

Quand l'information géographique se met au service des transports publics urbains

Une approche spatio-temporelle
appliquée à l'agglomération bisontine

Thomas Thevenin

Thèse de doctorat
Université de Franche-Comté
Décembre 2002

Quand l'information géographique se met au service des transports publics urbains

*Une approche spatio-temporelle appliquée à
l'agglomération bisontine*

Thomas Thevenin

Thèse soutenue à Besançon le 18 décembre 2002, devant le jury composé de :

- | | |
|-----------------------------------|---|
| Monsieur Francis Beaucire | Professeur de géographie, université de Cergy-Pontoise |
| Monsieur Thierry Brossard | Directeur de recherche au CNRS, université de Franche-Comté |
| Monsieur Jean-Paul Cheylan | Directeur de recherche au CNRS, université de Montpellier |
| Monsieur Didier Josselin | Chargé de recherche au CNRS, université de Franche-Comté |
| Monsieur Marius Thériault | Professeur de géographie, université Laval (Canada) |

Thèse de doctorat en géographie réalisée sous la direction de
Thierry Brossard et Didier Josselin
Université de Franche-Comté

Remerciements

A monsieur Didier Josselin, Chargé de recherche au CNRS qui fut l'initiateur de cette thèse, j'adresse tous mes remerciements. Pour toutes les opportunités qu'il a su créer et toutes celles que nous partagerons encore, je l'espère.

A monsieur Thierry Brossard, Directeur de recherche au CNRS, qui a pris en charge la direction de cette thèse au cours de ces trois années. Merci plus particulièrement pour les précieux conseils qui m'ont permis de terminer cette recherche.

A monsieur Francis Beaucire, Professeur à l'université de Cergy-Pontoise, pour avoir accepté d'assurer la présidence de mon jury.

A messieurs Marius Thériault, Professeur à l'université Laval, Canada, et Jean-Paul Cheylan, Directeur de recherche au CNRS à Montpellier, qui ont accepté de participer en tant que rapporteurs à mon jury, malgré la distance qui nous sépare.

A Jérôme Bolot, compagnon géographe, programmeur de la première heure, sans lequel je ne me serais jamais lancé dans une telle aventure.

A Arnaud Banos pour son dynamisme et pour m'avoir mis sur la voie de l'exploration.

A Laurent Sénécat, ancien responsable marketing de la CTB et Marie-Laure Journet, ingénieur au service voirie de Besançon pour avoir participé à l'avancée de mes travaux.

A Christophe Lang et Pascal Chatonnay, Maîtres de conférence au laboratoire d'informatique de Franche-Comté, pour avoir accepté de collaborer à plusieurs programmes de recherche interdisciplinaires.

A Marie-Christine Fauvet, du laboratoire IMAG, pour une fructueuse collaboration que nous renouvellerons, je l'espère prochainement.

A Jean-Christophe Foltête, Mehdi Flitti et François-Pierre Tourneux pour avoir mis à ma disposition leurs compétences en matière d'imagerie satellite.

Aux membres du laboratoire THEMA au sein duquel j'ai trouvé d'excellentes conditions de travail tant sur le plan matériel que sur le plan humain, tout au long de mes études.

Merci à ma famille pour ses encouragements tout au long de mes études.

Merci à Mathieu et à Marine, patients anglophones, qui m'ont permis de me faire entendre jusqu'aux antipodes.

Enfin, merci à celle qui m'a supporté dans tous les sens du terme ces dernières années. Pour m'avoir prêté ton regard averti pendant les longues séances de relectures et pour tout le reste... je te remercie Mélanie.

Le rêve du cartographe

James Cowan

Dans la Venise du XVI^e siècle, Fra Mauro, un moine cartographe a pour projet dresser l'ultime carte du monde. Au terme de son entreprise il se pose la question suivante :

"Que vais-je faire de ce document ? Dois-je l'offrir à la grande famille des voyageurs qui se sont appropriés le monde – les explorateurs, les pèlerins et les marchands, qui reculent toujours les limites de leurs voyages ? Reconnaîtraient-ils des aires familières dans ces lignes de rhumbs et ces roses des vents ? N'en rejettent-ils pas l'immatérialité, n'y voyant que les tâtonnements d'un charlatan ? Il est difficile de savoir comment les autres pourraient juger cette carte faite des rêves et des visions d'un seul homme – non, d'un grand nombre d'hommes qui l'ont chargée des significations qu'ils ont contribués à lui conférer."

INTRODUCTION GENERALE

La ville, longtemps bien circonscrite tend à se définir comme un territoire aux contours mouvants et incertains, rythmés par des activités en continu (Godard, 2001). Ces nouvelles formes urbaines compliquent profondément la mobilité quotidienne des citoyens. A la fois plus intense et plus fréquente, celle-ci devient aussi plus diffuse dans l'espace, tandis qu'elle se désynchronise. A tel point que les notions d'heure de pointe et d'heure creuse, symbolisées par le fameux "métro-boulot-dodo", perdent de leur à propos. Puis, différentes trajectoires de déplacements coexistent au sein des villes. Certains spécialistes opposent une "mobilité insulaire", déterminée par des trajets et un agenda routinier, à une "mobilité d'archipel" caractérisée par des parcours moins concentrés dans le temps. Cette tendance est renforcée par les bouleversements des rythmes individuels et collectifs liés aux grandes transformations sociales et économiques (Bailly et al., 2001).

Ces évolutions de la mobilité urbaine posent aux responsables des villes et plus particulièrement des transports publics des problèmes considérables en termes de gestion urbaine et de déplacement. Jusqu'à présent conçu sur le modèle fordien, où tout le monde fait le même mouvement en même temps et à la même heure, les transports publics doivent maintenant s'adapter au modèle post-fordien, dans lequel chacun se déplace à son rythme, en fonction d'horaires moins prévisibles (Acher, 1999). Dans ce contexte, l'intermodalité est souvent invoquée par les pouvoirs publics comme la solution idéale pour répondre aux besoins de mobilité. Notre projet procède de cette préoccupation. En effet, au cours de cette thèse, nous proposons de replacer l'intermodalité dans un triptyque qui associe les modes doux (piéton) et lourds (bus, tramway...) avec une solution de transport plus souple (le transport collectif à la demande). Le transport à la demande n'est certes pas nouveau mais il reste un mode de gestion anecdotique, réservé aux bouts de ligne et aux zones rurales (Ascher, 2000 ; Banos et al., 2001a ; Lebreton et al., 2000). En remplaçant ce moyen de transport dans un système intermodal, il devient alors capable de concilier les besoins de mobilité collectifs et individuels.

Ces questions techniques, apparemment réservées aux métiers des transports, ouvrent de nouvelles problématiques de recherche pour de nombreuses disciplines, y compris dans les sciences sociales. En tant que géographe, notre intention est de mettre au

point un protocole d'acquisition et de structuration d'une base de données sur les transports publics, destinée à satisfaire un double objectif de planification et "d'opérationnalité". Dans un premier temps il s'agira de développer une connaissance fine du système de transport, afin d'assister les aménageurs et les élus dans la définition de politiques adaptées aux transformations de la mobilité urbaine. Dans un second temps ces informations désagrégées s'intégreront au processus d'innovation, en participant à l'élaboration et au fonctionnement d'un service public de la mobilité fondé sur le triptyque des modes souples-lourds-doux.

Une géographie active...

La problématique générale de cette thèse s'inscrit dans la tradition d'une géographie active, consciente des liens qu'elle induit entre les produits de sa recherche et ses utilisateurs. Les hypothèses de travail formulées au cours de cette recherche font ainsi l'objet d'une confrontation systématique avec la réalité du terrain. Notre approche s'affirme par son caractère expérimental. Pour cette raison, un secteur d'étude a été choisi au plus proche puisqu'il s'agit de l'agglomération bisontine. En outre, ce terrain d'étude est suffisamment représentatif des transformations urbaines pour que la démarche proposée prenne une démarche générale. Sous l'influence des lois Chevènement du 12 juillet 1999, Besançon a étendu ses limites depuis janvier 2001 ; comme de nombreuses cités françaises, elle a changé son ancien statut juridique de District urbain contre celui de Communauté d'agglomération. L'organisation des transports publics est concernée au premier chef par la création de cette nouvelle entité administrative composée de 57 communes. Dans ce contexte de mutation, en raison des impératifs de la thèse, nous avons dû mettre un terme à nos investigations en septembre 2002, date à laquelle de nombreuses transformations ont été apportées au réseau avec la création d'un système intégré.

Le caractère appliqué de ce travail relevant de préoccupations d'actualité a sans aucun doute facilité notre exercice sur la mobilité, puisque ces trois années d'études ont bénéficié du soutien d'un organisme particulièrement sensible aux thèmes des transports : le Conseil régional de Franche-Comté. De plus, ces trois années de thèse se sont reliées à trois projets dans la ligne de notre thème de recherche. Premièrement, notre participation à un programme financé par le PREDIT¹ sur le thème des transports à la demande a largement contribué à élargir notre réflexion sur l'intermodalité. Le second projet relevant du programme de l'ACI-Ville, soutenu par le ministère de la recherche, a davantage éveillé notre curiosité aux problèmes de la mobilité associée à la morphologie des villes. Enfin, l'avancée de nos travaux a permis d'initier une collaboration sur la modélisation spatio-temporelle des réseaux de transports publics, dans le cadre de l'Institut des Sciences et Techniques de

¹ Programme national de Recherche et d'Innovations dans les Transports terrestres

l'Industrie (ISTI). Notre collaboration avec un informaticien a été particulièrement fructueuse.

... tournée vers l'interdisciplinarité

Ces trois opérations ont largement enrichi notre expérience du travail de recherche en équipe. D'abord en partenariat avec les métiers des transports urbains, notre action a permis d'évaluer les attentes des professionnels du marketing et de l'exploitation, tout en découvrant les problèmes posés aux aménageurs et aux élus. Ensuite dans le contexte de l'université, notre pratique fut guidée par l'interdisciplinarité notamment avec des informaticiens, spécialisés pour certains dans la théorie des graphes, et pour d'autres dans les bases de données spatio-temporelles. Le laboratoire THEMA nous a enfin permis de travailler dans un cercle de géographes aux profils variés. Cette unité rassemble des chercheurs spécialisés dans des domaines aussi différents que l'analyse spatiale exploratoire, le traitement d'images satellites ou encore le développement d'outils d'analyse spatiale spécifiques. Les collaborations que nous avons pu nouer, nous ont permis d'aborder la thématique des transports publics dans une optique fécondée par une grande diversité d'approche.

Une information géographique fine référencée dans l'espace et le temps

La loi sur l'air avec les Plans de Déplacement Urbain (PDU) et plus récemment la loi Solidarité et Renouvellement Urbain (SRU) ont réaffirmé le besoin d'appréhender le système de transport dans son ensemble, selon des échelles territoriales différenciées pour étudier la mobilité du proche au lointain. Ces orientations réglementaires incitent à développer la connaissance des transports afin de mieux saisir les enchaînements de la mobilité dans l'espace mais aussi dans le temps. Le paradigme Espace-Temps-Activité, inspiré par l'école suédoise de la Time Géographie, a constitué une piste de recherche intéressante pour aborder le système des mobilités à une échelle désagrégée. C'est une voie que nous avons reprise.

Les concepts qui sous-tendent cette approche nécessitent le recours à des outils spécifiques, capables de gérer et traiter des informations sur le système de transport dans sa double dimension spatiale et temporelle. Les Systèmes d'Information Géographique dédiés aux Transports ont été élaborés dans l'objectif de fédérer ces bases de données spécifiques. Les aptitudes des SIG-T ont été mises à profit pour connaître la réalité du réseau de transport public et ses caractéristiques dans l'espace et le temps. Loin de satisfaire aux exigences d'un examen exhaustif, elles ont été complétées par d'autres techniques d'analyse spatiale.

L'analyse de l'information spatio-temporelle s'ouvre sur un champ d'investigation important, la représentation cartographique. La vitesse, liée à l'automobile, diminue la contrainte de distance. Aussi convient-il d'établir des procédés intégrant la

représentation des temps d'accès. Les cartes lissées en isochrones offrent une première ressource. Les blocs diagrammes ou les anamorphoses peuvent rendre compte de la déformation des territoires sous l'effet du temps. Ces modes de représentation demandent à être adaptés pour rendre compte des échelles spatiales et temporelles des dynamiques qui animent le système de transport.

Ces principes méthodologiques, fondés sur une information géographique précisément référencée dans l'espace et dans le temps, doivent donner son originalité et sa consistance à notre thèse.

L'itinéraire proposé

L'itinéraire proposé au lecteur de cet ouvrage comporte trois grandes étapes. La première partie a pour objet de cerner les principaux enjeux des politiques de transport public. Une étude des relations entre les dynamiques urbaines et les comportements de déplacement permet de repérer les nouveaux besoins de mobilité. Ensuite, les adaptations effectuées par les métiers du transport sont envisagées sous l'angle d'un projet intermodal destiné à concilier transports individuels avec transports collectifs. Cette conception de l'intermodalité est enfin confrontée au contexte particulier de notre terrain d'étude où ville et campagne coexistent : la Communauté d'Agglomération du Grand Besançon (CAGB).

La seconde partie est consacrée aux options méthodologiques retenues pour replacer les caractéristiques multimodales du système de transport dans l'espace et le temps. Pour cela, un inventaire des démarches couramment employées dans le domaine des transports est d'abord effectué, avant de proposer quelques pistes novatrices fondées sur la construction d'un Système d'Information Géographique dédié aux Transports. Un corps méthodologique général est posé pour la conception d'un SIG-T destiné à l'analyse des réseaux de transports publics urbains.

La dernière partie présente trois expériences effectuées sur le terrain d'étude de l'agglomération de Besançon. Fondés sur la notion d'accessibilité, de nouveaux critères d'évaluation sont proposés. Puis, une méthode d'animation cartographique, réalisée à partir d'une enquête ménage, permet une représentation spatio-temporelle des rythmes urbains induits par la mobilité quotidienne. Nous verrons enfin comment les ambitions et les fonctions de cette recherche se sont concrétisées dans un service de transport public à la demande actuellement en fonctionnement à Besançon.

PREMIÈRE PARTIE

LA POLITIQUE DES TRANSPORTS PUBLICS FACE AUX MUTATIONS URBAINES : L'ENJEU D'UNE RECHERCHE

INTRODUCTION DE LA PREMIERE PARTIE

La transformation du travail dans l'économie des services, l'urbanisation quasi généralisée, l'individualisation des modes de vie redessinent de nouvelles configurations aux seins des sociétés industrialisés (Bailly, 2001). Les changements survenus ces 30 dernières années ont été aussi profond que pour la période 1945 et 1968. Cette tendance devrait se poursuivre dans les dix prochaines d'années (Ascher, 1998). Ces évolutions transforment particulièrement la physionomie des villes et les rythmes de la vie quotidienne. De nouvelles pratiques de mobilité ont ainsi émergé, posant ainsi de nouveaux problèmes en terme de gestion urbaine.

Pour beaucoup de professionnels du territoire, l'usage de la voiture, symbole d'une mobilité sans limite, apparaît comme la seule réponse aux attentes de la population. L'urbanisation est ainsi articulée autour des infrastructures routières, ces dernières accroissent l'usage de l'automobile et disqualifient les autres modes de transport. Ce mécanisme auto-entretenu de l'organisation urbaine autour de l'automobile ne pourrait-il pas être capté au profit des transports publics ? Les Plans de Déplacement Urbain ont été conçus pour aller dans ce sens et chercher à concilier urbanisme et transport. Par son positionnement, notre travail entend contribuer à cette demande en cherchant des éléments de réponses au questionnement suivant : quelles politiques de transports publics adopter face aux mutations urbaines ?

Dans un premier temps, il convient de circonscrire nos objectifs en précisant les enjeux qui leur sont liés. A cette fin, un premier chapitre permettra de poser les données du problème en fixant les principales caractéristiques des mutations urbaines

observées ; ceci est évidemment un préalable pour faire ressortir les enjeux de la politique des transports publics.

Concilier les intérêts individuels et collectifs constitue un enjeu majeur dans la définition des politiques de transports publics. Les principales démarches conduites dans ce domaine concernent l'intermodalité. Un bilan des expériences françaises sera ainsi présenté dans un second chapitre ; cette synthèse montrera que les initiatives les plus concluantes ont été menées, à juste titre, dans les grandes métropoles françaises.

Les objectifs de ce travail de recherche ont été ainsi définis à partir des enjeux de la politique de transport dans une agglomération de taille moyenne. La Communauté d'Agglomération du Grand Besançon a été retenue pour guider notre réflexion dans la mesure où nous avons là les points d'appuis nécessaires.

Chapitre 1

Les territoires urbains en mouvement

Le développement du travail féminin, l'augmentation de la durée de vie, la réduction du temps de travail, sont autant de faits significatifs du changement global des populations des pays industrialisés, qui génèrent de nouveaux besoins sociaux. Ces évolutions façonnent ainsi les territoires urbains et les modes de vie des personnes. Les besoins sociaux de mobilité changent donc sensiblement et créent de nouvelles exigences à l'égard des transports publics urbains. Pour répondre à ces attentes, il s'agit d'identifier puis de comprendre les principaux mouvements qui animent les territoires urbains. Les mutations des territoires de la ville seront tout d'abord caractérisées, avant d'aborder les transformations qu'elles induisent aux temporalités de la vie urbaine. Ces nouveaux rapports à l'espace-temps modifient la mobilité quotidienne des personnes ; cette relation une fois établie permettra, in fine, d'appréhender les principaux enjeux de la politique des transports publics.

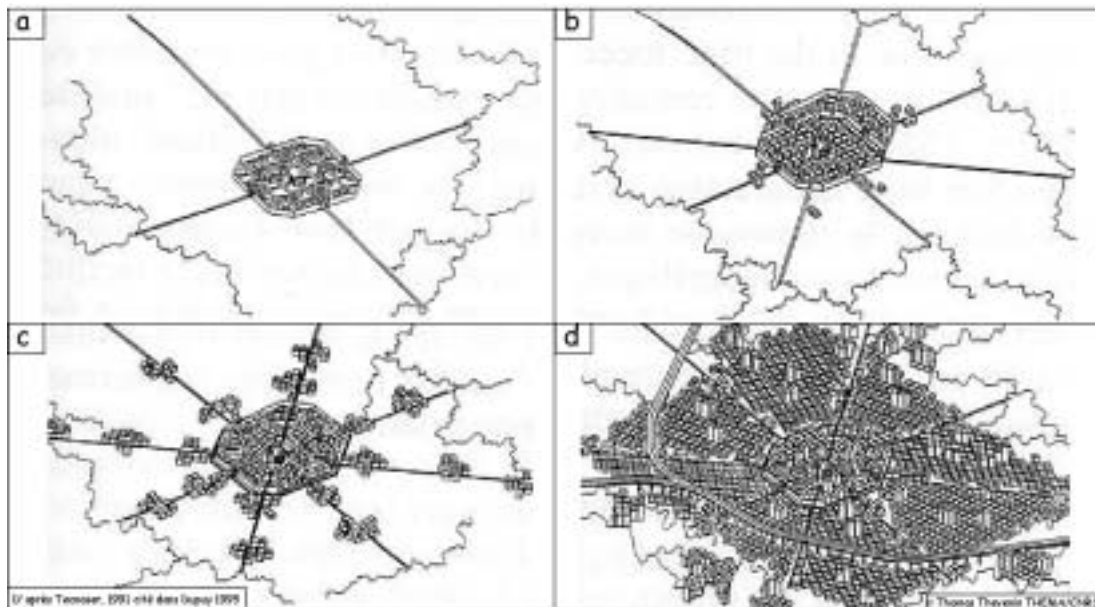
1. La métropolisation des territoires urbains

La métropolisation dépasse la simple définition du phénomène de concentration des hommes et des activités dans les grandes agglomérations. Ce processus met en relation des aires métropolisées avec des villes et des villages de plus en plus éloignés. La morphologie des villes se voit bouleversée sur ses marges tandis que les zones classiquement urbanisées se recomposent. De ces transformations naissent de nouveaux territoires urbains aux limites changeantes et imprécises, ce qui pose de nouvelles questions pour la gestion de la ville et plus particulièrement pour l'organisation des transports.

1.1. L'expansion urbaine

Les métropoles ont été marquées à travers l'histoire par un double processus de concentration : l'extension puis l'absorption des tissus urbains, qu'un schéma simplifié de l'évolution des territoires urbains peut servir à illustrer et à camper dans ses étapes majeures (figure 1). L'extension des villes s'effectue en Europe dès le Moyen-Age (figure 1a) (Frankhauser, 1994). Le noyau urbain dense est complété par de nouveaux centres résidentiels et commerciaux situés aux portes de la cité, les faubourgs (figure 1b). A mesure que le réseau routier s'étoffe extra muros, les faubourgs s'allongent le long de ces axes. Les limites géographiques de la ville sont ainsi déterminées par la marche à pied (Beaucire, 1996).

figure 1 : Evolution des territoires urbains

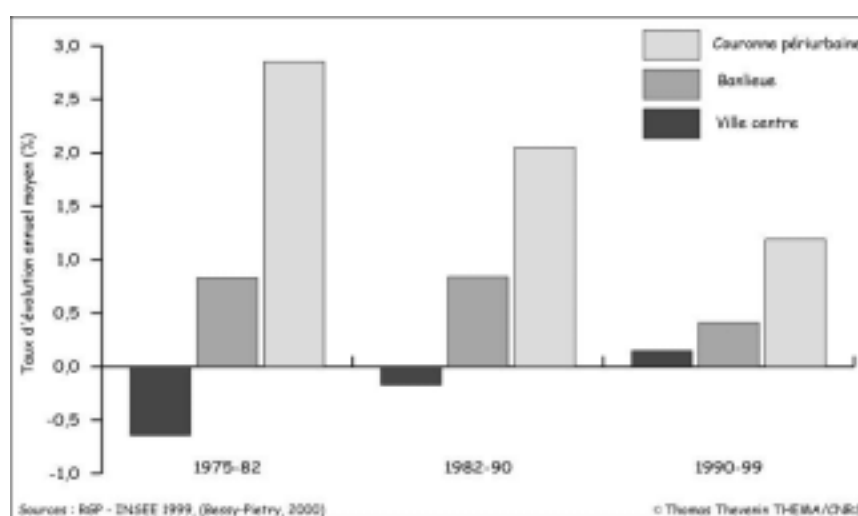


Avec la révolution industrielle, au 19^e siècle, l'extension urbaine est guidée par les transports collectifs (figure 1c). Autour des gares ferroviaires et des arrêts de tramways se forment des quartiers résidentiels pour les couches aisées, ainsi que des faubourgs réservés aux usines et à leurs ouvriers. Le rôle des transports urbains a été ainsi déterminant dans la dilatation des territoires urbains et la recomposition de leur morphologie dite "en doigts de gant" (Beaucire, 1996). Puis, la démocratisation de l'automobile a transformé, dans la première partie du 20^e siècle, la géographie fortement hiérarchisée de l'espace urbain précédent. Les espaces laissés libres sont peu à peu absorbés par l'urbanisation (figure 1d), formant les "domaines de la voiture" (Dupuy 1995). L'automobile permet d'atteindre presque n'importe quel point, elle constitue ainsi un idéal d'espace "d'iso-accessibilité" (Bordreuil, 1995).

1.2. Fragmentation de l'espace périurbain

L'extension urbaine s'est accélérée dès l'après guerre avec la démocratisation de la voiture et a induit l'éparpillement de l'habitat sur de vastes espaces dénommés par G. Dupuy, *les territoires de l'automobile* (1995). Le déploiement de ces *hybridations urbaines* (Godard, 2001) est particulièrement frappant aux Etats-Unis qui, tout au long du siècle dernier, ont vu se développer conjointement, l'industrie automobile et le taux de motorisation le plus élevé de la planète. Ce double mouvement d'urbanisation et de motorisation s'inscrit parfaitement dans le modèle fordien qui combine production et consommation de masse (Dupuy, 2000).

figure 2 : taux d'évolution annuel de la population des unités urbaines françaises

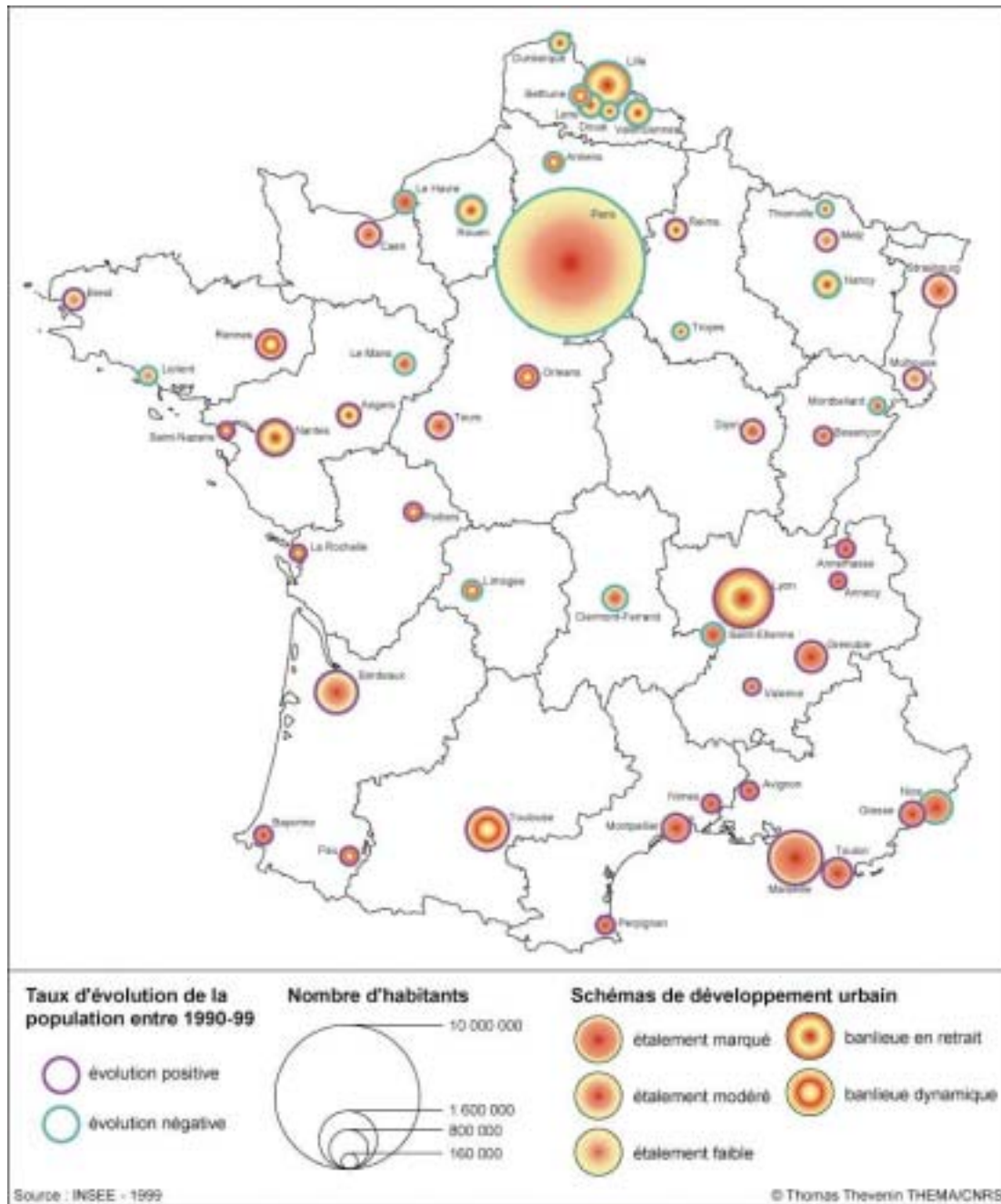


La France n'a pas échappé à ce mécanisme, le mouvement de périurbanisation s'est opéré parallèlement à la motorisation des ménages dès les années 1960 et s'est particulièrement accéléré à partir de 1975. Alors que la population des unités urbaines augmente en effet de 2,85 % entre 1975 et 1982, les villes-centres subissent une diminution de leurs effectifs (-0,64 %). Les deux dernières décennies du siècle n'infirmes pas cette tendance mais la nuancent et la compliquent (Roncayolo et al. 2001). Au cours de la période 1982-90, le mouvement de périurbanisation est moins prononcé (+2,05 %), la perte de population des centres-ville se ralentit (-0,17 %) et la croissance des banlieues reste stable. Le dernier recensement confirme cette tendance, le desserrement de la population se poursuit mais avec un rééquilibrage au profit des villes-centres (+ 0,15 %).

