « traditionnelle » à un outil de géovisualisation : une application à l'Aire urbaine belfortaine	191
1. L'Aire urbaine Belfort-Montbéliard-Héricourt-Delle et son territoire	193
1.1. Une situation géographique privilégiée	194
1.2. Des territoires en mutation	195
1.2.1. Mutations territoriales	195
1.2.2. Mutations industrielles	196
1.2.3. Mutations tertiaires	197
1.3. La mobilité, thème transversal du projet Aire urbaine	197
2. Une première application : la représentation des migrations quotidiennes	198
2.1. Cas des migrations domicile-travail	198
2.1.1. La 3D pour accentuer et mieux percevoir les contrastes	200
2.1.2. L'animation pour interagir avec les données	201
2.2. Une vision globale des mouvements quotidiens	202
2.2.1. Des parcours individuels...	202
2.2.2. ...à l'approche globale et synoptique de l'ensemble du territoire	202
3. Une deuxième application concernant une mobilité originale, la mobilité événementielle	205
3.1. De la fourmilière urbaine...	207
3.2. ...à l'analyse exploratoire des données	207
Conclusion	211

Conclusion générale	213
Bibliographie	217
Annexes	233
Annexe 1 - Capacité et fréquentation du stade Bonal	234
Annexe 2 - Enquête sur les déplacements des spectateurs du stade Bonal (Questionnaire complet)	241
Annexe 3 - Reconstruction des lieux de résidence avec les données de l'EMD	245
Annexe 4 - Paramétrage des tronçons	247
Annexe 5 - Connexion entre un SIG et une base de données externe Application à Microsoft Access et ArcGIS	249
Table des matières	254
Table des figures	260
Annexes multimédia	 Voir CD-ROM

Table des figures

Figure 1.01 – Conception linéaire du temps : entre passé, présent et futur	14
Figure 1.02 – Conception cyclique du temps : un éternel recommencement	16
Figure 1.03 – Coexistence de différents temps	18
Figure 1.04 – Un allongement des distances quotidiennes parcourues	26
Figure 1.05 – Mobilité quotidienne et chaîne d'activités et de déplacements	27
Figure 1.06 – Classification des mobilités selon les échelles spatiales et temporelles	29
Figure 1.07 – Classification hiérarchique des mobilités	30
Figure 1.08 – Visualiser les emplois du temps des activités et des déplacements	31
Figure 1.09 – Schéma général de la démarche	32
Figure 2.01 – Caractéristiques des informations « activité » à collecter	35
Figure 2.02 – Caractéristiques des informations « déplacement » à collecter	36
Figure 2.03 – Extrait du RGP	40
Figure 2.04 – Description du contenu du fichier Communes...Mobilités	40
Figure 2.05 – Structure du fichier Communes...Mobilités	41
Figure 2.06 – Enquête Emploi du Temps - Extrait du carnet journalier	42
Figure 2.07 – De l'emploi du temps d'activités à l'emploi du temps localisé	43
Figure 2.08 – Description des données de l'Enquête Ménages Déplacements	46
Figure 2.09 – Exemple de fiche déplacement	48
Figure 2.10 – Vues aériennes du site sochalien de PSA Peugeot-Citroën	49
Figure 2.11 – Départ des cars Peugeot depuis le site sochalien en fin de journée	50
Figure 2.12 – Réseau de ramassage des employés du site sochalien de Peugeot	51
Figure 2.13 – Part de salariés transportés par les bus de ramassage	51
Figure 2.14 – Extrait du fichier salariés de PSA Peugeot Citroën – site de Sochaux	52
Figure 2.15 – Tableau de synthèse	55
Figure 2.16 – Stade Bonal de Sochaux-Montbéliard	57
Figure 2.17 – Un stade situé entre le centre ville et le site de production automobile	57
Figure 2.18 – Démarche du projet Bonal	58
Figure 2.19 – Configuration des tribunes du stade Bonal	61