Une étude, réalisée par l'INSEE sur les 53 aires urbaines de plus de 100 000 habitants permet de mieux cerner ces évolutions (Bessy-Pietry, 2000). Le modèle de l'étalement urbain reste tout d'abord dominant. Sur les 53 aires urbaines étudiées, 42 sont conformes à ce modèle avec des taux d'évolution de la population qui s'étendent du centre vers la périphérie de façon plus ou moins prononcée. Les aires urbaines appartenant au **modèle "étalement marqué"** sont caractérisées par une forte

progression des communes périurbaines, c'est le cas de Montpellier avec une croissance de 3 % ainsi que Paris et Aix-Marseille (figure 3). **L'étalement est modéré** lorsque le développement s'équilibre entre les trois couronnes. Cette catégorie concerne à la fois des villes dont la croissance est vive, comme Strasbourg, ou plus modeste, comme Clermont-Ferrand. Enfin, **l'étalement urbain de faible amplitude** concerne les aires de petite taille dont le dynamisme démographique se ralentit.

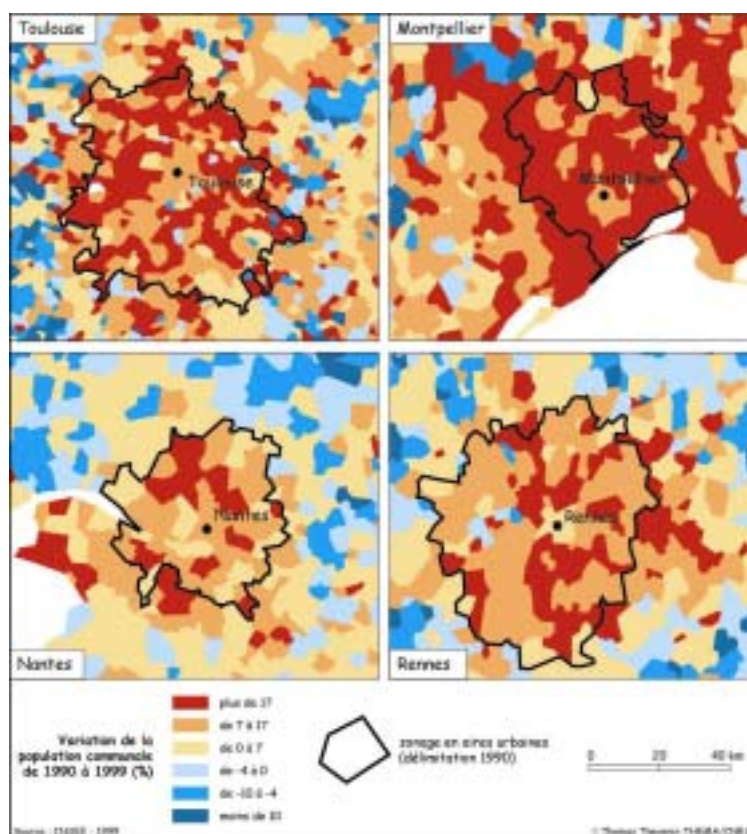
figure 3 : Les schémas de développement des aires urbaines



Le dernier recensement fait apparaître une rupture avec le modèle classique sur deux aspects. Il s'agit d'une part d'un intérêt plus marqué pour certaines villes-centres et d'autre part d'une baisse de dynamisme voire un déclin pour les banlieues (figure 3). Dans 17 aires urbaines, les banlieues enregistrent une **perte de dynamisme au profit de la ville-centre**. Ces banlieues, marquées par leur passé industriel, concernent les villes situées au Nord de la France (Nancy, Valenciennes, Lens). La situation de Lyon, Nantes ou Angers est très différente, ces aires urbaines très dynamiques sont caractérisées par une forte croissance de la population dans la couronne périurbaine. Les aires urbaines appartenant au modèle "**banlieues dynamiques**" sont localisées pour l'essentiel à l'ouest du pays (Toulouse, Rennes). Elles se distinguent par un développement homogène de leurs couronnes : les banlieues sont en forte croissance tandis que la couronne périphérique et la ville-centre enregistrent une progression soutenue.

Le recensement de 1999 montre ensuite que le mouvement de péri-urbanisation tend à se diffuser dans des espaces plus lointains. Les cartes des variations de population des aires urbaines les plus dynamiques entre les deux recensements de 1990 et 1999 illustrent parfaitement ce phénomène (figure 4). L'étalement des populations dépasse le zonage en aire urbaine, défini en 1997, et gagne maintenant les zones rurales. L'aire d'influence des grandes villes s'étend sur plusieurs dizaines de kilomètres fragmentant ainsi le tissu urbain.

figure 4 : Variation des populations des aires urbaines les plus dynamiques (période 1990-1999)



1.3. La recomposition fonctionnelle des territoires urbains

Le processus de déconcentration des centres urbains au bénéfice de périphéries de plus en plus lointaines demeure le modèle dominant malgré les résultats du dernier recensement. L'opposition centre/périphérie tend d'ailleurs à se renforcer à travers la spécialisation fonctionnelle des espaces urbains (Massot, 1998). La ville-centre reste, d'une manière générale, le catalyseur des activités tandis que les couronnes périurbaines deviennent des espaces résidentiels (Andan et al., 1998).

tableau 1 : Evolution de l'emploi des établissements de plus de 50 salariés entre 1989 et 1996 (en %)

| | | Industrie | Commerce | Tertiaire |
|---|----------------------|-----------|----------|-----------|
| Aire urbaine de Paris | Ville-centre | -28 | -18 | -12,5 |
| | Banlieue | 16,5 | -1,3 | 22,1 |
| | Couronne périurbaine | 10,2 | 1,5 | 15,6 |
| Aire de province de plus de 200 000 habitants | Ville-centre | -23,3 | -16,1 | 1,9 |
| | Banlieue | -13,9 | 5,7 | 26,9 |
| | Couronne périurbaine | 1,2 | 16,3 | 38,7 |
| Aire de province de moins de 200 000 habitants | Ville-centre | -17,1 | -7,9 | 12,1 |
| | Banlieue | 15 | 5,9 | 30,3 |
| | Couronne périurbaine | 1,7 | 26,4 | 30,9 |

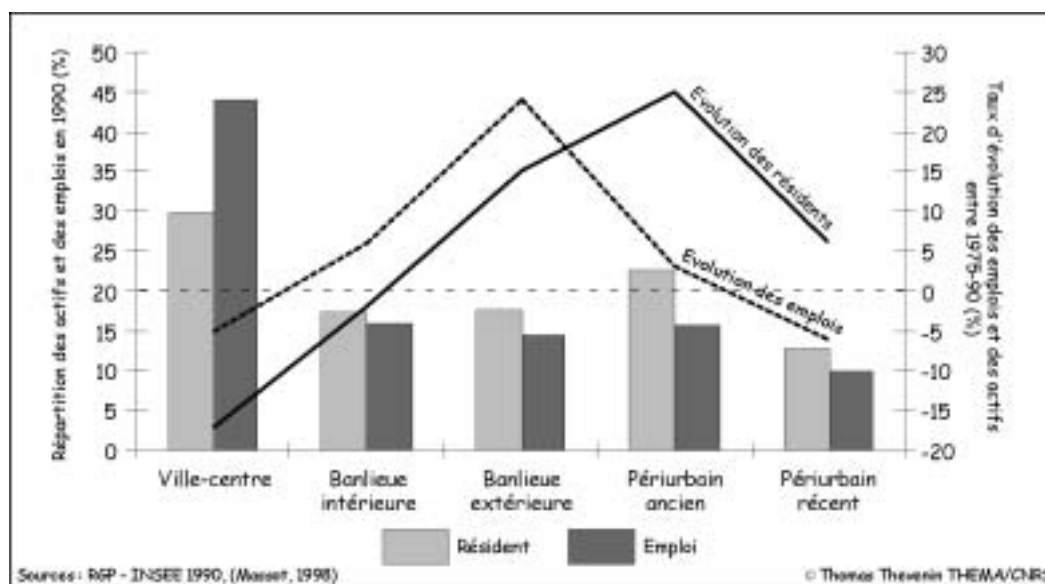
Sources : INSEE - BRIDGE, UNEDIC, (Lainé, 2000)

Cette spécialisation fonctionnelle s'accompagne cependant d'une recomposition des territoires urbains. La répartition des emplois dans l'espace varie selon la nature et les besoins des activités. L'emploi industriel tend ainsi à gagner la périphérie des villes alors que les services aux entreprises et les centres commerciaux s'implantent dans les proches périphéries, participant à la tertiarisation des banlieues (tableau 1). L'hypercentre, déserté par les emplois industriels, concentre en revanche les services à haut niveau de qualification ainsi que les activités récréatives (restaurants, lieux culturels) (Lainé, 2000).

Ce mouvement de recomposition/spécialisation fonctionnelle contribue d'une part à accroître l'écart entre les localisations des emplois et celles des actifs résidents (figure 5) et d'autre part à générer une répartition spatiale plus atomisée des déplacements liés au travail (Andan et al., 1998). L'éloignement entre le domicile et le lieu de travail est ainsi très important pour la période 1975-90 puisque la distance moyenne est passée de 7 à 11,5 kilomètres, soit une évolution globale de 56 %. Cette augmentation des déplacements domicile-travail trouve son origine dans ce décalage entre la dynamique de localisation des emplois et celle des ménages. L'augmentation des vitesses liée au développement des infrastructures rapides joue certainement un rôle prépondérant dans la recomposition et la spécialisation des territoires, dont les déséquilibres dynamiques sont ainsi accentués. L'implantation des plates-formes multimodales aux abords des villes constitue, à cet égard, un bon exemple. Marie-

Hélène Massot (1998) nous invite toutefois à la prudence car "le faisceau de causalité est si vaste que les explications que l'on peut donner à l'éloignement du domicile et du lieu de travail ne peuvent être que partielles".

figure 5 : Spécialisation fonctionnelle des tissus urbains en 1990



L'opposition binaire entre ville et campagne n'est ainsi plus tout à fait valide dans des territoires ou espaces construits et espaces non bâtis coexistent au sein d'une même aire urbaine. Dans ces ensembles urbains distendus et désarticulés, les citoyens sont amenés à maîtriser, dans leur vie quotidienne, des espaces plus vastes mais aussi des rythmes urbains plus diversifiés.

2. Evolution des rythmes de la vie quotidienne des citoyens

La cloche de l'église ou la sirène de l'usine ont longtemps rythmé les mouvements collectifs de la vie quotidienne. Avec le bouleversement des horaires de travail, les activités de chacun tendent aujourd'hui à se désynchroniser, tandis que les programmes d'activités s'individualisent et se complexifient. Le temps est ainsi devenu une ressource limitée dans les sociétés contemporaines où la montre, les moyens de transport rapides et plus récemment les technologies de l'information sont devenus des auxiliaires indispensables pour gérer les emplois du temps et réagir à l'imprévu.

2.1. Les transformations du travail

L'organisation des activités économiques joue un rôle fondamental dans la régulation des rythmes urbains. Dès l'Antiquité, certaines catégories sociales ont vu leur vie quotidienne réglée par un travail prescrit par un employeur ou un maître. Au Moyen-

Age, le travail respecte d'une part, les horaires imposés par les patrons des grandes draperies et des premières manufactures, et d'autre part les cent jours fériés du calendrier. Mais c'est à partir de la révolution technologique du 19^e siècle que les transformations du travail sont venues rythmer véritablement la vie quotidienne des citadins.

Longtemps considéré comme le grand ordonnateur du temps des sociétés basées sur l'activité industrielle, le travail a peu à peu évolué vers une économie de services où le temps de production et de consommation sont intimement imbriqués. Dans l'économie industrielle, la vie est en effet structurée autour du travail, plus de 3 000 heures par an sont ainsi consacrées à l'entreprise au 19^e siècle contre 1 500 actuellement (Boulin, 2001). Les activités liées à la famille sont exclusivement assurées par les femmes. A partir des années 1920, la division du travail permet d'augmenter l'efficacité, d'économiser du temps dans la production et le stockage des biens et de dégager du temps hors travail pour les salariés. La vie quotidienne est ainsi fortement synchronisée par des rythmes du travail conformes au modèle fordien : tout le monde travaille aux mêmes heures et regagne son domicile au même moment. Dans les années 1970, cette organisation du marché du travail, héritée de la révolution industrielle, devient inadaptée à des sociétés où 60 à 70% des emplois relèvent des activités de services. La rigidité du temps industriel s'assouplit donc à mesure que la flexibilité du temps du secteur tertiaire s'impose.

A ce phénomène s'ajoute la flexibilité du travail et en particulier la variabilité des horaires liée à la mondialisation de l'économie. Le temps continu devient un paramètre essentiel pour garantir le fonctionnement synchronisé des activités à l'échelle de la planète. Les entreprises s'organisent donc sur le principe de l'approvisionnement en juste à temps, afin d'articuler le temps local avec le temps de l'économie globale. Le besoin de flexibilité met ainsi en place un double mouvement qui concerne à la fois les entreprises et les salariés. Du point de vue de l'entreprise, le mouvement de densification du travail est imposé par une demande qui exige des délais de réponse de plus en plus courts et par le besoin de rentabiliser un investissement de plus en plus lourd par heure travaillée. Du côté des salariés, la diversification des temps travaillés fait émerger de nouveaux emplois au statut précaire et discontinu. La variabilité et l'incertitude des rythmes économiques concernent un nombre croissant de salariés.

encart 1 : L'évolution des emplois en Europe occidentale

- 1 salarié sur 3 échappe au modèle du travail régulier 5 jours sur 7 (plus de 50 % en Grande Bretagne, 25 % en France) ;
- le travail par "roulement" a augmenté de 50 % en dix ans et occupe plus de 15 % des travailleurs ;
- le temps partiel est passé en France de 9 % des salariés en 1982 à plus de 15 % en 1995 (il est de 35 % aux Pays-Bas) ;
- les horaires variables ont doublé touchant la moitié des actifs le samedi et plus du quart le dimanche. De moins en moins d'actifs peuvent prévoir avec précision leur fin de journée de travail.

Source : Ascher 1998 p.144

La diversification des temps travaillés s'est considérablement accrue avec l'arrivée des femmes sur le marché du travail. Les enquêtes menées à ce sujet montrent qu'elles souhaitent travailler et avoir une autonomie financière tout en ayant des enfants et du temps à leur consacrer. Le taux d'activité des femmes de 25-49 ans, celles qui ont des enfants, est ainsi passé de 41,5 % à 80 % entre 1962 et la fin des années 1990. Il faut toutefois préciser que 85 % des emplois à temps partiels sont effectués par des femmes. Cette inscription massive des femmes dans le salariat remet en cause le principe de synchronisation par la spécialisation des rôles sexués (Boulin, 2001). Les femmes veillaient en effet autrefois à l'articulation entre les différentes sphères de la vie quotidienne. Outre les activités domestiques et familiales (courses, entretien de la maison, éducation), elles assuraient les fonctions de sociabilité et de communication qui permettaient à la cellule familiale de faire face à ses obligations sociales. Jean-Paul Bailly et Edith Heurgon (2001) concluent ainsi : *"en investissant le monde du travail, les femmes ont introduit le temps intérieur aux côtés du temps extérieur, lié à la production."*

2.2. Des programmes d'activités plus complexes

Le rythme des temps du travail, des loisirs et de la famille génère un programme d'activité imbriqué, qui tend à se substituer au programme d'activités segmenté, symbolisé par le fameux "métro-boulot-dodo". Cette imbrication des pratiques sociales se manifeste de différentes façons. L'activité professionnelle interfère de plus en plus avec l'activité familiale, en raison de l'arrivée massive des femmes dans le salariat. Une nouvelle organisation familiale est nécessaire afin de partager les tâches domestiques et d'assurer une égalité au sein du ménage (Méda, 2001). La rigidité des horaires scolaires devient un véritable casse-tête pour les parents salariés des zones périurbaines qui peuvent de plus en plus difficilement faire face aux besoins d'accompagnement motorisé de leurs enfants. De plus, l'arrivée des femmes sur le marché du travail, associé à la libéralisation des mœurs, a contribué à la transformation de la cellule familiale. Les familles monoparentales ont en effet augmenté de 50 % pour la période 1983-1996 et représentent 15 % des familles françaises (Bailly et al., 2001). Les relations familiales sont ainsi plus complexes et éclatées en différents lieux mais la solidarité familiale perdure. Les déplacements liés aux enfants se sont multipliés : en plus des trajets quotidiens, deux millions d'enfants changent de maison tous les week-ends, les visites chez les grands-parents sont plus fréquentes, tout comme les vacances familiales qui sont plus nombreuses aux cours de l'année... Les ordres temporels de la famille se sont ainsi diversifiés, chaque membre a son propre programme d'activités *"les temps familiaux ne sont donc plus collectifs, ils deviennent moins prescrits mais beaucoup plus choisis"* (Bailly et al. 2001).

**tableau 2 : Temps de travail quotidien des salariés à temps complet
(hors enseignant)**

| | 1986 | 1999 | Evolution |
|---|------|------|-----------|
| Cadres du public | 8h30 | 8h42 | 12 mn |
| Cadres de privé | 8h45 | 9h14 | 29 mn |
| Professions intermédiaires du public | 7h43 | 8h02 | 19 mn |
| Professions intermédiaires du privé | 8h32 | 8h42 | 10 mn |
| Employés du public | 7h58 | 8h05 | 7 mn |
| Employés du privé | 8h18 | 8h26 | 8 mn |
| Ouvriers du public | 7h57 | 7h58 | 1 mn |
| Ouvriers du privé | 8h33 | 8h27 | - 6 mn |
| Ensemble du public | 7h58 | 8h08 | 10 mn |
| Ensemble du privé | 8h30 | 8h36 | 6 mn |
| Total | 8h21 | 8h29 | 8 mn |

Sources : Enquête Emploi du temps 1986 et 1998-1999, INSEE

L'imbrication des programmes d'activités est aussi marquée par l'affaiblissement du clivage vie privée / vie publique en raison des nouvelles formes de travail. L'application du principe de flexibilité des temps de travail dans les entreprises mobilise tout d'abord des individus plus disponibles. L'économie libérale considère en effet le temps comme isomorphe, c'est à dire que la valeur du temps est égale quels que soient les moments de la journée, de la semaine, du mois ou de l'année (Bailly et al., 2001). Cette conception tend à s'imposer avec la mondialisation de l'économie bien que la valeur sociale du temps de travail varie en fonction de la culture de chaque pays. Aux Etats-Unis, la prime pour l'équipe de nuit s'élève ainsi à 10 %, tandis que dans les pays de l'Union Européenne elle varie entre 25 et 100 % (Ascher, 1998). La frontière entre la vie professionnelle et la vie privée s'estompe davantage encore avec l'introduction des technologies de l'information. Certains employeurs proposent même à leurs salariés d'installer Internet pour un usage à domicile, c'est la diffusion de la formule SoHo : "*Small office, Home office*" (Godard, 2000). D'après une étude de l'INSEE réalisée sur la période 1986-1999 (Dumortier et al., 1999), le temps de travail moyen des salariés à temps complet a augmenté de 8 minutes en raison principalement du travail à domicile facilité par Internet. Cette tendance touche particulièrement les cadres des entreprises privées avec une augmentation du temps de travail moyen de 30 minutes contre 10 minutes pour les professions intermédiaires (tableau 2). Cette disponibilité permanente facilitée par les technologies de l'information, illustrée avec humour par "la cabine téléphonique virtuelle" de T. Paquot (encart 2), contribue à l'émergence d'une société multiactive, qui vise en permanence à l'ubiquité et cherche à rationaliser son temps (Boulin, 2001 ; Bailly et al., 2001 ; Ascher, 1998).

encart 2 : L'émiettement des temps urbains

(...) Un cadre, quelque peu enveloppé, cherche désespérément à perdre ses kilos superflus en courant. C'est un vendredi en fin d'après midi. Son téléphone portable retenti et, comme un bon serviteur, une fois sonné, il se précipite et tout essoufflé articule "allo", il ne ralentit pas le mouvement, mais parle fort. (...) Il est chez lui, sans gêne, dans ce parc public où l'on devrait interdire l'usage du téléphone portable comme dans les trains, les cafés, les restaurants, les musées, etc. Je songe à la perte d'autonomie de ce cadre, il quitte son travail pensant y abandonner ses soucis, et non, c'est plus fort que lui, il ne peut se résoudre à couper le cordon, à se laisser aller, à s'abandonner. Il lui faut une laisse virtuelle, mais aussi terrible et exigeante qu'une chaîne de bagnard, ou bien alors se croit-il plus important que les autres joggeurs en étant appelé au téléphone : " Vous voyez, je ne peux m'absenter un instant, même pour me détendre, la firme - mais il pense la société – a besoin de môa..." Il ne bombe pas le torse, il est en nage et semble inquiet, pourtant il range son portable, (...) et fait place aux nombreux téléphoneurs qui portent sur eux tout le poids d'une cabine invisible (...).

Source : Paquot 2001, *Le quotidien urbain*, p. 19

2.3. De nouveaux régimes temporels

Les grandes transformations du travail combinées à l'évolution des modes de vie ont fait émerger chez les individus de nouveaux rapports au temps. L'incertitude pèse tout d'abord de plus en plus lourd dans la société actuelle. Les pressions qui s'exercent sur l'entreprise en termes de flexibilité et d'approvisionnement en "juste à temps" se reportent en effet sur les individus dans leur vie quotidienne. La gestion du temps de la vie quotidienne est ainsi rationalisée de la même manière qu'au travail. L'agenda électronique, l'ordinateur, le téléphone mobile ces outils autrefois réservés à l'entreprise sont désormais utilisés pour organiser le programme d'activités personnelles ou pour faire face aux imprévus en temps réel. Les événements au cours de la journée ont tendance à se multiplier, ce qui accroît l'incertitude. Une étude belge a montré que les actifs étaient de moins en moins en mesure de prévoir la fin de leur journée de travail et que ces impondérables tendent à augmenter avec le degré de qualification. Ainsi 31 % des femmes et 54 % des hommes diplômés sont incapables de prévoir à deux heures près, lorsque leur journée de travail débute, quand celle-ci se terminera (Elchardus, 1996, cité dans Ascher, 1998 p.144). De plus en plus confrontés aux aléas des horaires, les individus prennent des décisions au dernier moment, ce que François Ascher appelle "*le fonctionnement en juste à temps individuel*".

Le rapport au temps a évolué avec l'individualisation des modes de vie. L'autonomie croissante des citadins, ainsi que la variété des horaires, conduisent ces derniers à revendiquer un accès aux services à tout moment et en tous lieux, dans une ville à la carte qui fonctionne 24/24 heures, 7/7 jours et 365 jours par an. Mais cette situation impose des horaires de travail pénibles pour les salariés et fait l'objet de certaines tensions sociales. Ce conflit d'intérêt a été récemment confirmé par une enquête intitulée *"les français et le temps des villes"*, réalisée en juin 2001 par la SOFRES. Francis Godard et François de Singly, les rapporteurs de cette étude, ont conclu que *"toutes les catégories sociales ne manifestent pas les mêmes types d'agacements face aux dysfonctionnements temporels et ne sont pas favorables ou réceptives de la même manière aux diverses solutions proposées. Le diplôme, le statut professionnel, l'âge, la présence d'enfant constituent de puissants facteurs de différenciation"*. Les auteurs insistent sur trois idées fondamentales : les services de proximité sont revendiqués par les ouvriers, tandis que l'extension des horaires d'ouverture des services publics est portée par les jeunes ainsi que par les classes moyennes avec des enfants en bas âge. Les jeunes souhaitent de plus l'extension de l'ouverture des commerces. Ce sondage souligne que la ville ouverte en permanence est essentiellement réclamée par les jeunes diplômés. Cette étude révèle enfin une véritable distinction par l'argent : les plus hauts revenus sont en effet "les plus grands consommateurs de ville", ils aspirent par conséquent à des services à la hauteur de leurs exigences. Thierry Paquot (2001) nous met ainsi en garde contre la ville non-stop, réservée à ceux qui ont les moyens de consommer et qui exclut les plus défavorisés.

Les transformations du travail ajoutées à l'évolution des pratiques sociales ont modifié la carte des temporalités urbaines. La gestion du temps est d'une part densifiée, on fait plus de choses au même moment, et d'autre part rationalisée, on économise du temps pour le redistribuer au cours du mois, de la semaine ou de la journée. Il y a fort à parier que l'avènement des 35 heures tende à amplifier ce phénomène. Même si encore aucune étude ne vient confirmer cette hypothèse. Ces nouveaux régimes temporels affectent particulièrement la mobilité quotidienne des citadins et pose de nouveaux problèmes à l'organisation des transports publics.

3. Les conséquences des transformations spatiales et temporelles sur la mobilité quotidienne

La métropolisation, la désynchronisation spatiale et temporelle des rythmes urbains conduisent les citoyens à se déplacer différemment, dans des territoires plus vastes, plus disparates et selon des programmes d'activités à la fois plus complexes et moins réguliers.

3.1. Des mobilités plus diffuses dans l'espace

Les déplacements quotidiens deviennent plus diffus dans l'espace en relation avec l'extension des villes. D'après l'enquête globale sur les transports, la distance moyenne par jour et par personne s'est allongée de 36 % entre 1982 et 1994 (tableau 3). La durée moyenne consacrée par les Français à leurs déplacements reste en revanche stable avec un budget temps de 55 minutes. Ce paradoxe est à mettre en relation avec l'augmentation de la vitesse qui est passée de 19 km/h en 1982 à 25 km/h en 1994 en raison d'une politique d'infrastructures routières favorable à l'automobile (Dupuy, 1999 ; Orfeuil, 1994). Ces évolutions confirment l'analyse proposée dès 1980 par Y. Zahavi que l'on peut résumer dans ces termes : *les citoyens sont prêts à parcourir des distances plus grandes pour bénéficier des services offerts par la ville sous la double contrainte des budgets temps et argent.*

tableau 3 : Evolution de la mobilité locale en semaine

| Déplacements | 1982 | 1994 |
|---|------|------|
| Nombre de déplacements par personne et par jour | 3.4 | 3.2 |
| Durée moyenne par déplacement (minutes) | 16.4 | 17.2 |
| Distance par déplacement (kilomètres) | 5.2 | 7.3 |
| Distance par personne et par jour (kilomètres) | 17.6 | 22.9 |
| Durée par personne et par jour (minutes) | 55 | 54 |
| Vitesse moyenne (kilomètres/heure) | 18.9 | 25.3 |

Source : "Toujours plus loin, mais en voiture", Madre et Maffre, INSEE première, n°417, déc. 1995

La conjecture de Zahavi se vérifie dans des configurations urbaines très variées. Le tableau 4 qui met en relation l'évolution de la mobilité avec des types d'habitat fait tout d'abord apparaître un écart significatif entre l'Ile-de-France et les ZPIU de provinces pour les quatre indicateurs considérés. Ensuite, une disparité interne aux zones de peuplement sépare les résidents des villes-centres de ceux de la périphérie. Il faut enfin souligner l'ampleur et la croissance des distances parcourues par les périurbains alors même que leur budget temps est inférieur à celui des habitants des

villes-centres et des banlieues. Ainsi s'explique "l'irrésistible évasion des usagers vers l'automobile" (Beaucire et al., 2000b).

tableau 4 : Evolution de la mobilité par personne et par jour selon le tissu urbain

| Zone | Distance (en km par individu et par jour) | | Budget temps (en mn/jour) | | Vitesse (en km/h) | | Kilomètres parcouru en automobile (en %) | |
|--|---|---------|---------------------------|---------|-------------------|---------|--|---------|
| | 1981-82 | 1992-93 | 1981-82 | 1992-93 | 1981-82 | 1992-93 | 1981-82 | 1992-93 |
| Petite ZPIU | | | | | | | | |
| Ensemble | 18.5 | 26.1 | 47 | 47 | 23.6 | 33.3 | 83 | 91 |
| ZPIU de 50 à 300 000 Habitants | | | | | | | | |
| Banlieue/périphérie | 16.8 | 25.9 | 49 | 49 | 20.6 | 31.7 | 73 | 87 |
| Ville-centre | 15.6 | 18.2 | 55 | 52 | 17 | 21 | 74 | 82 |
| Ensemble | 16.4 | 23.3 | 51 | 50 | 19.3 | 28 | 73 | 86 |
| ZPIU de 300 000 habitants et plus | | | | | | | | |
| Périphérie | 18 | 25.5 | 47 | 46 | 23 | 33.3 | 77 | 88 |
| Banlieue | 17.5 | 20.5 | 56 | 54 | 18.8 | 22.8 | 82 | 82 |
| Ville-centre | 14.9 | 17 | 60 | 60 | 14.9 | 17 | 69 | 78 |
| Ensemble | 17.1 | 21.2 | 54 | 53 | 19 | 24 | 76 | 83 |
| ZPIU de Paris | | | | | | | | |
| Banlieue/périphérie | 20.7 | 24.8 | 70 | 70 | 17.7 | 21.3 | 57 | 65 |
| Ville-centre | 13.5 | 15.8 | 71 | 78 | 11.4 | 12.2 | 50 | 48 |
| Ensemble | 19.1 | 22.8 | 70 | 72 | 16.4 | 19 | 56 | 62 |
| Toutes ZPIU | | | | | | | | |
| Rural profond | 19.5 | 27.6 | 42 | 42 | 27.2 | 38.5 | 92 | 91 |
| Ensemble périphérie | 18.9 | 27.6 | 48 | 49 | 23.6 | 33.8 | 77 | 87 |
| Ensemble banlieue | 17.7 | 21.8 | 61 | 60 | 17.4 | 21.8 | 67 | 15 |
| Ensemble ville-centre | 15.4 | 18 | 59 | 57 | 15.8 | 18.9 | 69 | 71 |

Source : (Gallez et al., 1997)

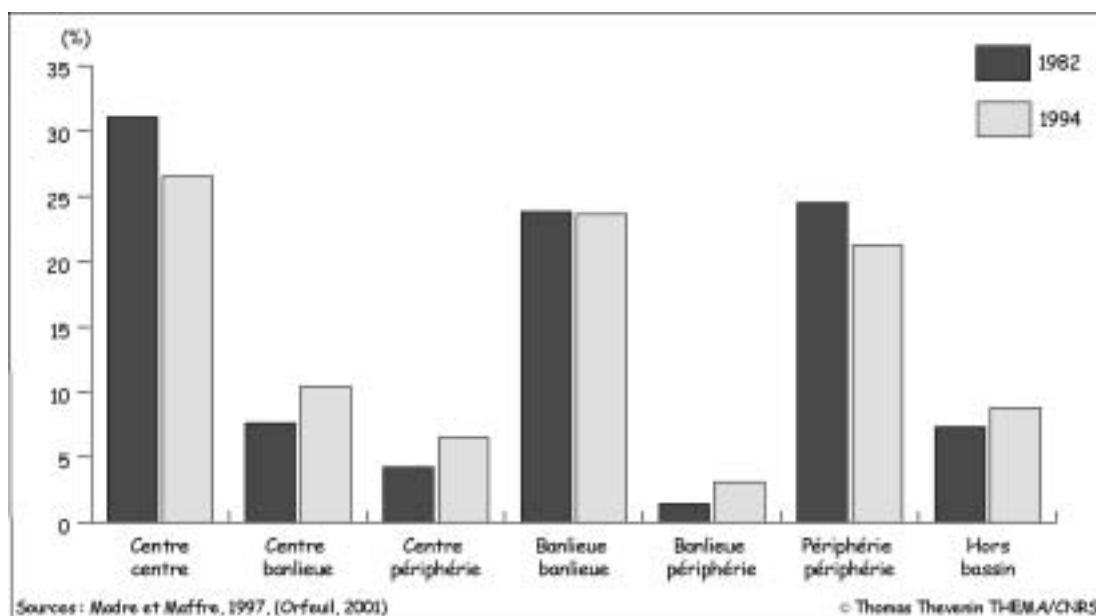
Facilitée par l'automobile, la portée des déplacements s'étend parallèlement avec l'étalement urbain stimulant une mobilité plus diffuse dans l'espace mais aussi plus complexe.

3.2. Des mobilités à géographie variable

"L'allongement des distances ne doit pas occulter la tendance générale" rappelle M.H. Massot (1998), puisque 90 % des actifs travaillent dans leur commune de résidence et sont prêts à parcourir une distance moyenne de 5 kilomètres. Toutefois, cette relation de proximité qui ne diminue pas les déplacements motorisés, favorise la mobilité des courtes distances. En effet, sur 100 déplacements effectués en automobile, 20 mesurent moins de 1 kilomètre et 40 moins de 2 kilomètres (Beaucire, 1996). La structure spatiale des mobilités urbaines devient ainsi plus complexe et tend à remettre en cause le modèle dominant centre/banlieue pour laisser

la place à un schéma multidirectionnel qui affecte à la fois l'orientation et l'enchaînement des déplacements.

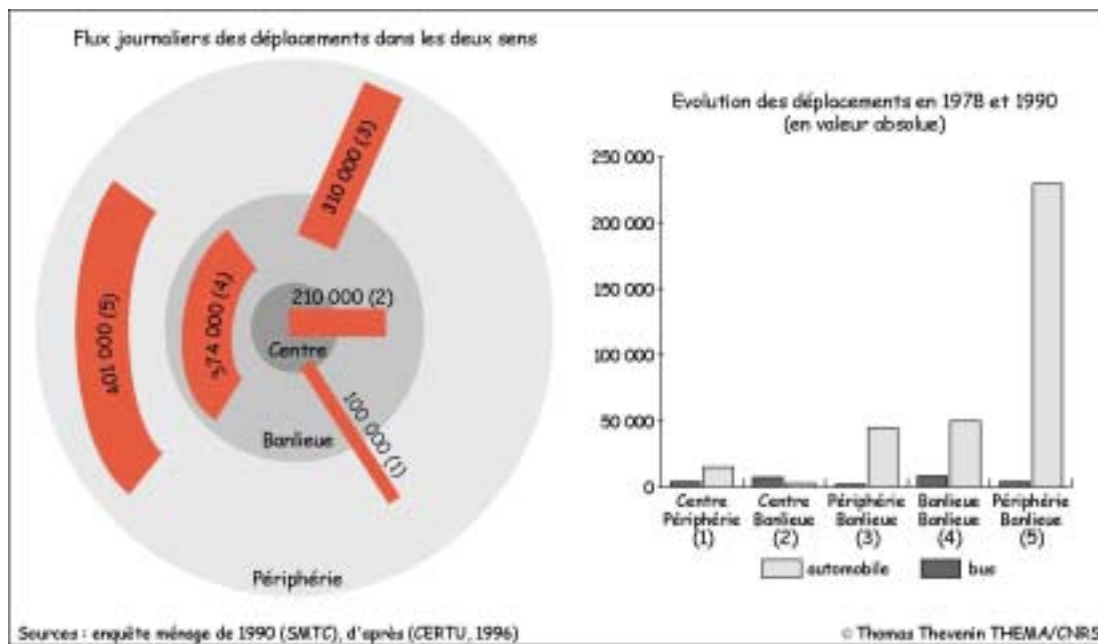
figure 6 : Répartition des déplacements par type de liaison



L'enquête nationale sur les transports permet d'observer les origines et les destinations des flux en fonction du type de liaison (figure 6). Les relations internes à la ville-centre restent les plus importantes mais subissent la plus forte baisse, tandis que les déplacements entre banlieue et périphérie se développent (Orfeuil, 2000). De nombreux auteurs constatent que ce phénomène s'amplifie à mesure que la taille du bassin d'emploi augmente (Massot, 1998 ; Lefèvre et al., 1990). Cette nouvelle géographie de la mobilité urbaine est favorable aux transports publics d'une part, pour les liaisons centre/périphérie, à condition d'étendre la desserte et d'autre part, pour les relations internes à la ville-centre. Ces mouvements centrifuges et centripètes sont minoritaires à 44 %, alors que 56 % des déplacements sont tangentiels. C'est sur ces déplacements de périphérie à périphérie que les transports publics sont les moins performants (CERTU, 1998). Ces résultats sont confirmés voire renforcés dans toutes les agglomérations françaises.

L'enquête ménage de Toulouse, réalisée en 1990, est particulièrement révélatrice de cette tendance (figure 7). La part des déplacements de périphérie, dont la destination n'est pas le centre-ville, représente environ 3 déplacements sur 4. De plus, la quasi-totalité de ces déplacements est effectuée en voiture particulière, tandis que les 2/3 de l'augmentation des déplacements convergents vers le centre de Toulouse sont réalisés en transports publics. Le marché des déplacements périphériques en pleine expansion constitue ainsi un enjeu majeur pour l'organisation des transports publics.

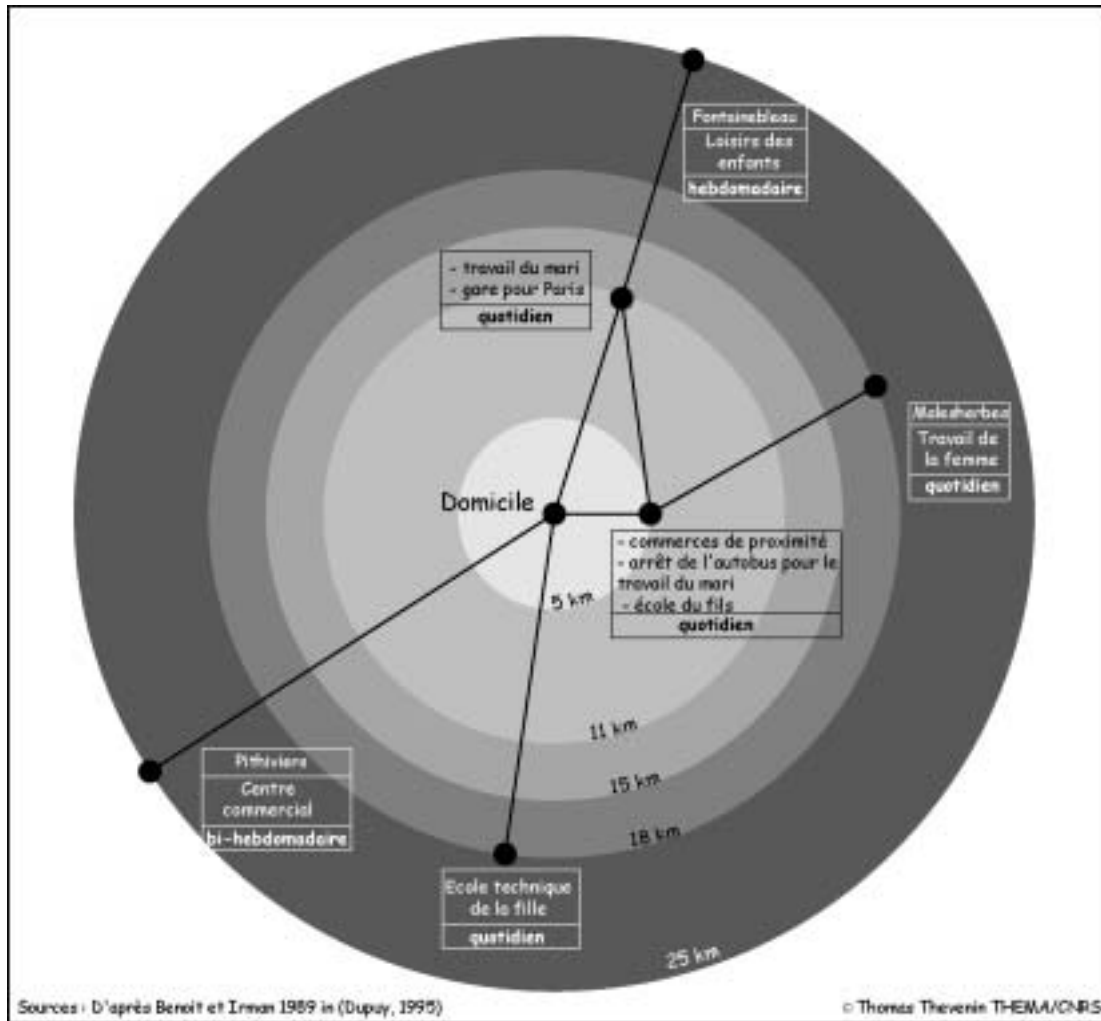
figure 7 : Répartition géographique des déplacements motorisés dans l'agglomération toulousaine en 1990



La complexité des déplacements urbains ne doit pas seulement être appréhendée en fonction d'une origine et d'une destination pour un motif donné. Les citoyens optimisent leurs déplacements en ajoutant des motifs secondaires au motif principal souvent incarné par le travail, l'école ou les achats. Ainsi Marc Wiel (1993) a développé la notion de pérégrination des déplacements, cette notion considère *l'usage de la ville comme une offre globale des services* où chaque pôle est offert à la totalité des habitants. Cette idée rejoint ce que Francis Beaucire appelle *"le nouveau cabotage urbain"* (Beaucire 1996) ou ce que les Italiens désignent par *"la mobilité zigzagante"* (Bailly et al., 2001).

Ces notions partent du constat que le retour au domicile entre les activités devient moins systématique, tandis que l'enchaînement des activités s'effectue sur des espaces plus étendus et à des horaires variés. L'usage de l'automobile facilite particulièrement cette maîtrise de l'espace et du temps, comme la bicyclette autrefois *"elle élargit le voisinage immédiat et multiplie les destinations que l'on peut atteindre dans une courte période de temps"* (Sachs 1992 cité dans Dupuy 1995 p.108). La figure 8 illustre la complexité d'un programme d'activités ainsi que l'étendue des déplacements pour une famille de la banlieue parisienne au cours de la semaine, de la journée.

figure 8 : Les "pérégrinations" d'une famille périurbaine d'Ile-de-France



Une récente étude (Kaufmann et al., 2002) réalisée sur différents tissus urbains de trois villes de province ainsi que sur la région Ile-de-France montre que la plupart des déplacements après le travail comporte en moyenne entre 2,7 et 3 enchaînements (tableau 5). La nature du quartier de résidence n'influence apparemment pas le nombre d'activités, en Ile-de-France excepté où le nombre d'enchaînements passe de 2,9 pour le quartier central à 2,4 pour un quartier situé à la périphérie. Cette étude souligne l'importance des enchaînements post travail parmi les utilisateurs des transports publics. Mais cette fréquentation concerne les quartiers centraux, desservis par une offre étoffée par des services de nuit. L'usage de l'automobile reste en revanche dominant dans les quartiers périurbains. Les auteurs concluent ainsi : *"des services de transports publics offrant une accessibilité complète dans l'espace et le temps rendent possible le développement de programmes d'activités en boucles, fait d'enchaînements, à la manière de ce que permet l'automobile à son utilisateur..."*

tableau 5 : Nombre d'enchaînements réalisés après le travail¹

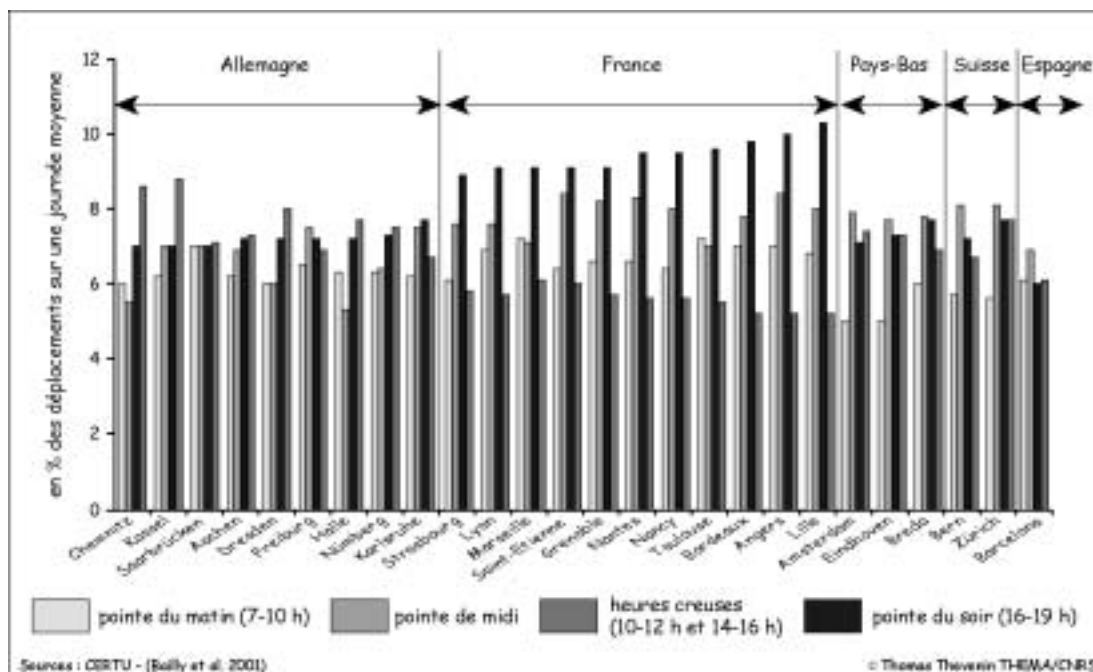
| Tissus urbain | Ile-de-France | | Lyon | | Strasbourg | | Aix-en-Provence | |
|---------------------------|---------------|--------------|---------|--------------|------------|--------------|-----------------|--------------|
| | Central | Périphérique | Central | Périphérique | Central | Périphérique | Central | Périphérique |
| Au moins 1 déplacements | 26 % | 33 % | 28 % | 25 % | 21 % | 24 % | 21 % | 24 % |
| Entre 2 et 3 déplacements | 37 % | 37 % | 40 % | 42 % | 37 % | 46 % | 35 % | 41 % |
| Entre 4 et 5 déplacements | 31 % | 28 % | 28 % | 31 % | 38 % | 28 % | 38 % | 29 % |
| Entre 6 et 7 déplacements | 6 % | 2 % | 4 % | 2 % | 4 % | 2 % | 6 % | 6 % |
| Nb. déplacements moyen | 2.9 | 2.4 | 2.7 | 2.7 | 3 | 2.7 | 3 | 2.9 |

Sources : d'après (Kaufmann et al., 2002)

3.3. Des mobilités plus étendues dans le temps

L'évolution des programmes d'activités complexifie la mobilité dans l'espace mais aussi dans le temps. La réduction du temps de travail, le succès des loisirs le soir ou pendant le week-end modifient les scansion de la mobilité quotidienne, à tel point que les heures creuses s'estompent. Vu la disponibilité des informations sur les rythmes urbains (Godard, 1997), les grandes tendances de ce phénomène seront évoquées à travers les documents présentés dans le rapport de la Commission Nationale des Transports (Bailly et al., 2001).

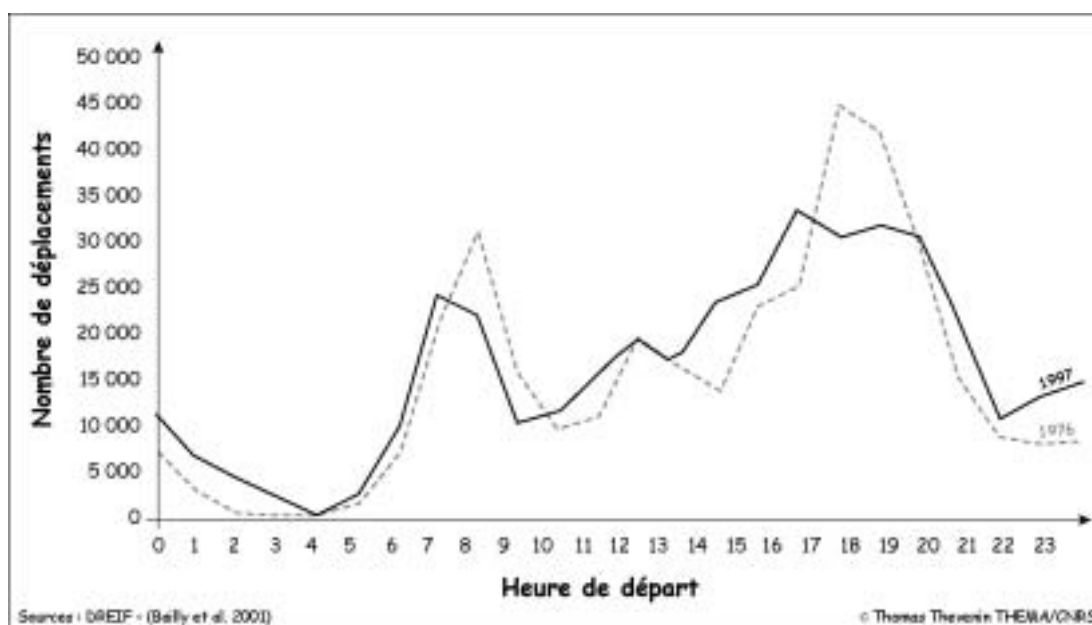
figure 9 : Répartition des déplacements dans les agglomérations européennes par tranches horaires



¹ Ce tableau a été simplifié pour faciliter la lecture, pour plus de renseignements sur les tissus urbains concernés par cette étude, consulter l'ouvrage de Kaufmann et al, 2002 p.117.

Cet ouvrage présente une étude, réalisée par le CERTU auprès de 40 villes européennes, et révèle une tendance à la disparition des heures creuses tandis que les heures de pointe subsistent. Une première observation de la figure 9 montre une concentration des trafics sur la pointe du soir avec 8,2 % déplacements effectués entre 16 et 19 heures. Cette valeur moyenne est principalement liée aux villes françaises dont la part des déplacements est comprise entre 9 et 10 %, alors que les autres villes se situent entre 7 et 8 %. A noter que Barcelone est la seule ville qui présente une répartition homogène du volume de trafic (plus de 6 %). Un second constat permet d'observer l'importance de la pointe de midi (7,6 %), mais ce pic est très variable suivant les pays et les agglomérations. Si les Français et les Suisses semblent rentrer à leur domicile pour déjeuner, cette tendance apparaît en revanche moins prononcée dans les villes allemandes. La taille de l'agglomération semble ensuite jouer un rôle déterminant dans le retour au domicile pour le midi. La France constitue un bon exemple puisque les grandes métropoles, à l'exception de Lille, présentent un trafic inférieur à 8 %, tandis que les agglomérations plus modestes enregistrent des volumes supérieurs à 8 %. Une dernière observation souligne enfin l'affaiblissement de la pointe du matin au regard (6,4 %) du volume de trafic des heures creuses (6,6 %). Cette situation ne se vérifie toutefois pas dans toutes les villes européennes étudiées, notamment dans les agglomérations françaises ainsi qu'à Barcelone.

figure 10 : Nombre de déplacements en automobile de Paris vers la banlieue par demi-heure



Si l'on considère uniquement les rythmes de mobilité de l'Ile-de-France (figure 10) les pics du matin et du soir sont en constante diminution depuis 1976. Ces volumes de trafics se reportent en milieu de journée et en soirée, contribuant ainsi à étaler l'amplitude des heures de pointes. Cette situation est en revanche plus nuancée en province, d'après les résultats des enquêtes ménages de 1982 et 1994 (tableau 6).