Figure 2.20 – Matches de référence utilisés pour les données de fréquentation	61
Figure 2.21 – Fréquentation et population enquêtée par tribune	62
Figure 2.22 – Extrait du questionnaire	64
Figure 2.23 – Schéma simplifié d'un déplacement domicile-stade	65
Figure 2.24 – Synthèse des données et comparaison avec l'EMD	66
Figure 2.25 – Agrégation et désagrégation d'information	69
Figure 2.26 – Le centre moyen : cas d'un polygone convexe	70
Figure 2.27 – Comparaison des approches à partir d'un exemple	71
Figure 2.28 – Comparaison des approches à partir d'un exemple	73
Figure 2.29 – Affiner la localisation des lieux d'activités	75
Figure 2.30 – Organigramme de décision	76
Figure 2.31 – Chemin optimum et moindre effort	77
Figure 2.32 – Le plus court chemin, un problème anodin...	78
Figure 2.33 – Chemin optimum et moindre effort	78
Figure 2.34 – Méthode « Certu » de reconstitution des distances à partir des distances à vol d'oiseau	79
Figure 2.35 – Le plus court chemin, une réalité plus complexe	80
Figure 2.36 – Représentation de l'adjacence des sommets par listes et par matrices de continuité	82
Figure 2.37 – Représentation des poids des arcs par listes et par matrices	82
Figure 2.38 – Algorithme de Dijkstra	85
Figure 2.39 – Algorithme de Floyd	86
Figure 2.40 – Tableaux d'informations classiques	89
Figure 2.41 – Les temps de la base de données	92
Figure 2.42 – Position d'un objet spatio-temporel dans un espace tridimensionnel	93
Figure 2.43 – Changements d'états possibles d'un objet spatio-temporel	94
Figure 2.44 – La dimension spatiale comme base organisationnelle	95
Figure 2.45 – Un exemple issu d'une structuration à base spatiale	96
Figure 2.46 – La dimension temporelle comme base organisationnelle	96
Figure 2.47 – La modélisation temporelle d'états : un empilement de couches	97
Figure 2.48 – Une modélisation temporelle à base événementielle	98
Figure 2.49 – Une organisation des données à base thématique	99
Figure 2.50 – Les dimensions composant la structure du modèle Triad	100
Figure 2.51 – Imbrication des requêtes possibles	101
Figure 2.52 – Base conceptuelle du modèle trois domaines	102
Figure 2.53 – Proposition de classification des modèles de données analysés	103
Figure 2.54 – Modélisation de l'information géographique : exemple d'une rue	105
Figure 2.55 – Modélisation de l'information temporelle	106
Figure 2.56 – Modélisation de l'information thématique	107
Figure 2.57 – Principe de modélisation des déplacements	108

Figure 2.58 – Base de données spatio-temporelle. Modèle Conceptuel des Données	109
Figure 2.59 – Connexion entre la base de données spatio-temporelle et le SIG	110
Figure 2.60 – Principes organisationnels du SGBD	111
Figure 2.61 – Schéma général de la démarche après les étapes de collecte et de structuration des données	113
Figure 3.01 – L'étape de représentation de l'information dans le raisonnement	115
Figure 3.02 – Temps et changement	116
Figure 3.03 – Les composantes d'une carte spatio-temporelle	117
Figure 3.04 – Apparition et évolution de la visualisation moderne des données	118
Figure 3.05 – Carte de H.D. Harness, première carte de flux européenne connue	122
Figure 3.06 – Carte de Minard, première carte de flux française	123
Figure 3.07 – La marche de l'armée napoléonienne sur Moscou	124
Figure 3.08 – Schéma de communication adapté à la cartographie	125
Figure 3.09 – Schéma de communication adapté à la cartographie	127
Figure 3.10 – Une série d'images ordonnée dans le temps	127
Figure 3.11 – Trace laissée par un mobile	128
Figure 3.12 – Utilisation d'une variable visuelle de troisième dimension	128
Figure 3.13 – Temps et sémiologie graphique : proposition de classification	129
Figure 3.14 – Propriétés des systèmes de perception auditif et visuel adaptées à l'animation	131
Figure 3.15 – Trajectoire d'un individu dans un aquarium spatio-temporel	134
Figure 3.16 – Relations spatio-temporelles entre deux individus dans l'aquarium spatio-temporel	135
Figure 3.17 – Des possibilités de présences spatiales et temporelles entre individus	135
Figure 3.18 – Exemple de chemins spatio-temporels de deux individus se rendant au stade Bonal	136
Figure 3.19 – Concordance des budgets-temps de deux individus	137
Figure 3.20 – Primitives géométriques pour une implémentation dans un SIG	138
Figure 3.21 – Chemins spatio-temporels d'environ 400 individus se rendant au stade Bonal pour un match de football	139
Figure 3.22 – Données nécessaires pour une cartographie des flux	141
Figure 3.23 – Cartographie des flux et lisibilité	142
Figure 3.24 – Représentations graphiques des liaisons potentielles en fonction du nombre de lieux	143
Figure 3.25 – Mise en relation de la part des liaisons les plus importantes avec la part cumulée d'individus en mouvement	144
Figure 3.26 – Exemple de cartographie des marges de la matrice d'échanges	145
Figure 3.27 – Possibilités de réduction d'information	146
Figure 3.28 – Composantes d'un flux	147
Figure 3.29 – Choix graphiques de représentation des flux	148