Jean-Pierre Orfeuil explique ce décalage en émettant l'hypothèse que les problèmes de congestion sont plus importants en Ile-de-France que dans les villes de provinces (Orfeuil, 1997).

tableau 6 : Evolution des déplacements motorisés un jour de semaine (en pourcentage)

| | Tous modes motorisés | | Automobile | |
|-------------------------|----------------------|----------|---------------|----------|
| | Ile-de-France | Province | Ile-de-France | Province |
| Avant 7 h et après 20 h | +29 | +23 | +32 | +29 |
| 7h – 9h | -9 | +6 | -12 | +8 |
| 9h – 12h | +23 | +1 | +34 | +16 |
| 12h – 14h | -7 | +7 | -5 | +8 |
| 14h – 17h | +18 | +26 | +24 | +28 |
| 17h – 19h | +2 | +15 | +11 | +21 |
| 19h – 20 h | -3 | +26 | 0 | +27 |

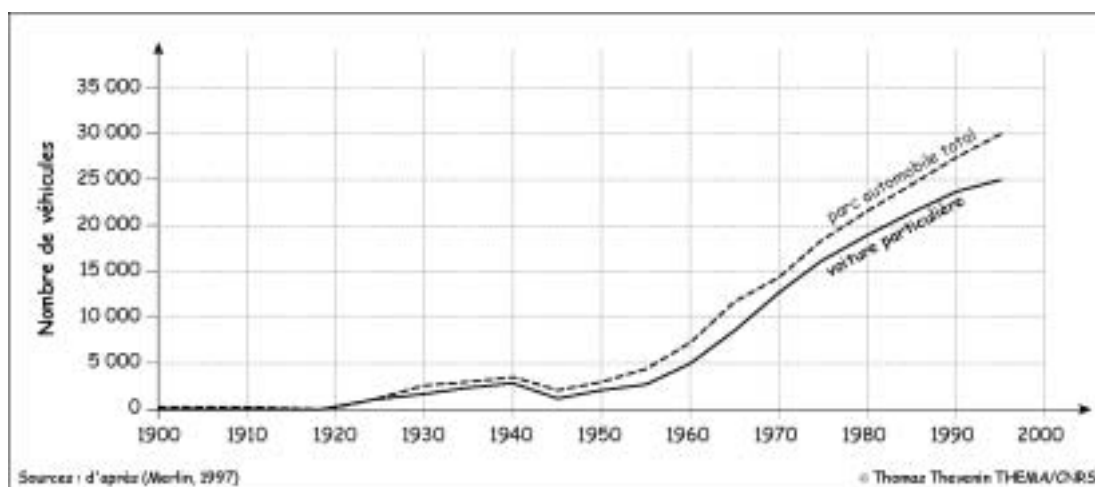
Source : "Toujours plus loin, mais en voiture", Madre et Maffre, INSEE première, n°417, déc. 1995

La situation a sans doute évolué depuis 1994 ; aussi, un plus grand nombre de facteurs sont à considérer pour expliquer l'origine de cette diversité des rythmes urbains dans les métropoles européennes. L'aménagement du temps de travail ou la diffusion du temps partiel ne constituent que deux exemples des différentes réglementations imposées par l'Etat. Une autre cause de la diversité des rythmes urbains concerne l'amplitude des horaires d'ouverture des services, des commerces ainsi que des écoles. Tous ces facteurs participent à la désynchronisation des rythmes urbains et contribuent à la fois à redistribuer la mobilité quotidienne et à favoriser l'usage des pratiques modales individuelles.

3.4. Pratiques modales tournées vers "l'automobilité"

Dans un contexte où la mobilité devient plus complexe, plus irrégulière, les transports publics se maintiennent difficilement face à la liberté procurée par l'automobile, et cela malgré les investissements réalisés pour améliorer l'offre kilométrique ou l'installation de Transport Collectif en Site Propre (TCSP) (Beaucire et al., 2000a ; Bailly et al, 2001). En témoigne tout d'abord l'évolution constante de la motorisation depuis la création de la voiture jusqu'à nos jours (figure 11). Le marché n'a d'ailleurs pas à craindre une saturation dans une situation où la multimotorisation des ménages se développe (Lefèvre et al., 1990). D'après l'enquête transport, 74 % des ménages possédaient en 1982 au moins une voiture contre 77 % en 1994. La plus forte augmentation concerne les ménages multimotorisés : en 1982, 27 % disposaient au moins deux voitures, en 1994 ce taux atteint 34 % (Gallez et al. 1997). La voiture est ainsi passée du statut de bien réservé au ménage au statut de bien individuel.

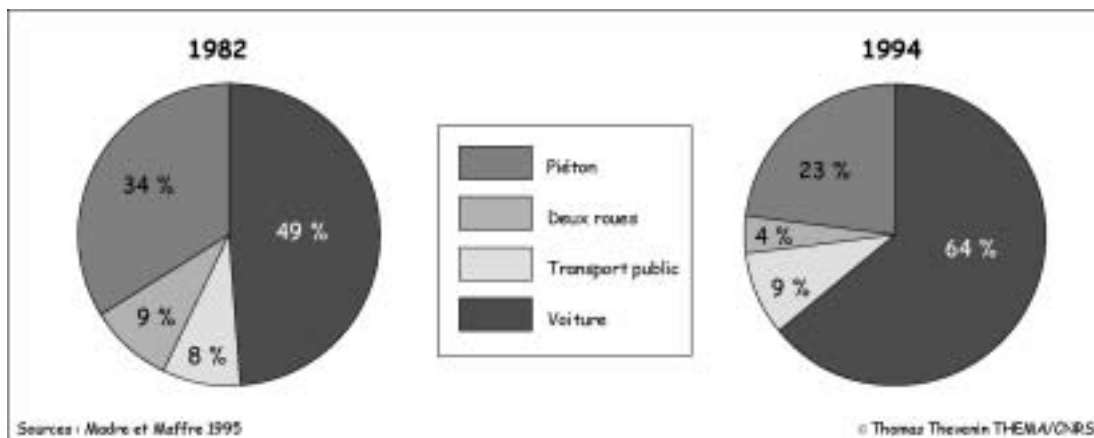
figure 11 : Estimation du parc automobile français



Cette dépendance à l'automobile (Dupuy, 1995) affecte sensiblement la part de marché des transports collectifs (figure 12). Si la proportion des déplacements effectués en transports publics reste stable depuis les années 1970 (environ 9 %), "l'automobilité"¹ continue sa progression (Kaufmann et al., 2002). La part de marché de la voiture représentait en effet près de 50 % en 1982 et un peu moins des deux tiers actuellement. Les deux roues enregistrent une baisse significative, mais la plus forte diminution est attribuée à la marche à pied avec une chute de 34 % en 1982 à 23 % en 1994. Les transports publics sont ainsi destinés à assurer les déplacements des personnes dites captives, cette catégorie de citoyens au profil typé, composée des employés, des jeunes, des personnes âgées, des femmes, des catégories les moins favorisées et bien évidemment des personnes sans permis de conduire ou ne disposant pas encore d'un véhicule individuel (Beaucire et al., 2000b). Une étude menée en 1996 (ADEME et al., 1996) révélait que l'utilisation régulière des transports publics urbains (au moins deux fois par semaine) concernait principalement les femmes (30 % contre 19 % chez les hommes), les jeunes (25 % des voyageurs réguliers ont moins de 25 ans contre 18 % chez les plus de 25 ans). Enfin, 33 % des inactifs avaient recours à cette pratique contre 16 % des actifs. Les transports publics trouvent ainsi l'origine de leur image : "un service social de mobilité dédié "aux empêchés" de l'usage de la voiture" (Beaucire et al., 2000b).

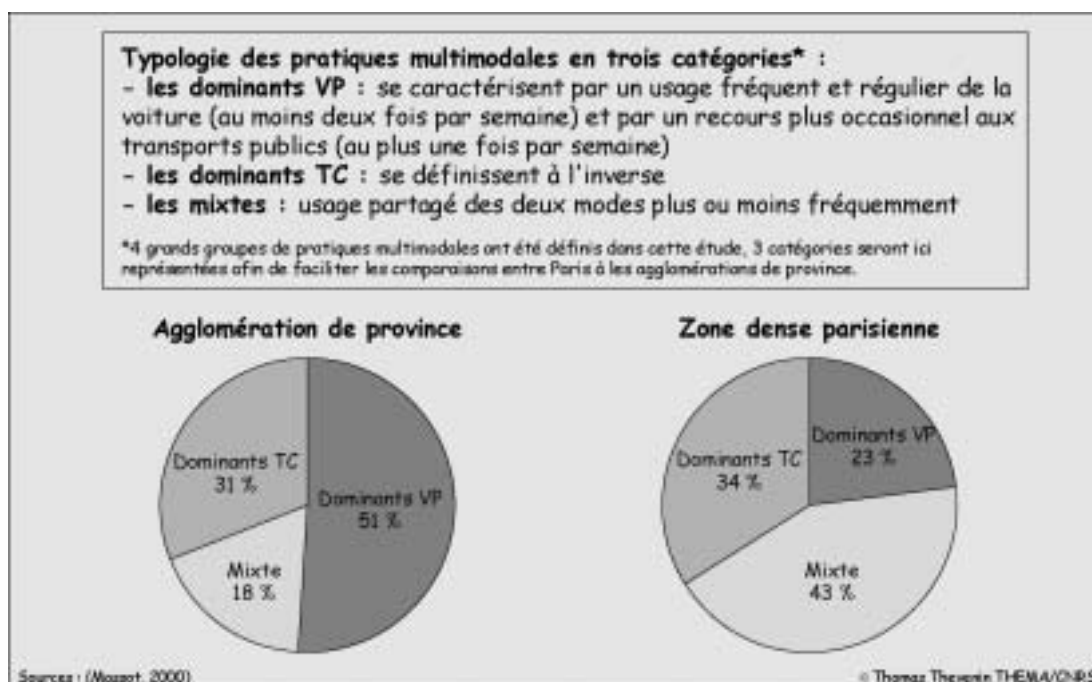
¹ Terme emprunté à G. Dupuy que l'on désignera ici par l'usage massif de l'automobile, particulièrement en milieu urbain (Dupuy., 2001).

figure 12 : Le marché des déplacements en France



Les pratiques modales des citoyens ne peuvent cependant pas être envisagées uniquement à travers la notion trop restrictive de part de marché. Les transports collectifs peuvent être employés de façon irrégulière ou combinée avec des déplacements effectués en voiture. Il est ainsi impératif de considérer la question en fonction des habitudes de déplacement des individus (Beaucire et al., 2000b). Les résultats d'une enquête menée à la fois dans les grandes agglomérations de province et sur les zones de fortes densités de l'Ile-de-France confirment cette mise en garde (Massot, 2000). 53 % de la population enquêtée déclare en effet utiliser uniquement la voiture en province et 30 % en Ile-de-France. Le recours plus ou moins régulier aux transports publics semble ainsi compatible avec l'utilisation de la voiture, le développement de ces pratiques multimodales reste toutefois plus favorable en Ile-de-France qu'en province. Une simple comparaison entre les deux espaces considérés (encart 3) souligne des pratiques mixtes, autrement dit une utilisation partagée entre les deux modes, nettement plus courantes chez les Franciliens (43 %) et plus rare chez les provinciaux (18 %). Les pratiques des Parisiens reposent en effet sur une multimodalité choisie, "structurée par un usage soutenu des transports publics et par une population motorisée et largement autonome dans l'utilisation de la voiture". A l'inverse, la mobilité des citoyens de province repose sur une multimodalité subie, structurée "sur un usage occasionnel des transports publics par une population largement motorisée et autonome dans l'usage de la voiture". Les problèmes de congestion et de stationnement jouent certes un rôle déterminant dans ce décalage entre la région parisienne et la province, les auteurs de l'étude ajoutent toutefois un élément de réponse en mettant en cause la qualité des services de transports proposés.

encart 3: Les pratiques multimodales dans les grandes agglomérations françaises



La diffusion des pratiques multimodales représente une note optimiste face au sombre tableau de l'automobilité. Ainsi, l'organisation combinée des modes individuels et collectifs constitue sans aucun doute un élément décisif dans la définition des politiques de transports public à la fois des agglomérations de province et de la région Ile-de-France dans son ensemble.

Conclusion

Les mouvements de la ville, caractérisée par une transformation de sa morphologie et par la désynchronisation de ses rythmes contribuent à complexifier la mobilité des citoyens en renforçant l'usage de l'automobile. Dans ce contexte, les autorités organisatrices responsables des transports doivent s'adapter pour satisfaire un double enjeu écologique et social. Il s'agit d'offrir à la fois une alternative à la voiture pour assurer un développement durable des villes et de garantir le droit au transport pour toutes les personnes qui ne disposent pas d'un véhicule individuel. La diffusion des pratiques multimodales en Ile-de-France et de façon plus discrète dans les agglomérations de province présage un futur plutôt favorable. Ces comportements de mobilité constituent une piste d'avenir pour définir les politiques de déplacements, car les modes individuels et les modes collectifs ne doivent plus être envisagés comme concurrents mais bien comme complémentaires dans les plans de mobilité. Ils concernent enfin, dans une perspective plus large, le projet urbain dans son ensemble.

Chapitre 2

Quand les transports urbains deviennent un trait d'union entre intérêt individuel et collectif

Plus diffuses, moins radioconcentriques, plus étalées dans le temps, les nouvelles demandes de mobilité liées à la transformation des villes et à l'individualisation des modes de vie interpellent les transports publics. Ces derniers étaient jusqu'à présent conçus sur le modèle de production "fordien", c'est à dire un transport collectif de masse basé sur un itinéraire et des horaires communs à la majorité des usagers (Ascher, 1998 ; 1999 ; 2000a ; 2001). Ce type de transport reste valide dans des zones denses et sur de grands axes, malheureusement il ne considère qu'une part minoritaire et décroissante des déplacements. Les périurbains qui ne disposent pas d'un véhicule individuel sont moins bien connectés à la ville par les transports collectifs classiques, alors que leur besoin de liaisons diversifiées va croissant. Le retour à la ville pedestre du Moyen Age étant peu probable, il s'agit de développer des services de transports publics mieux personnalisés, capables de concilier les besoins individuels des personnes avec les intérêts collectifs de la société.

La recherche de cette conciliation est ici envisagée dans trois directions. Tout d'abord, les transports collectifs de masse peuvent-ils être renouvelés à travers une adaptation des missions du service public ? Ensuite, l'intermodalité peut-elle être autre chose qu'une forme de "slogan" (Orfeuil, 2000b) ou de "vœu pieu" pour devenir effective dans la conception de ces nouveaux services publics de mobilité décrits par F. Ascher (1999) ? Enfin, les expériences menées en France dans ce domaine sont-elles suffisantes pour répondre aux missions de services publics ?

1. Pour un service public de mobilité et d'accessibilité

L'individualisation des modes de vie remet profondément en question la notion d'intérêt général. Cette crise de la légitimité publique, souvent illustrée par le nimbisme "où vous voulez mais pas chez moi" (Ascher, 2000b), nécessite une adaptation des pouvoirs publics notamment dans les transports. Il s'agit ainsi de réfléchir à l'actualisation des principes qui fondent la notion de service public. Pour satisfaire ces exigences, les autorités qui ont en charge la gestion des transports doivent redéfinir leur rôle ainsi que leur périmètre d'action en fonction des territoires de la mobilité quotidienne. Enfin, la mise en place d'un service public de mobilité nécessite une adaptation des compagnies de transport.

1.1. Les exigences du service public dans les transports urbains

La notion de service public s'est peu à peu développée au cours du 19^e siècle à travers des débats plus ou moins teintés de partis pris idéologiques. On définit de façon générale que *"relève du service public les activités indispensables pour la société et/ou ne pouvant être réalisées de façon satisfaisante qu'avec l'intervention de la force gouvernante"* (Ascher, 1998 p.130). Les idées développées par François Ascher sur le service public constituent une base de réflexion intéressante. D'après cet auteur, les objectifs ainsi que les moyens mis en œuvre pour assurer la gestion du service public reposent sur trois principes majeurs et trois principes secondaires détaillés dans l'encart 4 ci-dessous.

encart 4 : Les ambitions du service public à la française

Les trois principes majeurs :

- La continuité du service : suppose l'obligation et la permanence de la fourniture des prestations aux usagers
- L'égalité d'accès et de traitement : les usagers doivent être traités de manière identique lorsqu'ils sont dans des situations semblables
- L'universalité : les mêmes services doivent être fournis en tous points du territoire

Les trois principes secondaires :

- La mutabilité ou l'adaptabilité : l'obligation d'adapter les services aux circonstances et à l'évolution des besoins
- La sécurité
- L'exemplarité

Source : (Ascher, 1999 p.21)

La mise en œuvre de ces principes fondateurs devient de plus en plus problématique face à des comportements de mobilité diversifiés. Comment respecter en effet la continuité du service public sur des territoires toujours plus vastes et selon des emplois du temps qui tendent à se désynchroniser ? De plus, garantir le principe

d'universalité en offrant un service de transport dans les zones rurales identique à celui des secteurs urbanisés reste un idéal qui doit faire face à des contraintes de tous ordres. Enfin, comment honorer le principe d'égalité d'accès aux mobilités pour les personnes les plus démunies ou atteintes d'un handicap ?

encart 5 : Le droit au transport au regard de la loi

Article 1

Le système de transports intérieurs doit satisfaire les besoins des usagers dans les conditions économiques, sociales et environnementales les plus avantageuses pour la collectivité. Il concourt à l'unité et à la solidarité nationales, à la défense du pays, au développement économique et social, à l'aménagement équilibré et au développement durable du territoire ainsi qu'à l'expansion des échanges internationaux, notamment européens.

Ces besoins sont satisfaits dans le respect des objectifs de limitation ou de réduction des risques, accidents, nuisances, notamment sonores, émissions de polluants et de gaz à effet de serre par la mise en oeuvre des dispositions permettant de **rendre effectif le droit à tout usager de se déplacer et la liberté d'en choisir les moyens** ainsi que la faculté qui lui est reconnue d'exécuter lui-même le transport de ses biens ou de le confier à l'organisme ou à l'entreprise de son choix.

Article 2

La mise en oeuvre progressive du droit au transport permet aux usagers de se déplacer dans des conditions raisonnables d'accès, de qualité et de prix ainsi que de coût pour la collectivité, notamment par l'utilisation d'un moyen de transport ouvert au public. Dans cet esprit, des mesures particulières peuvent être prises en faveur des personnes à mobilité réduite .

Les catégories sociales défavorisées, notamment celles des parties insulaires et des régions lointaines ou d'accès difficile du territoire national, peuvent faire l'objet de dispositions adaptées à leur situation.

Le droit au transport comprend le droit pour les usagers d'être informés sur les moyens qui leur sont offerts et sur les modalités de leur utilisation.

Sources : Légifrance 2002

Afin de répondre à ces trois questions, la notion de service public relative à la mobilité doit intégrer l'accessibilité. L'accès de tous aux activités constitue un enjeu fondamental car il répond à la fois aux exigences du droit au transport (encart 5), exprimées dans la Loi d'Orientation sur les Transports Intérieurs (LOTI), et s'inscrit dans les missions du service public en matière de développement local et de lutte contre les inégalités. Garantir l'accessibilité de tous à l'emploi, à la formation, aux loisirs et aux commerces en levant les obstacles physiques, tarifaires ou tout simplement l'ignorance, améliore la qualité de la desserte du territoire et contribue ainsi au développement local (Bailly et al., 2001). La mise en accessibilité de l'ensemble de la chaîne de déplacement par une coordination des différents moyens et acteurs, contribue à réduire les inégalités de toute nature en répondant à des besoins spécifiques liés à des handicaps physiques ou sociaux. Il est toutefois nécessaire de dépasser la seule notion de droit au transport car les citoyens ne s'intéressent plus à un moyen de déplacement unique. Il faut offrir aux usagers la possibilité de choisir en fonction de leurs besoins, selon les circonstances car les solutions exclusives ne sont pas de mise en la matière (Ascher, 1999). Pour préserver

les principes du service public, il s'agit donc de diversifier la gamme des moyens de transport en proposant des "produits" personnalisés et interconnectés. Ces exigences nécessitent une véritable adaptation des institutions et des entreprises qui ont en charge la gestion des transports.

1.2. Vers une intercommunalité adaptée au service public des mobilités

Avec l'extension des villes, les déplacements débordent inévitablement des limites administratives des différentes collectivités territoriales. Cette réalité est prise en compte dès la fin de la Seconde Guerre mondiale, à travers la notion de Périmètre de Transport Urbain (PTU) instaurée dès 1949 (encart 6) (Lefèvre et al.,1990). Tel qu'il se définit au départ dans son contenu juridique, le PTU se réfère à la notion d'ensemble bâti.

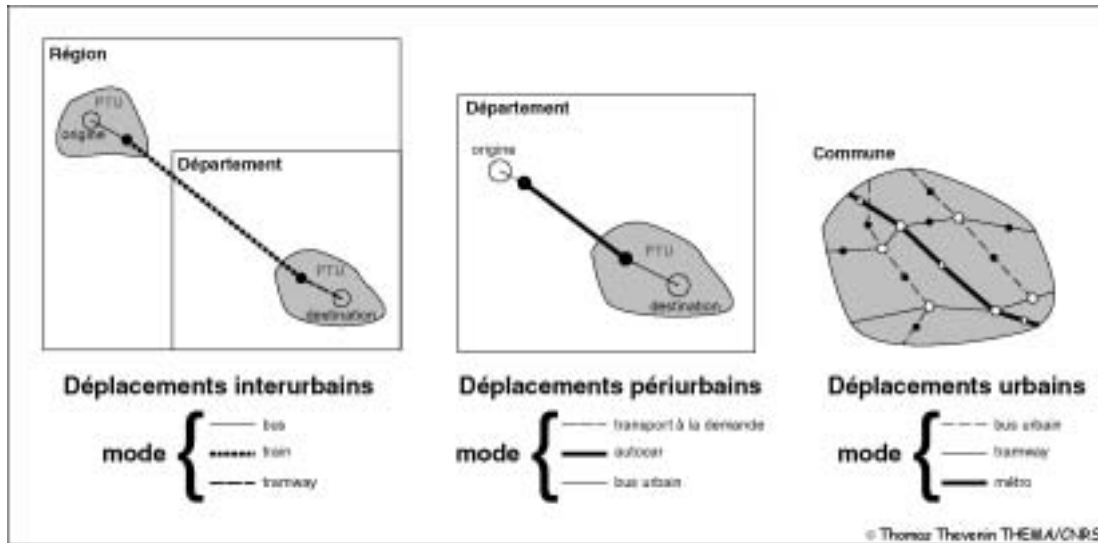
encart 6 : Contexte institutionnel et rôle des autorités organisatrices de transport

| Chronologie institutionnelle des transports urbains (non exhaustive) | Récapitulatif des responsabilités attribuées aux autorités organisatrices de transport | | | | | | | | | | |
|--|--|--------------------------|-----------------------------------|---|---|-----------------|--|------------------|--|---------------------------|---|
| <p>1949 : création des périmètres de transport urbain</p> <p>1973 : décret sur les périmètres de transport urbain et extension du versement transport aux agglomérations de plus de 300000 habitants</p> <p>Décembre 1982 (loi n°82 1153) : la loi d'orientation des transports intérieurs (LOTI) pose le principe du droit au transport et définit les fondements d'une politique globale des transports.</p> <p>Juillet 1991 (loi n°91 662) : la loi d'orientation pour la ville (LOV) pose le principe du droit à la ville, définit une politique de cohésion sociale. Il s'agit pour chaque agglomération, commune ou quartier de diversifier les types de logements d'équipements et de services nécessaires, notamment les transports.</p> <p>Décembre 1992 (loi n° 92 1444) : relative à la lutte contre le bruit dans les transports.</p> <p>Février 1995 (loi n°95 115) : la loi d'orientation pour l'aménagement et le développement du territoire (LOADT) oblige les régions à réaliser des schémas de services collectifs, ainsi que des schémas multimodaux de services collectifs de transport.</p> <p>Décembre 1996 (loi n°96 1236) : la loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie oblige les agglomérations de plus de 100 000 habitants à élaborer un plan de déplacements urbains.</p> <p>Décembre 2000 (loi n°2000 1208) : loi relative à la solidarité et au renouvellement urbains (SRU) qui réaffirme le droit au transport et vise à mettre en œuvre une politique de déplacements au service du développement durable.</p> | <table border="1"> <thead> <tr> <th align="center">Autorités organisatrices</th> <th align="center">Compétence transport de voyageurs</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Commune Communauté de communes Syndicat Intercommunal à Vocation Multiple Syndicat Intercommunal à Vocation Unique Syndicat mixte</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • Organisation des services de transport public urbain après création d'un PTU • Conventonnement des exploitants de transport public urbain • Elaboration des Plans de Déplacements Urbains (PDU) </td> </tr> <tr> <td>Conseil général</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • Organisation des services de transport public routier non urbain dont les transports scolaires • Conventonnement des exploitants de transport public routier non urbain • Elaboration de schémas départementaux de transport </td> </tr> <tr> <td>Conseil régional</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • Organisation des services de transport ferroviaire et routier d'intérêt régional • Conventonnement des services régionaux routiers et ferroviaires • Elaboration de schémas régionaux de transport (SRT) </td> </tr> <tr> <td>Ministère de l'Équipement</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> • Réglementation des activités de transport (organisation, sécurité...) et contrôle de son application • Organisation des services de transport public d'intérêt national (interrégionaux) • Tutelle des entreprises nationales SNCF et RATP • Définition et mise en œuvre d'une politique d'aide de l'Etat aux transports publics de province </td> </tr> </tbody> </table> | Autorités organisatrices | Compétence transport de voyageurs | Commune Communauté de communes Syndicat Intercommunal à Vocation Multiple Syndicat Intercommunal à Vocation Unique Syndicat mixte | <ul style="list-style-type: none"> • Organisation des services de transport public urbain après création d'un PTU • Conventonnement des exploitants de transport public urbain • Elaboration des Plans de Déplacements Urbains (PDU) | Conseil général | <ul style="list-style-type: none"> • Organisation des services de transport public routier non urbain dont les transports scolaires • Conventonnement des exploitants de transport public routier non urbain • Elaboration de schémas départementaux de transport | Conseil régional | <ul style="list-style-type: none"> • Organisation des services de transport ferroviaire et routier d'intérêt régional • Conventonnement des services régionaux routiers et ferroviaires • Elaboration de schémas régionaux de transport (SRT) | Ministère de l'Équipement | <ul style="list-style-type: none"> • Réglementation des activités de transport (organisation, sécurité...) et contrôle de son application • Organisation des services de transport public d'intérêt national (interrégionaux) • Tutelle des entreprises nationales SNCF et RATP • Définition et mise en œuvre d'une politique d'aide de l'Etat aux transports publics de province |
| Autorités organisatrices | Compétence transport de voyageurs | | | | | | | | | | |
| Commune Communauté de communes Syndicat Intercommunal à Vocation Multiple Syndicat Intercommunal à Vocation Unique Syndicat mixte | <ul style="list-style-type: none"> • Organisation des services de transport public urbain après création d'un PTU • Conventonnement des exploitants de transport public urbain • Elaboration des Plans de Déplacements Urbains (PDU) | | | | | | | | | | |
| Conseil général | <ul style="list-style-type: none"> • Organisation des services de transport public routier non urbain dont les transports scolaires • Conventonnement des exploitants de transport public routier non urbain • Elaboration de schémas départementaux de transport | | | | | | | | | | |
| Conseil régional | <ul style="list-style-type: none"> • Organisation des services de transport ferroviaire et routier d'intérêt régional • Conventonnement des services régionaux routiers et ferroviaires • Elaboration de schémas régionaux de transport (SRT) | | | | | | | | | | |
| Ministère de l'Équipement | <ul style="list-style-type: none"> • Réglementation des activités de transport (organisation, sécurité...) et contrôle de son application • Organisation des services de transport public d'intérêt national (interrégionaux) • Tutelle des entreprises nationales SNCF et RATP • Définition et mise en œuvre d'une politique d'aide de l'Etat aux transports publics de province | | | | | | | | | | |
| Sources : (Lefèvre et al., 1990) complété par Légifrance, (Ehnc, 1999) | © Thomas Thevenin THEMA/CHRS | | | | | | | | | | |

Il peut concerner le territoire communal ou le territoire d'un établissement public intercommunal ayant la compétence en matière de transport. Quelques modifications sont ajoutées au décret en 1974 : le périmètre n'est plus déterminé en fonction du bâti *mais avec le territoire des collectivités organisatrices*. De nouvelles structures institutionnelles se sont ainsi créées afin d'assurer la gestion des transports dans des regroupements de communes. Au sein de ces structures, les communes conservent leur compétence et gèrent conjointement les transports si elles le souhaitent. Cette forme d'intercommunalité repose sur la bonne volonté des élus, ils peuvent librement adhérer à la structure et tout aussi facilement la quitter. Ces regroupements communaux, appelés Autorités Organisatrices de Transport, prennent des formes plus ou moins variées en fonction du niveau de contrainte choisi (encart 6). A partir de 1982, la Loi d'Orientation sur les Transports Intérieurs (LOTI) confirme l'existence des PTU et crée une procédure de planification : le Plan de Déplacement Urbain (PDU). Jusqu'à présent, aucune institution n'était habilitée à coordonner les besoins en matière de déplacement, le PDU constitue à cet égard une véritable révolution car la planification des transports est désormais assurée par l'autorité organisatrice compétente. Les lois sur la décentralisation de 1982 ajoutent deux nouvelles institutions aptes à devenir Autorités Organisatrices de Transport : la Région et le Département.

Ces multiples délimitations institutionnelles, imbriquées à la manière de poupées russes, compliquent l'organisation matérielle de la chaîne de déplacement. La figure 13 fait apparaître les acteurs mobilisés, en fonction de trois types de déplacements multimodaux dans une région (ENPC, 1999). Dans le premier cas, les déplacements interurbains mettent en relation trois modes de transport différents et regroupent toutes les autorités organisatrices (la région, le département et la commune). Dans le second cas, les déplacements périurbains font intervenir le département et la municipalité. Enfin dans le dernier cas (les déplacements intra-urbains), plusieurs modes de transports publics sont disponibles et la municipalité est la seule autorité organisatrice concernée. Si l'on considère uniquement les déplacements qui entrent dans le cadre de notre problématique, les déplacements urbains et périurbains, l'émiettement des compétences posent des problèmes de trois ordres. Le premier, d'ordre technique, révèle la difficulté d'offrir une desserte de qualité dans les communes périphériques tout en limitant le déficit budgétaire. La recherche de solutions moins coûteuses a conduit les autorités à ne pas étendre le réseau urbain dans les zones périurbaines et à faire appel à des transports interurbains. L'organisation et la planification des transports sont ainsi rendues plus complexes. Le second problème, d'ordre financier, concerne la tarification différenciée entre la ville-centre et la périphérie. Le troisième et dernier aspect, d'ordre institutionnel, se rapporte à la difficile coopération entre les différentes autorités organisatrices pour mener des opérations transversales comme la tarification combinée pour un même déplacement ou encore l'édition des horaires sur une plaquette commune.

figure 13 : L'imbrication des territoires de la mobilité



Les Communautés d'agglomérations pour les villes de plus de 100 000 habitants, instituées par la loi du 12 juillet 1999, offrent un cadre adapté pour répondre aux problèmes de transports et d'une façon plus générale aux questions posées par les nouvelles dimensions de la ville. Marc Wiel (2002) n'hésite pas à désigner la communauté d'agglomération comme *"la configuration optimale de l'intercommunalité"*, il déclare ensuite : *"L'espace idoine de l'institution d'agglomération est celui qui peut à la fois prétendre organiser la mixité sociale et l'intermodalité, c'est à dire conjuguer naturellement des politiques publiques naturellement imbriquées par les citoyens mais pas pour les institutions"*.

Ce nouvel échelon n'est pas seulement la huitième forme d'intercommunalité pensée par l'administration centrale, elle constitue *une véritable rupture dans l'histoire des statuts et des collectivités locales* (Ampe, 2002). Le contour de cette entité administrative a tout d'abord été défini par un critère de continuité du bâti. Ensuite, les espaces résidentiels plus diffus ont été inclus dans la communauté d'agglomération suivant les liens de dépendance qu'ils entretiennent avec la ville-centre. Pour cela, la définition des aires urbaines proposée par l'INSEE a été reprise afin d'intégrer les relations propres à l'emploi et à l'usage de ce que l'on pourrait appeler le bassin de vie quotidienne. Cette définition s'affranchit ainsi des limites administratives tout en étant légitimée par la loi. Elle devient l'organisme politique, fiscal et administratif qui assure une gestion intégrée et efficace dans un espace enfin devenu fonctionnellement cohérent. Quatre missions sont actuellement assumées par les Communautés d'agglomérations. La première concerne particulièrement notre sujet d'étude puisqu'il s'agit de veiller à la solidarité entre les territoires urbains, plus précisément les relations entre la ville-centre, la banlieue et les communes périphériques. Gérer et limiter l'étalement urbain constitue la seconde priorité. Le développement économique ainsi que la construction d'un projet global d'agglomération représentent les deux derniers objectifs. Outre le problème de

légitimité auxquels les nouveaux échelons administratifs sont confrontés, la gestion des compétences partagées apparaît comme le principal frein au projet d'agglomération. L'économie, les transports, l'habitat, tous ces sujets dépassent largement le périmètre institutionnel, aussi cette fonction "macroterritoriale" de l'agglomération doit être impérativement intégrée.

1.3. Vers des opérateurs prestataires de service public de mobilité

L'exploitation des réseaux de transport est confiée depuis fort longtemps à des opérateurs publics ou privés, placés sous l'autorité des pouvoirs publics par différents systèmes de concessions (Lefèvre et al., 1990). Les principaux opérateurs ont jusqu'à présent développé des outils de transport de masse adaptés aux milieux densément peuplés, sur des parcours identiques et calqués sur les horaires de pointe. Or, l'évolution des mobilités, dont il a été question précédemment (chapitre 1), conduit de plus en plus les transporteurs à faciliter les déplacements singuliers, sur des parcours diversifiés et variables, au cours de la journée ou de la semaine. Les transports publics classiques gardent bien évidemment leur raison d'être en milieu dense, mais les opérateurs doivent diversifier davantage leurs activités de services (Ascher, 1999). Les transporteurs ont ainsi fait évoluer leur fonction première de gestionnaires d'infrastructures vers le rôle de prestataire de services à la mobilité. Les techniques de marketing ont été introduites dans le but de déterminer les attentes des voyageurs (Bailly, 2001). Il ne s'agit plus d'acheminer des usagers considérés comme passifs au cours de leurs déplacements mais de transporter des clients considérés comme des sujets actifs (Petrella, 1999). Face à ces évolutions, Alain Bourdin (2001) propose d'offrir des *environnements de services* dans les véhicules, les gares et les pôles d'échanges afin de donner au voyageur la possibilité d'organiser et de valoriser son déplacement. Ce même auteur propose une typologie des différentes prestations de services à la mobilité qui pourrait être assumées, dans leurs nouvelles attributions, par les transporteurs.

Le premier type de services est **l'aide à la décision**. Il s'agit ici d'assister le voyageur dans le choix de son mode de déplacement, de son itinéraire et éventuellement des correspondances à effectuer. La matière essentielle pour satisfaire cette prestation, c'est l'information. Sa fiabilité et sa compréhension doivent permettre au client d'évaluer les avantages et les inconvénients des différentes possibilités pour effectuer son déplacement. Les centrales d'informations, sur lesquelles nous reviendrons ultérieurement, fournissent à cet égard une bonne illustration de l'aide à la décision.

L'aide à l'organisation, plus précisément l'articulation des différents services de mobilité, constitue le second type de prestation. Cette catégorie, très liée à l'aide à la décision, est destinée à assembler et à piloter les différentes séquences de la chaîne de déplacement. Le transporteur peut se concentrer sur des "séquences-produits" bien identifiées pour garantir un fonctionnement fiable. Il peut aussi se focaliser sur des séquences plus complexes, propres à certaines catégories d'individus, cette organisation nécessitant un service individualisé et flexible et de fait plus coûteux. Il

reste entre les deux une large place pour des "assemblages pertinents", qui ne correspondent pas à des produits mais qui "systématisent des demandes ou des besoins existants et fréquents". Le développement des initiatives qui remettent en cause les séparations classiques entre transport individuel et transport collectif rentrent dans ce cadre. L'expérience, menée dans certaines ville, de parcs-relais connectés à un transport collectif est, à ce titre, concluante (encart 7).

encart 7 : Strasbourg : une expérience réussie qui associe transport individuel et collectif

Le long de la première ligne de tramway, quatre parcs de stationnement offrent 1 900 places, auxquelles s'ajoutent les 2 400 places des quatre autres parcs disposés sur la ligne 2. Les parcs-relais représentent environ la moitié de l'offre de stationnement en ouvrage de Strasbourg. Les conditions d'utilisation des parcs-relais sont particulièrement attractives : pour 2,30 €, le stationnement peut durer toute la journée dans ces parcs gardés. En échange, tous les passagers du véhicule reçoivent deux billets de transports publics valable pour effectuer un aller-retour. Cette offre technique tarifaire a attiré aux transports publics une clientèle qui ne les empruntait jamais. Les trois premiers parcs ouverts (...) ont amené plus d'un million de voyageurs au réseau de transports publics, économisant près de 500 000 circulations en voiture vers le centre-ville. L'usage de ces parcs-relais s'est accru au rythme de 7 % par an entre 1995 et 1998. Nantes s'est engagée dans une politique similaire, qui porte les mêmes fruits, signe de l'adhésion des citoyens à des facilités de déplacements suffisamment importantes pour entrer en concurrence avec la voiture particulière.

Sources : (Beaucire et al., 2000b p. 97)

L'aide à la connexion et les **services d'accompagnement à la mobilité** sont deux prestations plus spécifiques. La première consiste à organiser des changements de connexion comme le changement automatique des fréquences sur le poste FM d'une automobile. L'aide à l'accompagnement concerne davantage la présence du personnel d'accueil pour sécuriser le déplacement. En articulant ces quatre types de prestations les conditions sont réunies pour que le voyageur puisse accomplir des déplacements plus complexes et accéder à des informations pour organiser sa mobilité individuelle.

L'organisation des nouvelles pratiques de mobilité nécessite une remise en question des oppositions classiques entre les intérêts particuliers et les intérêts généraux, entre les institutions à l'échelle locale et globale ou encore entre les transports collectifs et individuels. Il s'agit de développer des approches plus transversales pour satisfaire aux exigences de service public de mobilité et d'accessibilité.

2. L'intermodalité : une action transversale au service des transports publics

L'intermodalité, depuis les années 1980, est devenue le maître mot des analyses et des débats concernant les mobilités quotidiennes. Outre son principal objectif,

l'articulation des différents modes de transport, l'intermodalité a pour vocation de rassembler les acteurs intéressés afin de construire un projet transversal de mobilité. Ces objectifs de coopération et de concertation font partie intégrante des fondements et des défis de l'intermodalité.

2.1. Les fondements de l'intermodalité

La notion d'intermodalité a été affirmée dès 1982 dans les textes législatifs français à travers la Loi d'Orientation sur les Transports Intérieurs. La LOTI reste encore aujourd'hui le texte pivot autour duquel s'articule toutes les nouvelles lois en matière de transport. La lecture des articles concernés montre en premier lieu le souci des autorités d'associer transport individuel et collectif (encart 8) ; on peut entrevoir ensuite quelques aspects de la concertation, notamment entre les opérateurs des transports publics. Malgré cette loi, les actions intermodales n'ont pas connu de réel succès.

encart 8 : L'intermodalité affirmée dans la Loi sur les Transports Intérieurs

Article 3

La politique globale des transports de personnes et de marchandises assure le développement harmonieux et complémentaire des divers modes de transports individuels et collectifs, en tenant compte de leurs avantages et inconvénients en matière de développement régional, d'aménagement urbain, de protection de l'environnement, de défense, d'utilisation rationnelle de l'énergie, de sécurité et de leur spécificité. (...)

Elle favorise leur complémentarité et leur coopération, notamment dans les choix d'infrastructures, l'aménagement des lieux d'échanges et de correspondances et par le développement rationnel des transports combinés. Elle encourage, par la coordination de l'exploitation des réseaux, la coopération entre les opérateurs, une tarification combinée et une information multimodale des usagers.

Elle optimise en priorité l'utilisation des réseaux et équipements existants par des mesures d'exploitation et des tarifications appropriées.

Elle permet la desserte, par au moins un service de transport remplissant une mission de service public, des territoires de faible densité démographique, à partir des grands réseaux de transport.

Article 4

L'élaboration et la mise en oeuvre de la politique globale des transports sont assurées conjointement par l'Etat et les collectivités territoriales concernées dans le cadre d'une planification décentralisée, contractuelle et démocratique, avec la participation des représentants de tous les intéressés. Cette politique globale donne lieu à l'établissement de schémas de services de transport tels que définis à l'article 14-1 de la présente loi. En tenant compte des orientations nationales et locales d'aménagement, les autorités compétentes pour l'organisation des transports et la gestion des infrastructures coordonnent leurs actions à partir d'une analyse globale et prospective des besoins de déplacements et harmonisent leur politique dans les aires urbaines et au niveau régional. Le développement de l'usage des transports collectifs de personnes revêt un caractère prioritaire (...)

Sources : Légifrance 2002

Face à un marché des déplacements particulièrement défavorable aux transports publics, l'Union des Transports Publics a relancé en 1996 la notion d'intermodalité. Les opérateurs de transport ont été invités à signer *une charte de l'intermodalité* qui *"marque leur volonté d'améliorer le service et le confort des voyageurs et s'engage*

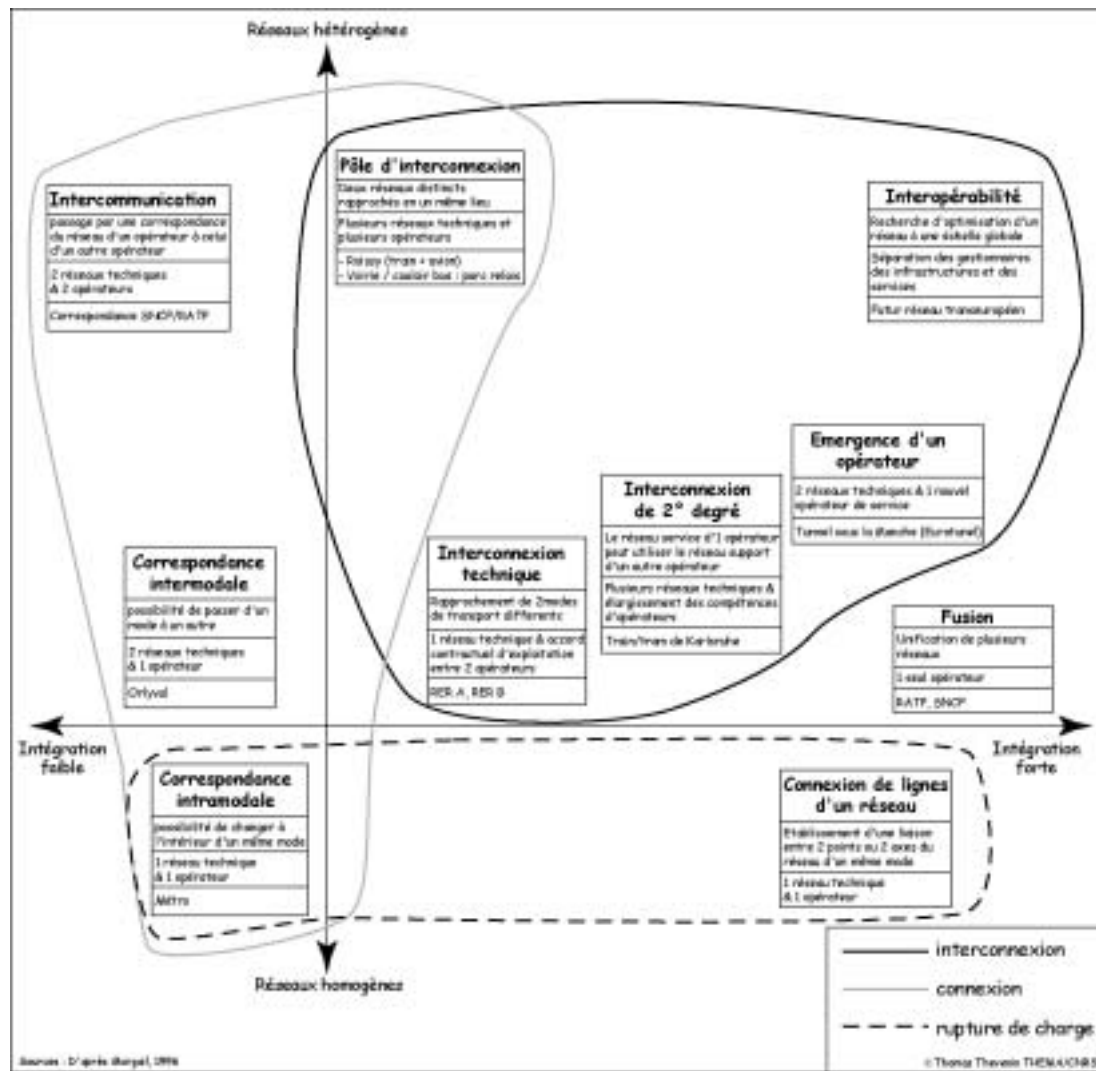
dans un code de conduite qui leur permettra, ensemble, de reconquérir et d'accroître leur clientèle". Le Groupement des Autorités Responsables des Transports (GART, 1999) note quelques avancées depuis 1996, mais les résultats d'une enquête, dont nous parlerons plus bas, restent somme toute décourageants.

Si les idées concernant l'intermodalité ont été proposées très tôt dans les textes de loi, la définition qui en découle nécessite en revanche quelques précisions. Une certaine confusion règne autour de cette notion, *le préalable indispensable est ainsi de faire le point sur les terminologies voisines qui ne sont pas toujours employées à bon escient* (Margail, 1996). F. Margail (1996) a essayé de dissiper cette confusion à travers une réflexion sémantique sur *les mots de l'interconnexion*. L'auteur distingue, au terme de son article, deux grands groupes d'expressions. La première catégorie rassemble les mots liés *aux modalités de mise en compatibilité des réseaux*, il s'agit des termes suivants : connexion, interconnexion, correspondance, intercommunication, rupture de charge, échange, interface, relais, interopérabilité, interfonctionnement, fusion. Le second groupe permet d'affiner cette typologie de l'interconnexion sous deux formes distinctes :

- L'interconnexion nodale rapproche des réseaux techniques "*par des lieux d'échanges, des lieux d'interface entre les réseaux et les territoires... lieu au niveau duquel les voyageurs devront pratiquer une correspondance impliquant parfois un changement de mode*".
- L'interconnexion réticulaire met en relation des infrastructures, il existe donc un point de **jonction**. Mais, à travers une coopération institutionnelle ou financière, "*un service direct est mis en place qui emprunte indifféremment les réseaux-supports articulés et qui banalise ainsi ce point dans le nouveau réseau interconnecté – il pourra être conservé en tant qu'arrêt mais ne constituera en aucun cas une rupture de charge*".

Un "graphique synoptique" (figure 14) complète ensuite cette typologie afin de préciser la définition de chacun de ces termes, puis de resituer la gradation des différentes solutions disponibles pour articuler les réseaux. L'axe des abscisses précise le niveau d'intégration de l'exploitation des réseaux, c'est à dire le nombre d'opérateurs associés pour assurer le fonctionnement du service. L'axe des ordonnées fait ressortir l'hétérogénéité des réseaux disponibles sur un point d'interconnexion. L'hétérogénéité et l'intégration permettent ainsi de préciser le degré de coopération sous-entendu par ces différentes solutions en termes de gestion d'infrastructures et de concertation institutionnelle.

figure 14 : Les mots de l'intermodalité et les formes d'intégration des réseaux de transport



Ce panorama sémantique doit être complété afin de clarifier les notions d'intermodalité et de multimodalité. Ces néologismes très proches figurent dans de nombreux projets sur les transports, ils ne sont cependant pas toujours utilisés pour désigner les mêmes choses. Ils nécessitent donc d'être distingués afin de rendre nos propos plus rigoureux. Cette tentative de différenciation, qui n'a rien d'officielle, a été effectuée à partir des différents organismes de référence compétents dans le domaine des transports.

tableau 7 : Multimodalité, intermodalité : quelle définition ?

| Organismes | Multimodalité | Intermodalité |
|--|--|--|
| LATTS | Différencie selon l'usage : Les pratiques multimodales combinées : association de la voiture à un mode de transport collectif au cours d'un même déplacement Les pratiques multimodales alternées : recours différencié dans le temps et dans l'espace à la voiture et au transport collectif (définition proposée par MH Massot, citée dans Margail, 1996) | Possibilité de passer d'un mode de transport à un autre ; ne pas confondre avec plurimodalité (appartenance d'une infrastructure à plusieurs modes) ou avec intramodalité (possibilité de changer à l'intérieur d'un même mode). (définition proposée par MF De Noue, citée dans Margail, 1996) |
| GART | Recours à plusieurs modes pour satisfaire des besoins de déplacements | Principe d'organisation et d'articulation de l'offre de transport visant à coordonner plusieurs systèmes modaux pour une gestion et un aménagement spécifique des interfaces intermodales entre les différents réseaux |
| UTP | Usage alternatif de plusieurs modes | Donne à la notion de chaîne de déplacement tout son sens, dans le respect des apports spécifiques de tous les modes |
| RAPT/SNCF | Recours successif à plusieurs modes. Plusieurs possibilités sont offertes à l'usager pour satisfaire un déplacement | Ensemble des moyens mis en œuvre pour éviter les désagréments subis par l'usager dans le choix de son mode de déplacement ou lors de la rupture de charge entre les modes. |
| Mission transport & intermodalité de l'Union Européenne | | Un système interconnecté permettant de réaliser un déplacement porte à porte (Définition proposée en 1995 par Neil Kinnock, commissaire chargé des transports pour la mission transport/intermodalité) |

La lecture de ces définitions (tableau 7) fait ressortir le caractère organisationnel de l'intermodalité. Cette dernière peut ainsi se définir par l'ensemble des moyens mis en œuvre pour rationaliser le système de transport dans l'objectif d'aider les voyageurs à coordonner leurs modes de déplacement. La multimodalité apparaît en revanche plus polysémique (Margail 1996). D'un point de vue technique, elle désigne les propriétés d'une infrastructure tandis qu'à l'échelle du territoire, elle signifie la présence de plusieurs modes susceptibles d'être utilisés alternativement pour effectuer un déplacement. Du point de vue du voyageur, la multimodalité concerne davantage les pratiques, c'est-à-dire l'usage successif d'un ou plusieurs modes de transport pour accomplir un déplacement. Ainsi la multimodalité relève à notre sens de l'événement, tandis que l'intermodalité apparaît davantage comme un processus qui implique une mise en commun des moyens destinés à coordonner les modes et articuler les territoires.