Figure 3.30 – Exemples de cartographies des mouvements selon W. Tobler	150
Figure 3.31 – Synthèse des solutions proposées par W. Tobler	151
Figure 3.32 – Cinq images extraites de l'animation montrant l'invasion de Varsovie en 1939	156
Figure 3.33 – Un exemple d'animation temporelle : une série de cartes d'offre urbaine	157
Figure 3.34 – Un exemple d'animation atemporelle : passage d'un espace de référence à un espace fonctionnel	158
Figure 3.35 – Un exemple d'animation hybride : comparaison visuelle des espaces fonctionnels ferroviaires 1980, 1994, 2015.	159
Figure 3.36 – Rapport entre position de l'observateur et contenu de l'image	160
Figure 3.37 – Classification des techniques de construction d'animations	162
Figure 3.38 – De la carte réelle aux cartes virtuelles	163
Figure 3.39 – Variable dynamique durée	164
Figure 3.40 – Variable dynamique taux de changement	164
Figure 3.41 – Variable dynamique ordre	165
Figure 3.42 – Schéma de la communication intégrant l'interactivité	166
Figure 3.43 – Les composantes de l'interactivité	167
Figure 3.44 – Les composantes de l'interactivité	168
Figure 3.45 – Une carte multimédia	169
Figure 3.46 – Variables sensorielles multimédia	170
Figure 3.47 – Cartographie et hyperliens	171
Figure 3.48 – Un exemple d'hypercarte donnant accès à des informations contextuelles	172
Figure 3.49 – Un schéma de communication multi-dimensionnel	173
Figure 3.50 – Lien simplifié « base de données – Interface d'animation »	174
Figure 3.51 – Exemples de questions pour appréhender un semis spatio-temporel	175
Figure 3.52 – Possibilités d'évolution d'un semis de points	176
Figure 3.53 – Illustration d'un changement d'état d'un semis de points	177
Figure 3.54 – Géo-Visualisation et démarche cartographique	179
Figure 3.55 – Google Earth, une interface intuitive adaptée à tout public	181
Figure 3.56 – Google Earth, un fonctionnement analogue à un moteur de recherche classique	181
Figure 3.57 – Le globe virtuel, une interface ouverte pour une exploration spatio-temporelle	182
Figure 3.58 – Représentation élémentaire du semis	183
Figure 3.59 – Evolution temporelle de la Distance moyenne du semis au stade lors d'un avant-match au stade Bonal	185
Figure 3.60 – Evolution temporelle de la Distance de Bachi lors d'un avant-match au stade Bonal	185
Figure 3.61 – Exemple de représentation cartographique de la distance standard lors d'un avant-match à Bonal	186
Figure 3.62 – Forme de l'ellipse de variabilité et caractéristiques de la répartition du semis	187

Figure 3.63 – Exemple de représentation cartographique de l'ellipse de variabilité lors d'un avant match à Bonal	187
Figure 3.64 – Nombre d'individus selon la distance au centre : exemple un avant-match à Bonal	188
Figure 3.65 – Représentation cartographique en 3D du nombre d'individus selon la distance au centre	189
Figure 3.66 – Schéma de la démarche : l'étape de visualisation	190
Figure 3.67 – Schéma de la démarche : l'étape de visualisation	192
Figure 3.68 – Etapes nécessaires pour une aide à la décision adaptée	193
Figure 3.69 – L'Aire urbaine Belfort-Montbéliard dans l'est français	194
Figure 3.70 – L'Aire urbaine : une imbrication d'échelles	195
Figure 3.71 – Représentation classique des migrations domicile-travail	199
Figure 3.72 – La 3D, une solution pour faciliter la lecture	200
Figure 3.73 – L'interactivité, une solution pour choisir les données à représenter	201
Figure 3.74 – Parcours quotidiens individuels	203
Figure 3.75 – Une vision globale de la dynamique quotidienne	204
Figure 3.76 – Une visualisation multi-échelle fonction de la nature des problématiques	205
Figure 3.77 – Zone de chalandise du FC Sochaux-Montbéliard	206
Figure 3.78 – Visualiser un avant-match à Bonal	208
Figure 3.79 – Visualiser un après-match à Bonal	209
Figure 3.80 – Visualisation temporelle d'un match à Bonal	210
Figure 3.81 – De la construction à la communication visuelle	211
Figure 3.82 – Schéma général complet de la démarche	212