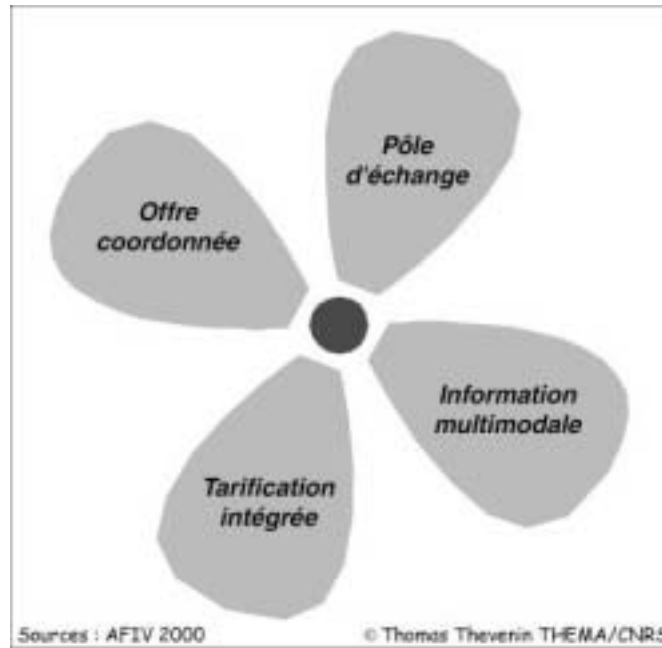
2.2. Les défis de l'intermodalité

Les précisions sémantiques complétées par un rapport sur les actions fédératives de l'intermodalité (AFIV, 2000) ont permis de déterminer trois "défis" qui relèvent de la notion de service public de mobilité et d'accessibilité.

Le premier défi considère l'intermodalité du point de vue de la complémentarité des modes de transport. La charte de l'intermodalité envisage les transports publics comme la meilleure solution pour adapter l'urbanisme, lutter contre la pollution ou désenclaver les quartiers exclus. Seule la complémentarité entre les modes de transports collectifs "lourds" comme le bus, le métro ou le tramway est abordée dans cette affirmation. Si l'articulation entre ces modes est particulièrement efficace dans les zones denses et congestionnées, cette organisation des transports est en revanche moins adaptée aux couronnes périphériques où l'habitat est dispersé et la mobilité plus diffuse (Ascher, 1998). Il apparaît essentiel d'envisager l'intermodalité comme une association entre les modes individuels et collectifs avec notamment l'installation de parc-relais dont nous avons précédemment parlé. La complémentarité entre les artisans taxis et les transports classiques est ensuite une forme d'intermodalité qui s'approche du service public personnalisé dont il a été question en préambule de ce chapitre. Les opérations concernant les véhicules mécanisés ne doivent toutefois pas contribuer à masquer l'importance des modes doux. La marche à pied constitue la, plupart du temps, le premier maillon de la chaîne de déplacement ; aussi, faciliter l'accès des piétons aux stations de bus par la construction de chemins spécifiques sécurisés et éclairés doit faire partie d'un projet intermodal. Les bicyclettes s'insèrent également dans ce dispositif, lorsque des emplacements sont réservés à cet effet.

L'utilisation conjointe de plusieurs modes de transport complique le déplacement d'une personne. La correspondance de mon train sera-t-elle assurée malgré le retard de mon autocar ? Aurai-je le temps d'acheter mon billet ? Ces deux questions montrent à quel point la rupture de charge peut devenir une contrainte pour le voyageur, surtout lorsqu'il s'agit de la mobilité quotidienne. Simplifier l'usage du système de transport collectif dans son ensemble devient ainsi une exigence. Pour satisfaire cette priorité, le GART (cité dans AFIV 2000 p.11) définit la réussite d'un projet intermodal par un schéma à quatre pétales (figure 15). Le premier pétale, **l'offre coordonnée**, implique une compatibilité des horaires entre tous les modes de transport inclus dans le projet. Le second pétale, **la tarification intégrée**, exige un seul titre de transport valable sur plusieurs réseaux de transport tandis que le troisième, **l'information multimodale**, nécessite un seul support regroupant l'ensemble des données relatives à l'offre de différents modes de transport. Le dernier pétale concerne **les pôles d'échanges** : dans un langage moins technique, on dira que plusieurs modes de transport sont disponibles dans un même lieu. Par exemple, dans un tel projet la gare ferroviaire et la gare routière ne font qu'un.

figure 15 : Les pétales de l'intermodalité



Au delà de l'organisation de la chaîne de déplacement, ce sont les lieux de la mobilité qu'il faut réinventer. Le développement de services aux usagers est devenu en effet un élément clé du dispositif, F. Ascher (2000) rappelle que *"se déplacer n'est pas seulement un moyen d'accéder à une activité, à un lieu, à une fonction. C'est aussi un temps et une activité spécifique, qui a ses qualités propres"*. Le déplacement ne doit pas être vécu comme du temps perdu mais comme l'occasion d'effectuer des achats ou d'organiser des rendez-vous (Amar, 1999). Les gares, les stations de métro, les pôles d'échanges restent à transformer en *escale d'urbanité* (Bailly et al., 2001) ou *en environnement de services*, pour reprendre l'expression de A. Bourdin évoquée plus haut. Plusieurs expériences d'animation et d'innovation sont actuellement menées. La RATP développe depuis quelques mois les "bouquets de services" dans certains pôles d'échange (Bailly et a.,2001). Cette action vise à regrouper au sein de "relais d'étapes" les fonctions diverses d'information et d'orientation sur le transport et la ville, des outils de communication comme des accès à internet, des fax, une poste ou encore des lieux de convivialité comme "le coin bistrot", des espaces de culture et de jeux. Des actions similaires ont été entreprises dans le même sens par la SNCF avec la création des plates-formes de services publics dans certaines gares. Sur une échelle plus conséquente, la SNCF, dans le cadre d'une politique globale de valorisation, a lancé une campagne de rénovation accompagnée du développement de galeries commerciales dans les gares. Il faut toutefois mentionner que tous les voyageurs ne sont pas "hypermobiles", à savoir des personnes qui ont recours à tous les modes de transport et qui ont l'habitude de repérer les informations utiles pour organiser leur déplacement. Un groupe de travail franco-suisse a montré en effet que le temps de transport peut être vécu de façon différente selon les habitudes de mobilité (Kaufmann, 2000). Les usagers fréquents ont une capacité différente à utiliser les

moyens mis en œuvre pour modifier leurs programmes d'activités que les usagers occasionnels. L'équipe de recherche montre ainsi qu'une amélioration de la lisibilité du réseau, notamment avec le cadencement des horaires et une signalétique particulière améliore le temps du transport.

Les fondements de l'intermodalité et les défis qui lui sont imposés semblent répondre aux exigences du service public de mobilité. Le développement des transports personnalisés connectés aux modes classiques ou l'installation d'espaces de services dans les pôles d'échanges sont ainsi des propositions encourageantes. Il apparaît toutefois que la pratique est loin de remplir toutes les exigences du discours.

3. Les expériences pratiques de l'intermodalité en France : un champ encore restreint

Ce terme à la mode depuis quelques années est désormais dans tous les rapports (...), pourtant l'intermodalité, si souvent invoquée est encore peu mise en pratique. Ainsi commence en préambule l'ouvrage sur les politiques et les pratiques d'intermodalité en France rédigé par le Groupement des Autorités Organisatrices de Transports (GART) (Annexe 1). Pour comprendre ce décalage entre le discours et la pratique, l'Union des Transports Publics (UTP) a gracieusement mis à notre disposition les résultats d'une enquête sur l'état de l'intermodalité en 1998. Ce bilan quelque peu mitigé permettra de déterminer les défis et de soulever de nouveaux questionnements sur ce thème récurrent des transports publics.

3.1. Un bilan des expériences mitigé

Les résultats de cette enquête permettent de dresser le bilan des expériences en matière d'intermodalité en France. Cet état de l'art recense en effet les pratiques de 121 compagnies de transport adhérentes à l'UTP au cours de l'année 1998. L'analyse des résultats a été complétée par le guide des politiques et des pratiques d'intermodalité édité par le Groupement des Autorités Organisatrice de Transport (GART, 1999). Cette étude déjà ancienne offre tout de même un panorama suffisamment large pour cerner les enjeux de l'intermodalité. L'enquête de l'UTP a été construite en fonction de six variables clefs :

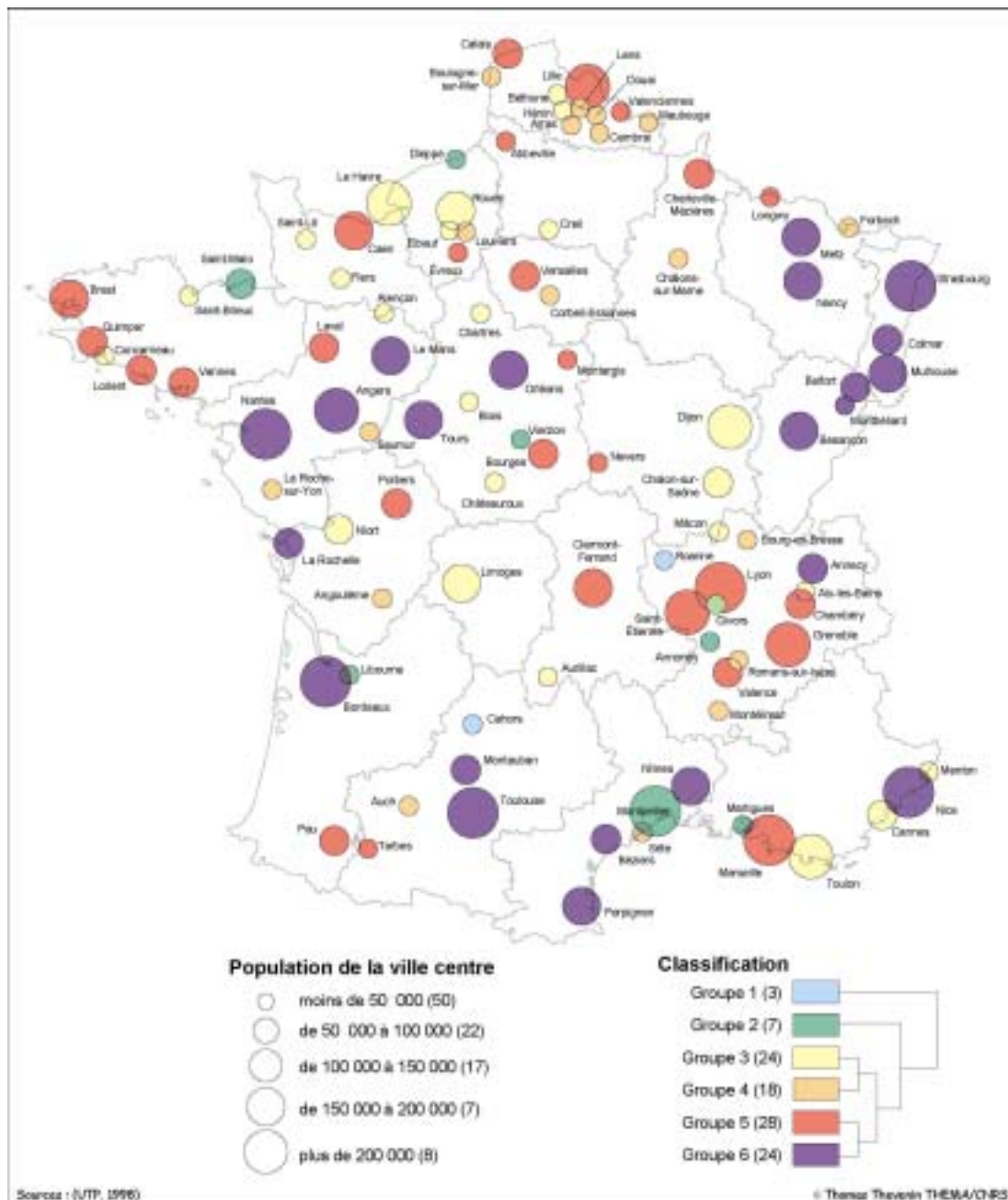
- Les pratiques de coopérations initiées par l'autorité organisatrice de transport
- Les pratiques de coopérations initiées par l'entreprise de transport
- Les pôles d'échanges
- L'information multimodale
- La tarification combinée
- Les autres coopérations

Nous avons cherché à établir le degré d'intermodalité à partir de ces six variables communes aux 121 agglomérations dont le détail est exposé en annexe 2. Seules les

expériences réalisées ou en cours de réalisation pendant l'année 1998 ont été retenues pour cette étude. Les informations ont été tout d'abord traitées par une Analyse Factorielle des Correspondances, présentée en annexe 1, puis complétée par une Classification Ascendante Hiérarchique afin de dresser une typologie des expériences en matière d'intermodalité. Six groupes distincts ont été identifiés à l'issue de ce traitement puis cartographiés (figure 16) :

- **Groupe 1** : ce groupe rassemble les actions intermodales concernant les agglomérations de petite taille. La coopération entre les autorités organisatrices de transport est initiée par le Conseil régional, le plus souvent pour la réalisation de documents destinés à la planification comme les Plans de Déplacements Urbains.
- **Groupe 2** : ce groupe rassemble des agglomérations également de petite taille. Les opérations sont coordonnées de façon conjointe avec le Conseil général et le Conseil régional et se rapportent essentiellement à la création de pôles d'échanges. Montpellier se situe dans cette catégorie en raison des opérations menées à la fois par le Conseil régional et le Conseil général.
- **Groupe 3** : des agglomérations de tailles très variables sont ici regroupées. Les actions intermodales sont plus abouties que dans les groupes précédents avec la création de pôles d'échanges et de supports d'informations, le tout coordonné et initié par le Conseil général.
- **Groupe 4** : cette catégorie associe exclusivement des agglomérations de 50 000 à 100 000 habitants. Plusieurs autorités organisatrices participent au projet y compris l'exploitant afin de réaliser une coopération sur la tarification et l'information multimodale.
- **Groupe 5** : les agglomérations de taille importante parmi lesquelles on peut compter Lille, Lyon et Marseille se retrouvent dans ce groupe. La totalité des Autorités organisatrices s'est associée pour construire les projets les plus achevés couvrant l'ensemble du spectre de l'intermodalité : la création de pôles d'échanges ainsi qu'une tarification et un support d'information spécifique. La mise en place de pôles d'échanges et des tarifications combinées ont ainsi été entreprises.
- **Groupe 6** : ce groupe rassemble aussi des agglomérations de grande taille, mais la coopération est ici engagée entre une autorité organisatrice et l'entreprise de transport.

figure 16 : Typologie des expériences françaises d'intermodalité en 1998



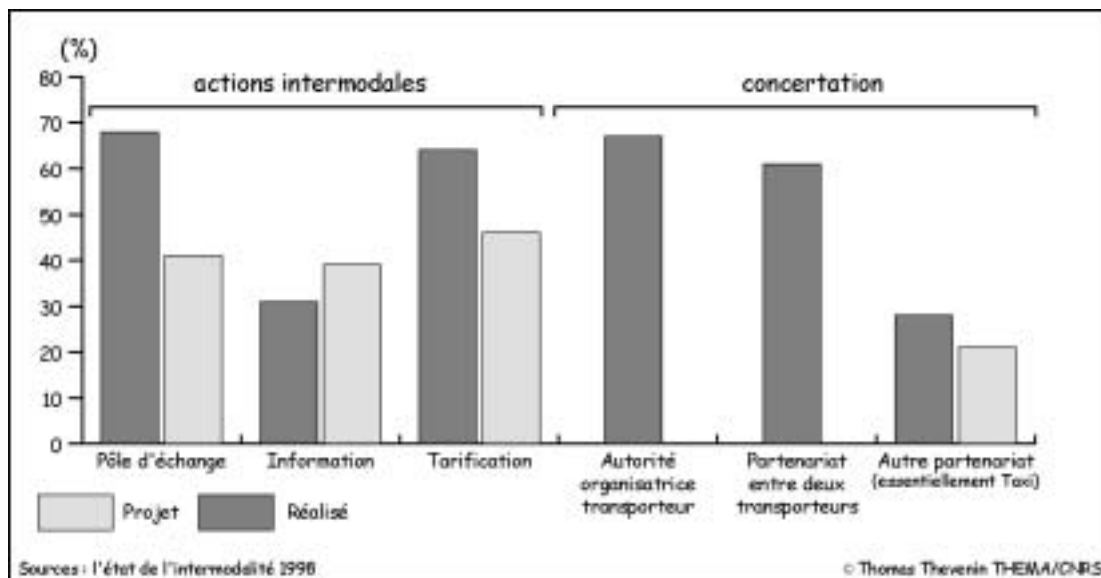
Cette typologie montre tout d'abord que les expériences les plus accomplies concernent en partie les agglomérations les plus importantes. D'après l'enquête, près de 60 % des grands réseaux (Marseille, Nantes ou Lille) ont engagé des actions à la fois sur les pôles d'échanges, l'information et la tarification multimodale. La lecture de la carte fait ensuite ressortir ce que nous sommes tentés d'appeler "l'effet région". Des initiatives, émanant de certains Conseils régionaux, ont facilité la mise en œuvre de projets d'envergure régionale. Le portefeuille électronique proposé par la région

Rhône-Alpes est un bon exemple d'un projet fédérateur qui rassemble les agglomérations les plus importantes, notamment Lyon, Grenoble, Saint-Etienne et Chambéry. L'Alsace remporte la palme des expériences dans ce domaine puisque l'ensemble des agglomérations de la région a participé à la création d'un titre de transport combiné : l'Europass. Ces expériences ne doivent toutefois pas dissimuler les résultats décourageants révélés par cette enquête. Si 76 % des agglomérations enquêtées déclarent avoir participé à une action intermodale, la réalisation concrète est en revanche loin de satisfaire les objectifs précédemment évoqués. La plupart de ces actions se résument souvent à des "micros réalisations" comme la gestion concertée des transports scolaires ou l'utilisation conjointe d'un point d'arrêt (GART, 1999). De plus, les agglomérations les moins conséquentes s'investissent de façon modeste dans les projets intermodaux. Un quart des agglomérations de moins de 100 000 habitants qui ont répondu à l'enquête, ne s'est pas encore engagé dans des actions de ce type. Les auteurs de l'ouvrage de synthèse du GART (1999) concluent ainsi : *"on parle beaucoup d'intermodalité, on a commencé à agir sérieusement dans les agglomérations les plus importantes et on ressent des frémissements dans les autres. Mais que les choses sont lentes !"*

3.2. Des expériences intermodales à développer

La concertation des autorités organisatrices est une pratique de plus en plus répandue dans les agglomérations d'après l'enquête de l'Union des Transports Public (figure 17). Toutefois, une analyse plus détaillée des expériences menées dans les 121 agglomérations permet de mesurer l'ampleur de la tâche qu'il reste encore à accomplir. Les opérations liées à la mise en place de lieux de correspondance sont les plus fréquentes, suivies des actions menées en faveur de la tarification combinée. Puis, l'information multimodale, qualifiée de parent pauvre dans l'ouvrage du GART (1999), occupe la dernière place du classement. Il faut enfin s'interroger sur l'absence, dans cette étude, d'une orientation pourtant capitale pour un projet intermodal : "l'offre coordonnée", évoquée dans la figure 15. Cette omission est-elle liée à la conception de l'enquête ou traduit-elle un véritable problème dans l'interconnexion entre les modes de transport dans l'espace et le temps ?

figure 17 : Répartition des expériences d'intermodalité



Depuis 1998, de nombreux efforts ont été fournis pour faire connaître la multimodalité, avec d'une part, la constitution d'un groupe de recherche coordonné par le PREDIT et, d'autre part la mise en place de centrales d'information destinées aux usagers. Le groupe de réflexion AFIV initié par le PREDIT¹ a mis en évidence le manque de transfert de données entre les acteurs du transport et l'incompatibilité entre les multiples systèmes d'information que ces derniers utilisent. Les rapporteurs ont ainsi formulé deux recommandations (AFIV, 2000). La première insiste sur le développement d'une information réellement multimodale dans les pôles d'échanges. La seconde propose de constituer une Plate-forme de Recherche et d'Expérimentation pour le Développement de l'Information Multimodale (PREDIM). Cette action fédérative vise à associer les acteurs du transport avec des spécialistes en technologie logicielle et en télécommunication. Le second effort mené en faveur de l'information multimodale concerne le développement des centrales de mobilité (encart 9). La plus ancienne, installée à Abbeville depuis 1997, renseigne quotidiennement par un standard téléphonique les usagers sur les solutions disponibles pour accomplir un déplacement. Des expériences se développent peu à peu en France tandis que nos voisins allemands utilisent ces systèmes depuis 1991.

¹ Pour obtenir des informations complémentaires le rapport de l'AFIV est disponible sur le site web du PREDIT : www.predit.prd.fr.

encart 9 : Les centrales de mobilité en deux mots

Ecoute

Le voyageur expose son besoin de déplacement, soit par téléphone auprès d'un téléopérateur, soit par internet ou par borne d'information (et demain sur les terminaux portables) à un service central où sont regroupés tous les itinéraires, les horaires, les tarifs des différents modes de transport existants sur un site donné. En retour, il obtient une réponse "sur mesure" grâce à un outil informatique dédié. La chaîne de son déplacement se déroule avec l'horaire de départ, le mode de transport utilisé, l'heure et le lieu de la (ou des) correspondance(s), l'heure d'arrivée, le prix.

Souplesse

L'opérateur recherche les services déjà existants pour répondre mais peut aussi, selon les besoins, activer des services à la demande en complément des lignes régulières, allonger le trajet habituel d'une ligne, ou encore favoriser le rabattement d'une zone vers un pôle de transport, en convergence. En fonction des besoins locaux et du champ d'intervention, la centrale de mobilité devient pôle de gestion d'une zone d'emplois, lieu central de valorisation d'une zone touristique, centre d'optimisation des services en heures de frange (tôt le matin, tard le soir)...

Sources : Rencontres de l'innovation Kéolis, *Les centrales de mobilité*, Besançon 2001

La mise en œuvre de pôle d'échanges apparaît comme la première initiative dans les projets intermodaux, or l'interconnexion des modes de transports en termes d'horaire reste rarement évoquée. Une étude réalisée sur les relations entre les pratiques de la mobilité des personnes et la fréquentation des pôles d'échanges montre que la principale préoccupation des usagers du transport multimodal est de disposer d'une bonne connexion entre les différents modes de transport (Kaufmann et al. 2000). La qualité du pôle d'échanges est en revanche perçue comme un critère moins influent. Ce constat pose question car il remet profondément en cause les principes de l'intermodalité réussie illustrée par la figure 15. Faut-il forcément construire des pôles d'échanges multiservices équipés de panneaux d'informations multimodaux et d'un système de billettique sans contact pour faire de l'intermodalité ? Cette question, certes un peu brutale, nous encourage à compléter, voire à reprendre les principes désormais classiques sur de nouvelles bases.

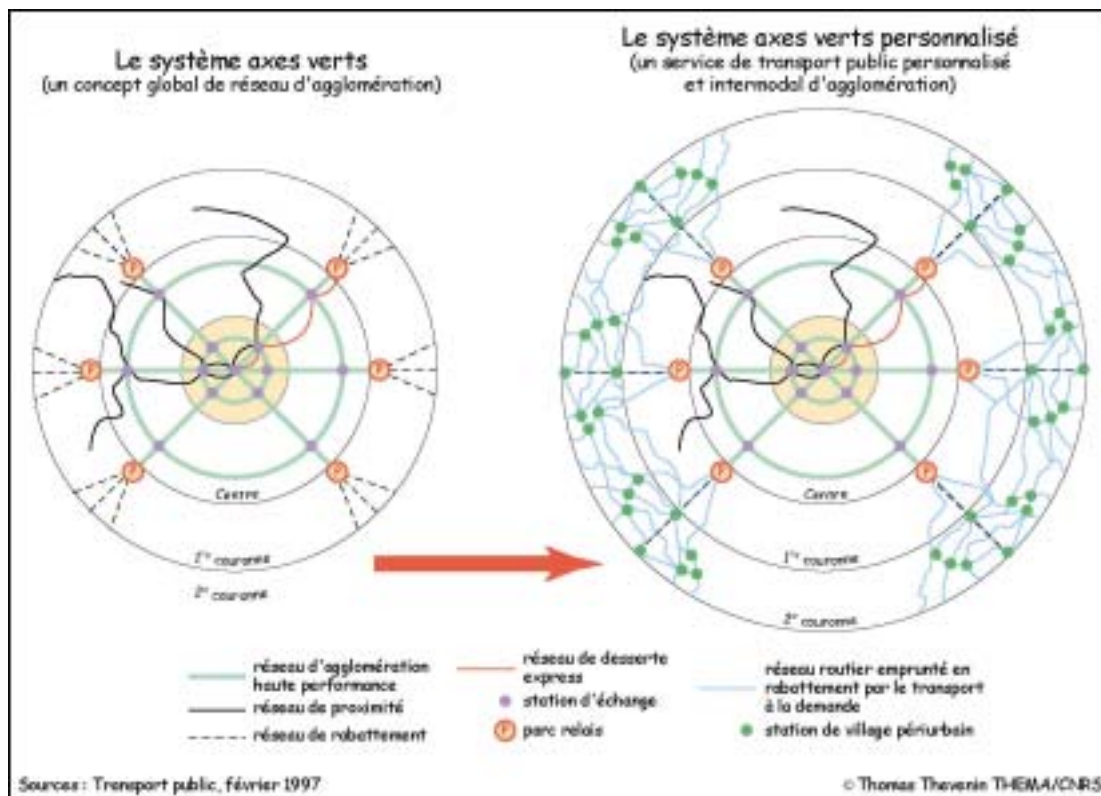
3.3. Pour une intermodalité renouvelée

Le renouvellement des questions posées par l'intermodalité s'appuie sur l'ultime conclusion mentionnée dans l'enquête de l'UTP. Les auteurs insistent sur le fait que les projets concernent trop souvent les modes lourds et déplorent le manque d'actions engagées en faveur d'une intermodalité associant transport individuel et transport collectif. Conçu pour assurer des déplacements répétitifs qui se manifestent aux heures de pointe, le modèle des transports publics de masse garde indéniablement l'avantage dans les zones densément peuplées et de fait fortement exposées aux problèmes de circulation. A l'échelle de l'agglomération ouverte 24 heures sur 24 où les relations entre ville et campagne sont intimement liées, l'organisation des

transports publics se heurte dans les zones périphériques aux mobilités plus complexes, diffuses et irrégulières qui entretiennent le phénomène de dépendance à l'automobile. Cette confrontation des échelles spatiale et temporelle de la ville constitue un véritable enjeu tant économique que social pour l'organisation des transports publics et en particulier pour l'intermodalité. Il s'agit de diversifier les solutions de transport selon les configurations urbaines et les périodes de la journée (Ascher, 1998). Il est aussi nécessaire de développer des initiatives permettant d'associer le transport individuel au transport collectif tout en répondant aux principes du service public qui exige l'accès de l'agglomération toute entière à ceux qui ne disposent pas d'un véhicule individuel.

F. Ascher (1998) a proposé de diversifier l'offre de transport en distinguant des zones de pertinence déterminées en fonction de la mobilité des personnes. Cette approche zonale est apparue très intéressante ; elle présente toutefois l'inconvénient de considérer l'espace de façon homogène (Pumain et al., 1997). La répartition uniforme des habitants sur un territoire donné est en effet peu probable, l'approche réticulaire semble plus adaptée pour aborder les réseaux de transports publics. La diversification des services de transport peut donc être envisagée selon des réseaux de pertinence déterminés en fonction des situations urbaines et des pratiques de mobilité des citoyens. Le système "axes verts" (Clément, 1995) s'inscrit dans cette perspective puisqu'il consiste à hiérarchiser le réseau de transports publics sur l'ensemble d'une agglomération (figure 18).

figure 18 : Un système "axes verts" personnalisé !



Quatre niveaux de desserte sont distingués dans ce système. Le réseau d'agglomération dessert les flux majeurs vers le cœur de l'agglomération tandis que le réseau de proximité assure les déplacements de quartier. Le réseau de rabattement a pour vocation d'acheminer les flux issus des secteurs périphériques, puis la desserte expresse réalise les liaisons entre les principaux points d'échanges du réseau. La structure d'un tel réseau permet d'imaginer l'implantation de modes de transports lourds tel que les Transports en Commun en Site Propre (TCSP) adaptés aux déplacements des hautes fréquences qui s'effectuent en zone dense. Le secteur périphérique semble quant à lui délaissé dans ce système. L'absence de liaisons tangentielles dans la deuxième couronne fait défaut. Ensuite le développement d'axes lourds contribue à accentuer les déséquilibres entre les communes denses et bien desservies et les communes de faibles densités souvent délaissées par les transports public. Le "système des axes verts" pallie cette insuffisance en favorisant la complémentarité entre voiture particulière et transports collectifs à travers la création des parcs-relais aux marges de la ville-centre. Ce premier pas ne satisfait toutefois pas les principes du service public qui exige le droit aux transports pour tous et en particulier pour ceux qui n'ont pas de véhicule individuel.

Nous proposons par conséquent de compléter ce modèle privilégiant les infrastructures lourdes par des services plus souples de transport à la demande (encart 10). Ce type de service personnalisé et intermodal peut être envisagé en rabattement sur les lignes de transport collectif classiques, notamment pour les déplacements de la première et de la deuxième couronne polarisés par la ville-centre. Ce mode peut ensuite assurer les besoins en déplacements tangentiels de la périphérie ainsi que la mobilité diffuse des communes peu denses situées aux marges de l'agglomération. La souplesse des services à la demande permet enfin de répondre aux déplacements des citadins noctambules ou matinaux, lorsque les services de transport classiques sont déficients. Le transport à la demande n'est certes pas nouveau, de nombreux efforts sont cependant à fournir d'après Eric Lebreton (2000) car il reste : *"un produit minimal ne donnant lieu à aucune étude particulière, à aucune innovation marketing ou technique, et auxquels ne sont affectés aucun moyens spécifiques"*. Pour lever ces difficultés, A. Banos et D. Josselin (1999) ont proposé de replacer les transports à la demande dans une dynamique vertueuse en améliorant l'identification de la demande pour ce type de service. Cette connaissance approfondie du marché des déplacements permet d'imaginer de nouveaux services adaptés aux besoins des clients potentiels (Banos, 2001). Pour garantir l'efficacité commerciale d'un tel service, une optimisation spatio-temporelle est nécessaire permettant le regroupement des voyageurs. Par ailleurs, le développement d'un outil d'aide à la mobilité, facilité par les NTIC, est indispensable pour assurer le fonctionnement du service. La définition des principes propres à un transport personnalisé et combiné en intermodalité avec les transports classiques semble bien répondre aux besoins *"d'un système de transports publics qui offre une couverture spatio-temporelle complète des agglomérations"* (Kaufmann, 1998).

encart 10 : Le transport à la demande

Les Transports à la Demande (TAD) fonctionnent comme des transports collectifs terrestres de personnes activés à la demande (Marchand, 1994, Burhin, 1995). En Europe, et plus spécifiquement en France, ils s'insèrent juridiquement dans les Transports Publics (Le Breton, 2000, Banos et Josselin, 2002) et sont donc associés à des territoires ainsi qu'à des Autorités Organisatrices des Transports.

Le spectre de leur application est très large, de systèmes fluides à large portée spatiale sans technologie (de type « taxi-brousse » dans les pays en voie de développement) aux « shuttle » présents aux Etats-Unis autour des grandes villes et des grands aéroports, et intégrant des systèmes embarqués (GPS et logiciel d'optimisation de trajets). En Europe, beaucoup d'expériences existent, gérées par des sociétés privées ou des associations. Certains systèmes intègrent les Technologies de l'Information (SAMPO, 1997/99, MOTIF, 1999, Sadeh, 1999).

Les TAD constituent un ensemble varié de modes souples permettant d'assurer l'intermodalité en reliant d'autres modes doux ou réguliers. Ils visent également à améliorer la souplesse temporelle (horaires à la carte) et/ou spatiale (au mieux en porte à porte) des transports, à augmenter le taux de remplissage des véhicules, en organisant en quelque sorte le co-voiturage et en optimisant les dessertes (Banos et Josselin 2000)

Définition proposée par Didier Josselin dans un récent article (Thevenin et al., 2002)

Le bilan des expériences sur l'intermodalité montre que des efforts restent à faire, notamment dans les agglomérations de taille moyenne. Ces dernières n'ayant pas forcément les moyens de mettre en œuvre les principes de l'intermodalité, nous avons choisi d'orienter notre réflexion vers une diversification de l'offre de transport telle que les services à la demande le permettent.

Conclusion

Au terme de ce chapitre, l'intermodalité semble offrir une solution adéquate pour répondre aux exigences de solidarité sociale et territoriale telles qu'elles sont affirmées dans les missions du service public. Le caractère transversal des projets intermodaux permet en effet de briser les clivages traditionnels entre les intérêts particuliers et les intérêts généraux, entre les institutions à l'échelle locale et globale ou encore entre les transports collectifs et individuels. Cette notion a ainsi rencontré ces dix dernières années un véritable succès dans tous les discours, les rapports et les projets liés au transport (GART, 1999). D'après Jean-Pierre Orfeuill (2001), l'intermodalité est davantage présentée comme un slogan qu'une réalité. L'état de l'art de l'UTP confirme cette remarque en mettant en évidence un décalage entre le discours et la pratique, particulièrement dans les agglomérations de taille moyenne. Cette réalité pose ainsi une question : les principes de l'intermodalité tels qu'ils ont été définis par le GART sont-ils adaptés à toutes les formes d'agglomérations ? Des solutions certes moins ambitieuses mais peut-être moins coûteuses ne sont-elles pas envisageables pour ouvrir la ville à tous ? La combinaison de services à la demande (pour les zones diffuses) aux moyens de transports publics classiques (dans les quartiers denses) constitue de notre point de vue, une solution intermodale adaptée aux problèmes de mobilité des personnes. Véritable service public de transport personnalisé au sens de F. Ascher (1998), il devient un trait d'union entre besoins individuels et besoins collectifs.

Chapitre 3

Les transports publics en question, d'une politique urbaine des transports à un projet de transport d'agglomération : le cas de Besançon

Les récentes évolutions du cadre législatif issues des lois Voynet, Chevènement et SRU témoignent d'une véritable prise de conscience des pouvoirs publics en matière de coordination des pouvoirs de décision des territoires urbains. Ces nouvelles réglementations obligent les villes à prendre la véritable mesure de leur espace d'influence en organisant une coopération intercommunale sur de multiples champs de compétence.

Les transports publics n'échappent pas à ce nouveau cadre législatif, ils constituent d'ailleurs un enjeu de taille pour assurer la solidarité entre les différents territoires urbains d'une agglomération. Ce changement d'échelle pose à nouveau la question du droit au transport pour tous : peut-on offrir un réseau de transports publics de qualité égale en milieu rural et urbain ? Pour répondre à cette question et satisfaire les objectifs opérationnels de ce travail de recherche, nous avons choisi de confronter les hypothèses formulées dans les chapitres précédents avec la réalité du terrain. L'état des connaissances sur l'intermodalité, présenté précédemment, a montré que les grandes métropoles françaises ont effectué cette transformation du système de transports publics d'agglomération par des actions intermodales conséquentes tandis que les villes moyennes sont restées très en retrait dans ce domaine.

Nous avons choisi pour des raisons pratiques le site de Besançon. La capitale comtoise, depuis janvier 2001, a renouvelé son organisation intercommunale sous la forme d'une Communauté d'agglomération et ce dans une certaine agitation. Nous essayerons ainsi de comprendre les nécessités de ce changement d'échelle à travers une rapide analyse de l'urbanisation de Besançon et des problèmes de mobilité qui en découlent. L'évolution des structures intercommunales liée aux transports publics sera ensuite évoquée. Nous tenterons enfin de mesurer les enjeux des transports publics dans la nouvelle Communauté d'Agglomération du Grand Besançon.

1. La métropole bisontine

Le terme de métropole, qui signifie littéralement "au-delà de la ville" permet de caractériser la ville qui sort de ses limites pour former un nouveau territoire à la fois étalé, discontinu et hétérogène. D'après l'inventeur du terme, François Ascher, cette notion rend compte de la complexité des dynamiques urbaines des grandes agglomérations de plusieurs centaines de milliers d'habitants mais aussi des aires urbaines plus petites. L'agglomération de Besançon semble correspondre à cette définition élargie de la ville. Cette hypothèse sera vérifiée à travers une rapide analyse de l'urbanisation à l'échelle de la ville-centre puis de son espace voisin. Les effets de ce changement d'échelle sur la mobilité seront ensuite évoqués.

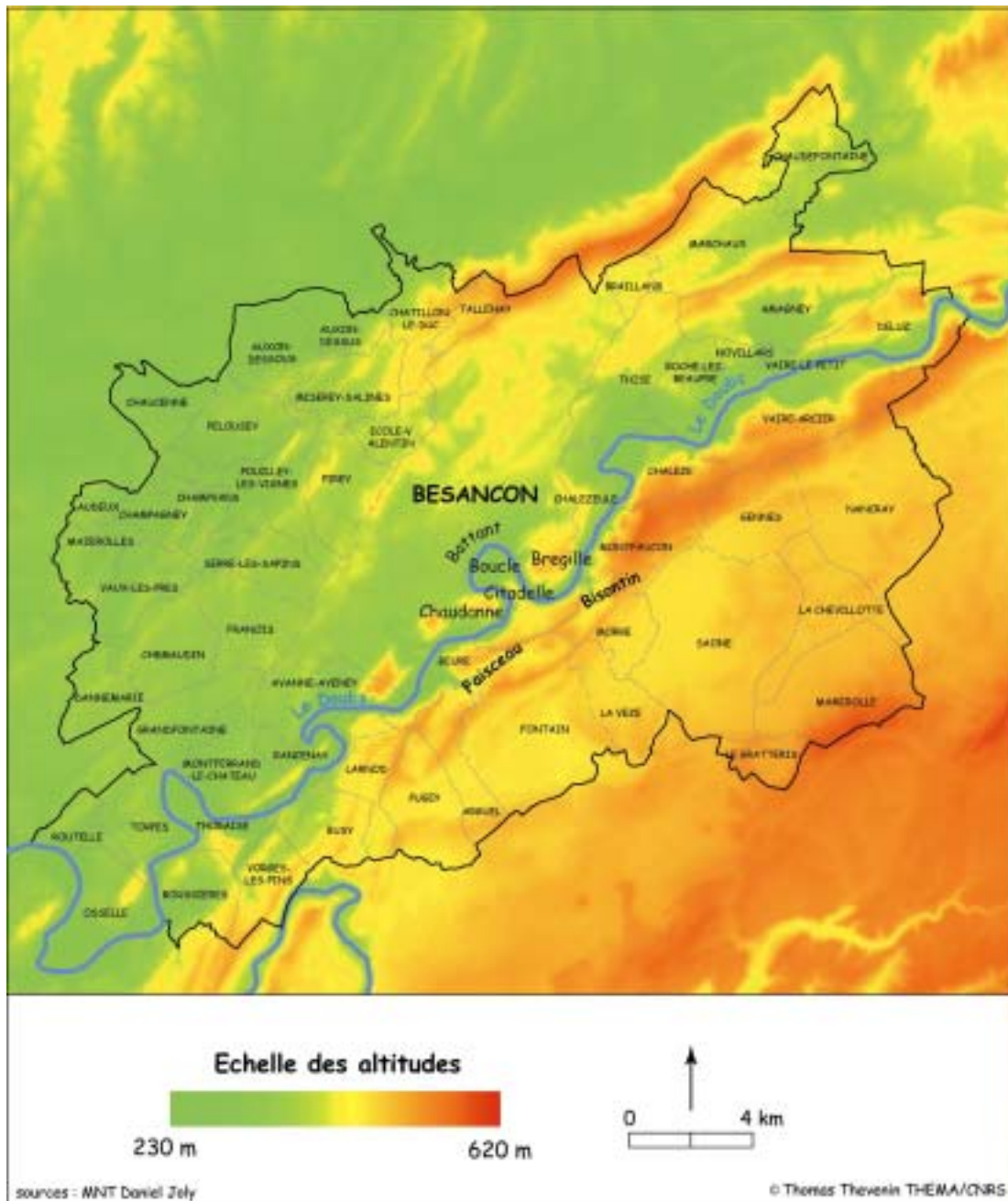
1.1. Une ville-centre en rupture avec sa périphérie

L'histoire de Besançon *"nous apprend une vérité élémentaire, banale, à savoir qu'une ville peut vivre ou être condamnée à vivre, sur elle-même et son territoire propre, comme une sorte de très gros bourg"* (Braudel, 1990 p. 202). Cette citation de Fernand Braudel résume une des caractéristiques majeures du développement de la capitale de la Franche-Comté : l'absence de relations fortes avec les communes voisines.

Cet isolement trouve tout d'abord ses origines dans sa situation géographique, comme le souligne Fernand Braudel (1990, p.187): *"peu de sites urbains sont plus nets, plus propices, au premier coup d'œil, que celui de Besançon. De ce site, tout dépend, le meilleur et le pire ; le déterminisme géographique, ici, n'est certes pas un vain mot"*. Encerclée par un méandre du Doubs, la ville de Besançon est fermée au sud par un étroit tronçon de montagne, le faisceau bisontin, qui appartient à la bordure Ouest de la chaîne du Jura. Ce méandre est surplombé de part et d'autre par les collines de Bregille et de Chaudanne. Ces éléments topographiques présentent des altitudes peu élevées, comprises entre 250 et 500 mètres, mais constituent des formes vigoureuses (Charles, 1970). Avec de telles frontières naturelles, le site de Besançon a vocation à devenir une place forte militaire. Une forteresse est ainsi très tôt érigée sur la colline qui domine directement la ville. Trop à l'étroit à l'intérieur de la Boucle du Doubs, la ville traverse très tôt la rivière pour donner naissance au quartier

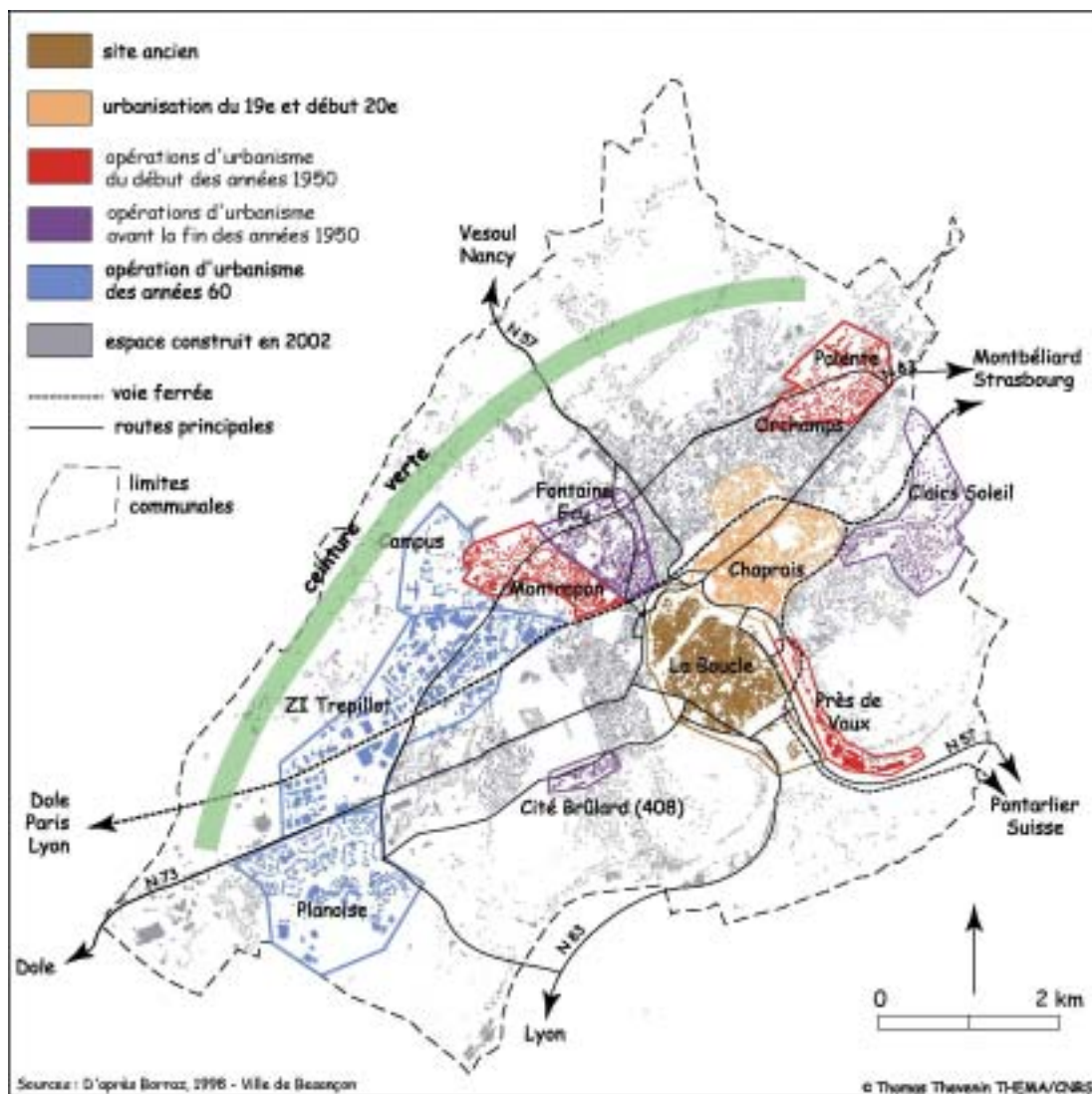
Battant. Entre 1674 et 1695, Vauban entreprend la fortification de la ville avec la transformation de la forteresse en citadelle, puis la construction de remparts. La ville reste structurée jusqu'au 19^e siècle par trois sites fondamentaux : la Citadelle, la Boucle et Battant. La vie urbaine est ainsi organisée "dans ce cadre réduit, qui se trouvait adapté à la fois aux activités économiques et sociales tout en procurant un sentiment de protection en période de repli (Charles, 1970 p.11).

figure 19 : Le relief de l'agglomération bisontine



La ville extra-muros s'étend à partir de la seconde moitié du 19^e siècle sous l'impulsion de l'activité économique, avec notamment l'avènement de l'industrie horlogère et l'installation de la gare ferroviaire. D'une part, l'urbanisation comble un espace interstitiel situé entre la voie de chemin de fer et les fortifications de Battant, d'autre part les axes de communication fixent de nouvelles emprises en direction de Vesoul, Belfort et Dole (figure 20). Comme la plupart des villes françaises, Besançon accélère son expansion à la fin de la Seconde Guerre mondiale. La forte croissance démographique conjuguée à l'exode rurale et à l'immigration étrangère conduit la municipalité à entreprendre la construction des premières cités en 1953. Les cités HLM de Palente, Montrapon et les Orchamps sont érigées non pas à proximité du centre ancien mais sur des parcelles à bas prix de la périphérie. Ces nouveaux bâtiments comportent environ 5 étages et coexistent avec de l'habitat individuel. A partir de 1957, cinq nouvelles cités sont créées (la cité Brûlard, Fontaine Ecu, Clairs Soleil et Fontaine Argent) dont les bâtiments prennent la forme de tours et de barres de 50 à 300 appartements (Charles, 1970).

figure 20 : L'évolution du bâti à Besançon



1961 marque un tournant dans l'histoire de l'urbanisme de Besançon avec la création d'un plan d'aménagement concerté dont l'objectif est d'utiliser au mieux l'importante surface communale (6 400 hectares) et de contribuer à la modernisation de la ville. Cette démarche aboutit à la création de la zone industrielle de Trepillot, de la zone d'activité de Chateaufarine ainsi que du campus universitaire. Pour faire face à la crise du logement, Besançon se lance dans la construction d'une "ville nouvelle" de 13 500 logements pour 40 000 habitants. Ce nouveau quartier, dénommé Planoise, est prévu pour accueillir toutes les infrastructures et les équipements nécessaires aux besoins des habitants. Cette ville nouvelle a été édifée dans un secteur rural de la commune au prix du foncier peu élevé, à proximité de la zone industrielle de Trepillot, de la zone d'activité de Chateaufarine et d'un axe de communication important (la route de Dole). Le ralentissement démographique associé au mouvement de périurbanisation conduit la municipalité à revoir le projet à la baisse à partir de 1968.

Les résultats sont loin d'atteindre les prévisions puisqu'en 1975 Planoise compte 13 473 habitants et en 1982, 20 400 habitants (Borraz, 1998). Malgré ce ralentissement, le conseil municipal reste dans une logique de croissance et se fie à des prévisions démographiques pour le moins optimistes. Ces dernières annoncent, au début des années 1970, une aire urbaine de 215 000 habitants pour la période 1985-1990 et 300 000 habitants pour 2000-2010. Les élus optent ainsi pour une politique de maîtrise de l'expansion urbaine et souhaitent limiter la croissance de la ville-centre à 200 000 habitants. A cet effet une "ceinture verte" est inscrite au Schéma Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme (SDAU) afin de geler une grande partie du territoire communal. Il faut toutefois rappeler que l'espace urbanisé à cette époque n'occupe que 20 % de la superficie, le reste étant occupé par des forêts et des terrains agricoles. Les effets de cette ceinture verte sont multiples. Celle-ci marque une rupture physique entre Besançon et ses communes voisines. Elle empêche en outre la réalisation de zones pavillonnaires et l'extension de zones industrielles pour accueillir de nouvelles entreprises. Cette gestion de l'urbanisme a repoussé la couronne de périurbanisation dans un contexte où la priorité était de conserver la population et les activités économiques (Borraz, 1998).

Cette politique quelque peu volontariste de conservation de la ceinture verte a généré un effet de rupture entre la ville-centre et sa périphérie. En contrepartie, elle constitue une réserve foncière proche qui facilite certaines opérations de restructuration de l'urbanisme. Faut-il remarquer encore que ce capital reste un atout considérable pour renforcer l'image de Besançon ville verte.

1.2. L'agglomération bisontine entre ville et campagne

Comme beaucoup d'autres agglomérations françaises, Besançon connaît un fort mouvement de périurbanisation depuis les années 1960. De 1968 à 1975, ce phénomène s'est manifesté de façon soutenue (+3,5 % par an) tandis que la ville-centre a continué à se densifier mais à un rythme ralenti : moins de 1 % (figure 21). La période inter-censitaire a confirmé la tendance précédente : Besançon perd des habitants au profit des communes les plus proches. Aux côtés de Lyon, Marseille et Montpellier, la capitale franc-comtoise figurait parmi les villes où le processus était le plus marqué. A partir de 1982-1990, la croissance démographique s'est stabilisée, la ville-centre a conservé sa population alors que le mouvement de périurbanisation s'est ralenti (Barlogis, 2000). La période inter-censitaire la plus récente renverse les résultats précédents puisque l'agglomération connaît une augmentation générale de la population à la fois dans la ville-centre et dans les communes périphériques.

figure 21 : Evolution annuelle de la population de l'agglomération de Besançon de 1968 à 1999 selon trois tissus urbains

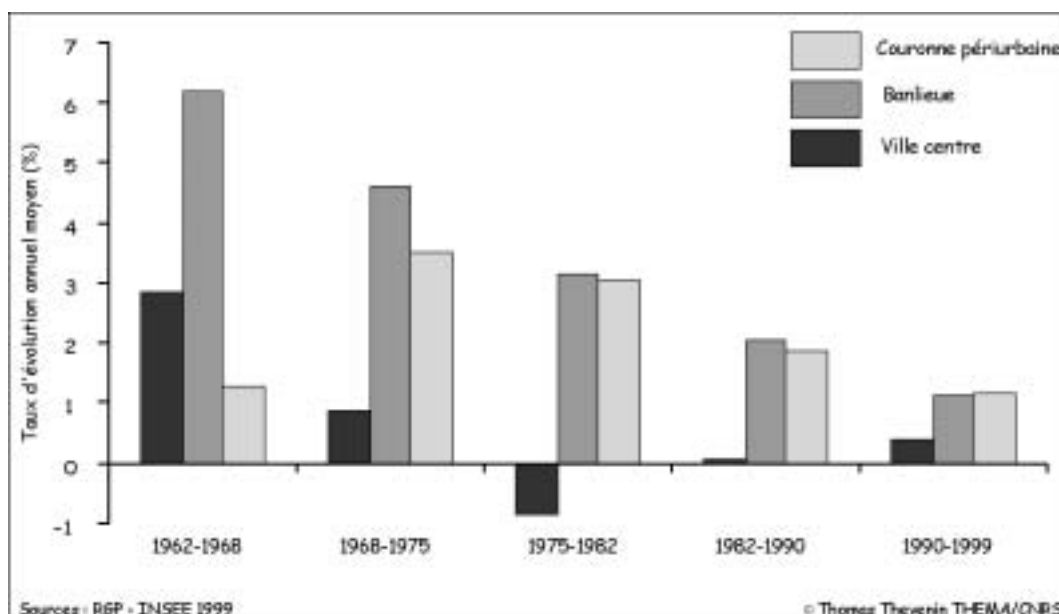
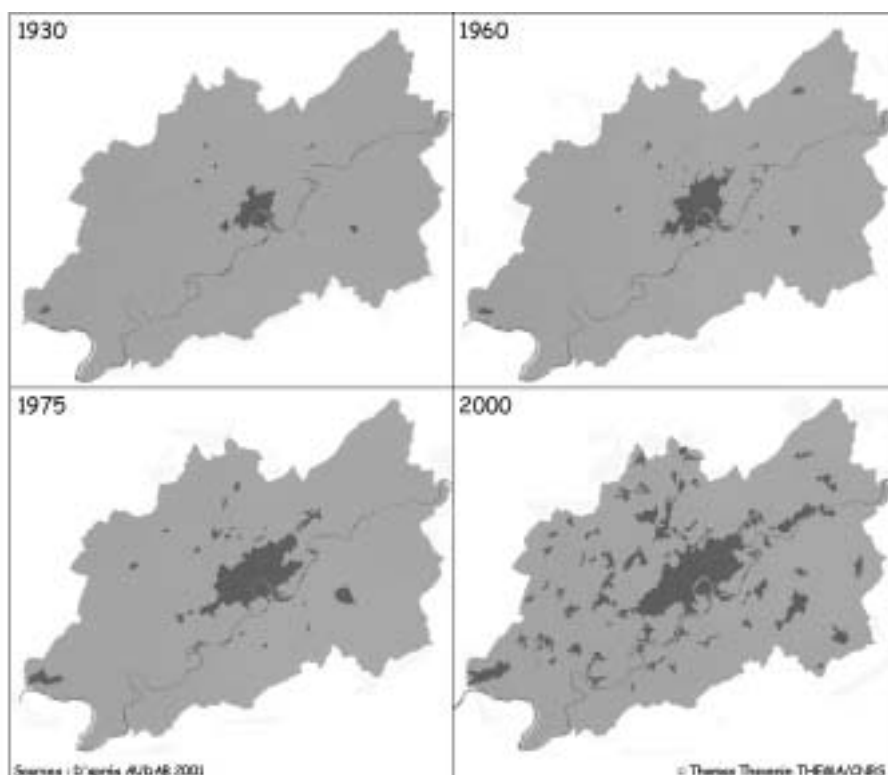


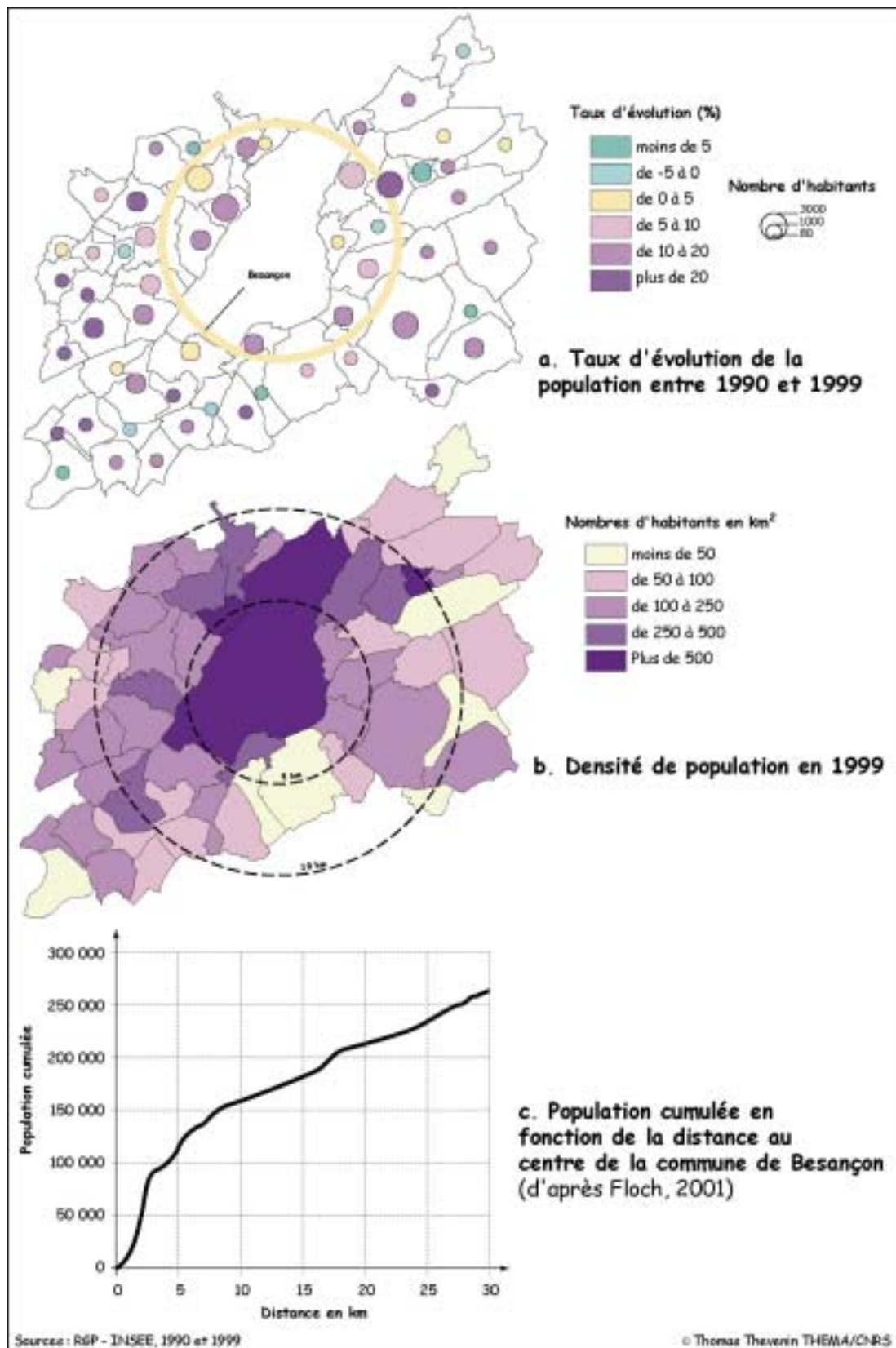
figure 22 : Evolution de l'emprise urbaine de l'agglomération Bisontine de 1930 à 2000



Ce double mouvement de densification et d'extension de la population est conforme au modèle de l'étalement urbain dont il a été question dans le premier chapitre (figure 3 p.21). Ce schéma de développement urbain, concerné par de nombreuses aires urbaines françaises, a fait l'objet d'une étude particulière à Besançon (Floch, 2001). L'auteur définit trois paramètres pour rendre compte du modèle de l'étalement urbain. Le taux d'évolution doit, dans un premier temps, être positif dans la ville-centre, tandis que, dans un second temps, la densité de population doit diminuer à mesure que l'on s'éloigne du centre vers la périphérie. Le troisième paramètre considère la population cumulée à partir du centre-ville de Besançon¹. La figure 23 représente sous forme graphique ces trois paramètres et révèle que Besançon est parfaitement conforme au modèle de l'étalement urbain. La figure 23a fait apparaître une croissance plus rapide vers l'Ouest, les valeurs sont en effet deux fois supérieures aux communes situées au Sud. Cette tendance, confirmée par la carte des densités (figure 23b), souligne ainsi l'importance des contraintes physiques dans l'urbanisation de l'agglomération bisontine. La figure 23c montre que la densité de population augmente sensiblement lorsque l'on se situe à 10 km du centre de l'agglomération : la densité était de 50 habitants/km², elle est maintenant de 80 habitants/km². La carte révèle une zone d'influence qui s'étend actuellement dans un rayon de 30 km, c'est à dire au-delà même des limites de la communauté d'agglomération (Floch, 2001).

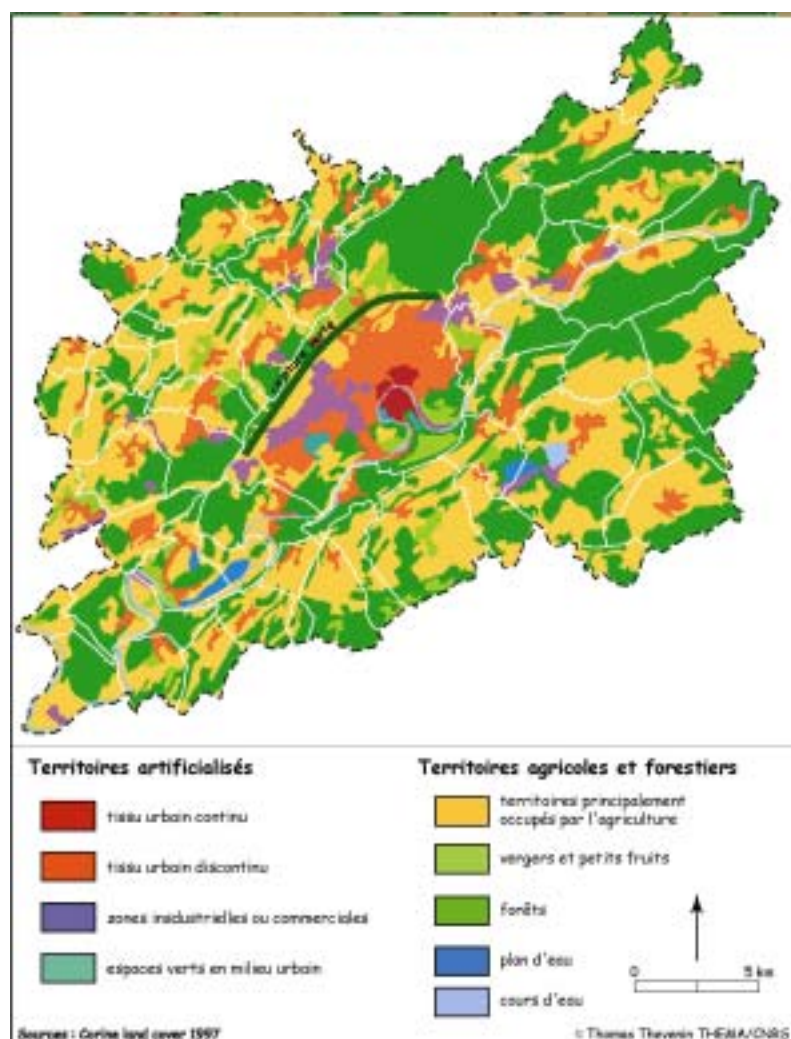
¹ Ce paramètre est détaillé dans (Floch, 2001), une formulation circonstanciée peut être consultée dans (Bonnafous et al. 1998).

figure 23 : Trois paramètres conformes au modèle de l'étalement urbain



Cet éclatement de l'urbanisation dans des zones toujours plus lointaines forme un espace hétérogène où ville et campagne coexistent. La carte de l'occupation des sols fait ressortir trois espaces distincts. Le territoire de Besançon apparaît premièrement comme le seul espace urbain de l'agglomération avec une morphologie compacte de la surface bâtie. La ville-centre rassemble en outre la majorité des activités, on distingue à cet égard une zone industrielle particulièrement développée à l'Ouest de la ville. Le second espace, séparé par la ceinture verte, concerne les communes contiguës au territoire bisontin. Cette couronne périurbaine est composée de communes aux surfaces bâties relativement étendues et souvent dotées d'une zone industrielle. Le troisième espace enfin, regroupe les villages situés à la limite de l'agglomération. Les territoires communaux sont principalement dominés par les espaces agricoles et forestiers, ils correspondent à des zones rurales. Des espaces aussi hétérogènes, particulièrement éloignés et peu denses posent de véritables problèmes pour l'organisation d'un réseau de transports publics.

figure 24 : L'occupation des sols sur la Communauté d'Agglomération du Grand Besançon



1.3. Des déplacements favorables à l'automobilité

L'éclatement de l'urbanisation dans des zones toujours plus lointaines et souvent rurales complique la mobilité des habitants de l'agglomération bisontine et favorise la dépendance à l'automobile. L'allongement des distances parcourues caractérise en premier lieu cette transformation de la mobilité. Les migrations domicile-travail entre les communes périphériques et Besançon représentent en effet 830 000 km/jour en 1999 contre 643 000 km/jour en 1990, soit une augmentation de 30 %. Si on considère toutefois l'ensemble de ces migrations, le parcours moyen s'est seulement allongé de 1 km entre les deux recensements, ce qui représente une distance moyenne de 15,6 km. Un examen plus approfondi (tableau 8) permet de souligner clairement l'éloignement croissant des salariés de leur lieu de travail ; les distances parcourues, supérieures à 15 km, représentent plus de 30 %. Si cette tendance se poursuit au même rythme, la distance totale parcourue s'élèverait en 2010 à 1 000 000 km et 32 000 personnes seraient concernées par des déplacements entre Besançon et la périphérie.

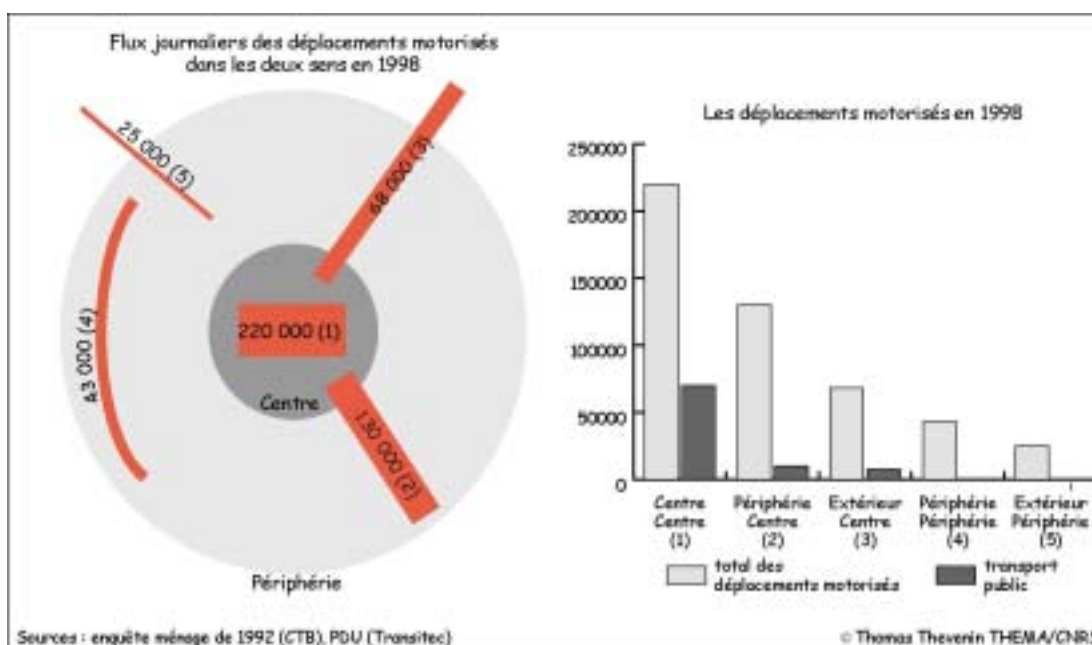
tableau 8 : Les éloignements domicile-travail

| Distance du lieu de résidence à Besançon (km) | Nombre de personnes concernées en 1990 | Nombre de personnes concernées en 1999 | Evolution entre 1990-99 (%) |
|---|--|--|-----------------------------|
| 0-5 | 2221 | 2286 | 2.93 |
| 5-10 | 7370 | 8167 | 10.81 |
| 10-15 | 5075 | 6147 | 21.12 |
| 15-20 | 2863 | 3792 | 32.45 |
| 20-25 | 1490 | 2171 | 45.70 |
| 25-30 | 1032 | 1516 | 46.90 |
| 30-35 | 348 | 538 | 54.60 |
| 35-40 | 341 | 544 | 59.53 |
| 40-45 | 365 | 549 | 50.41 |
| 45-50 | 245 | 357 | 45.71 |
| 50-55 | 73 | 100 | 36.99 |
| 55-60 | 92 | 96 | 4.35 |
| 60-65 | 94 | 87 | -7.45 |
| 65-70 | 95 | 97 | 2.11 |
| 70-75 | 64 | 73 | 14.06 |
| 75-80 | 79 | 82 | 3.80 |
| 80-85 | 10 | 8 | nc |
| 85-90 | 7 | 8 | nc |
| 90-95 | 2 | 0 | nc |
| 95-100 | 6 | 14 | nc |
| 100 et plus | 1 | 1 | nc |

Source : RGP – INSEE, (CAGB, 2002)

A l'allongement des distances s'ajoute une demande de déplacement toujours plus élevée. D'après les services municipaux, plus de 480 000 déplacements motorisés sont recensés chaque jour dans l'agglomération, dont plus de 85 % sont attirés par la seule influence de Besançon. Les flux internes à la ville-centre se manifestent majoritairement, ainsi que les relations entre les communes de l'agglomération et Besançon (figure 25). Les déplacements tangentiels sont en revanche minoritaires contrairement à de nombreuses villes françaises. Ce constat peut s'expliquer par l'absence dans les communes voisines d'une banlieue, cette dernière étant incluse dans le territoire communal bisontin avec notamment le quartier de Planoise. L'observation du marché des déplacements révèle une position favorable pour les transports publics sur la ville de Besançon, avec une part de marché de 32 % (figure 25). Avec ses 167 voyages par an et par habitant, le réseau de la Compagnie des Transports de Besançon (CTB) est régulièrement classé parmi les premiers dans la profession ainsi que dans la presse généraliste¹ (encart 11). Derrière ce brillant palmarès, se cachent de mauvais résultats lorsque l'on considère l'ensemble de l'agglomération. La part modale des transports publics atteint en effet à peine 10 % pour les échanges entre la ville-centre et les communes de la périphérie, tandis que les déplacements tangentiels représentent à peine de 2 % des voyages en transport collectifs. La voiture reste ainsi le mode dominant, puisque sur l'ensemble des flux de l'agglomération, 81 % des trajets sont effectués à l'aide de l'automobile.

figure 25 : Les déplacements dans l'agglomération de Besançon



¹ Dans l'enquête sur la qualité de la vie dans les villes de plus de 100 000 habitants, réalisée par le magazine "Ca m'intéresse", Besançon arrive en première position sur le critère transports publics, n°252, février 2002.

encart 11 : Les performances du réseau de transports publics de Besançon en 2002

Tableau comparatif des indicateurs des transports publics urbains

| | Besançon | Reims | Brest | Caen | Angers | Tours | Rouen | Orléans | Amiens |
|----------------------------|----------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|---------|--------|
| Offre km/habitant/an | 47,37 | 35,47 | 33,77 | 38,04 | 31,95 | 31,33 | 31,67 | 36,11 | 27,12 |
| Trafic voyages/habitant/an | 167 | 144,21 | 91,35 | 113,12 | 90,92 | 100,86 | 98,15 | 60,9 | 93,81 |
| Maillage km ligne/surface | 3,15 | 1,56 | 2,94 | 1,12 | 0,84 | 0,92 | 2,29 | 1,69 | 1,01 |
| Par de Marché TP | 14 | 9,5 | 13 | 17 | 12 | 14,7 | 15,4 | 15 | 15 |

Source : GART, société de transport

Des indicateurs de base pour "mesurer" les transports publics urbains

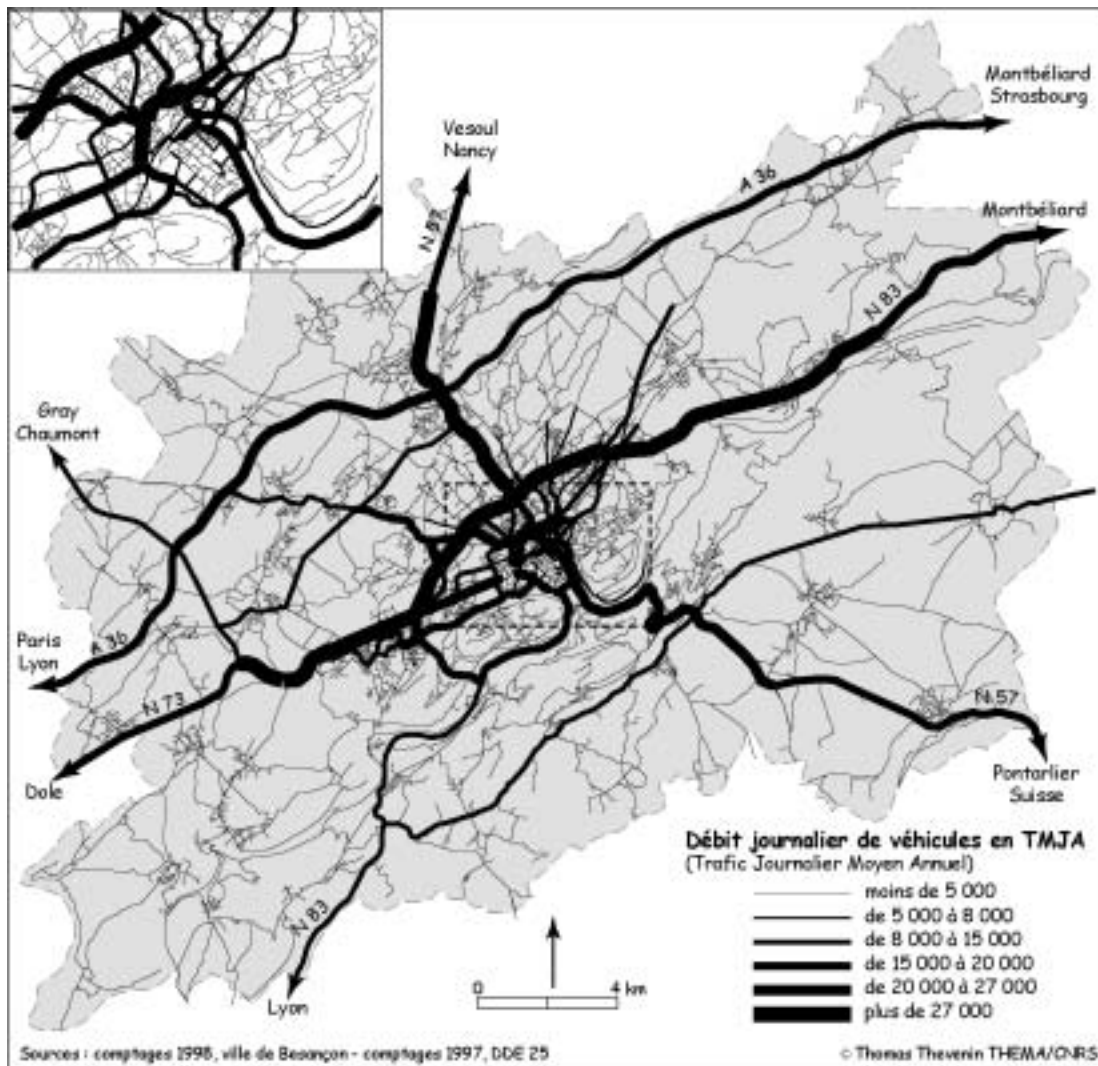
On mesure l'usage des transports publics au sein d'une zone desservie appelée PTU (périmètre de transports urbains), dont on connaît la population et la superficie. L'offre de transport public est mesurée par la longueur des lignes et le nombre de kilomètres parcourus par les véhicules. L'usage est mesuré par le nombre de voyages effectués par les usagers (un voyage est défini par une montée dans un véhicule).

Pour comparer des PTU très divers par leur taille et leur réseau, on rapporte l'offre et l'usage au nombre d'habitants desservis (km parcourus/habitant et voyages/habitant), ou encore à la surface desservie. Pour exprimer l'offre telle qu'elle est perçue par les usagers, on peut également représenter globalement la fréquence des "courses" (une course est un trajet effectué de bout en bout par un véhicule sur une ligne) en rapportant les km parcourus à la longueur des lignes. Enfin, une indication simple sur l'efficacité des réseaux est donnée par l'occupation des véhicules, c'est à dire le "remplissage", calculé en rapportant les voyages au nombre de km parcourus par les véhicules.

Source : Beauvine, 2001

Cette utilisation massive de l'automobile provoque des problèmes de circulation non négligeables. A l'échelle de l'agglomération, le réseau routier apparaît relativement fluide à l'extérieur de Besançon, le phénomène de congestion se manifeste en revanche davantage sur les pénétrantes situées aux abords de la ville (Houot, 1999). Les flux s'élèvent à plus de 30 000 véhicules par jours et atteignent parfois le stade de saturation notamment sur l'axe Pontarlier-Vesoul (RN 57) avec 75 à 90 % de la capacité utilisée. Les problèmes de congestion s'accroissent sur la voirie urbaine principale, ainsi que sur les boulevards avec des flux de véhicules qui oscillent entre 34 000 et 50 000 véhicules/jour. Ces axes de communications sont également empruntés par le réseau de transports publics, ce qui amplifie la saturation du trafic et affecte les performances du réseau de transports publics en termes de vitesse et de ponctualité. Les automobilistes ont ainsi tendance à se reporter sur des axes de délestage, traversant des quartiers d'habitations avec les nuisances que cela entraîne. Le centre ville bénéficie quant à lui des effets liés à la fois au plan de circulation et à la création de nouvelles infrastructures. Le trafic est relativement faible, mais l'habitat resserré du centre ancien pose de nombreux problèmes pour assurer les livraisons et la desserte en transport collectif. Il semble que les problèmes de congestion du centre ancien se soient reportés sur la première couronne de la ville ainsi que sur sa proche périphérie (Transitec, 1999). Ce secteur devient par conséquent un véritable enjeu pour l'organisation des déplacements dans la ville et sur l'ensemble de l'agglomération.

figure 26 : Le trafic routier de l'agglomération bisontine



Si Besançon se distingue par certaines spécificités propres à sa géographie physique, à son histoire ou à la taille de sa surface communale, son territoire élargi rassemble en revanche, toutes les caractéristiques d'une métropole de taille moyenne. A son échelle, l'agglomération bisontine suit le modèle de l'étalement urbain, de la ville discontinue et hétérogène avec son cortège d'effets induits. Les problèmes liés à la mobilité montrent que la ville ne peut plus vivre en rupture avec sa périphérie, l'organisation des déplacements doit être envisagée de façon globale et à une échelle plus vaste. La prise de décision doit donc relever d'un niveau hiérarchique adéquat impliquant la mise en place d'un cadre institutionnel idoine.

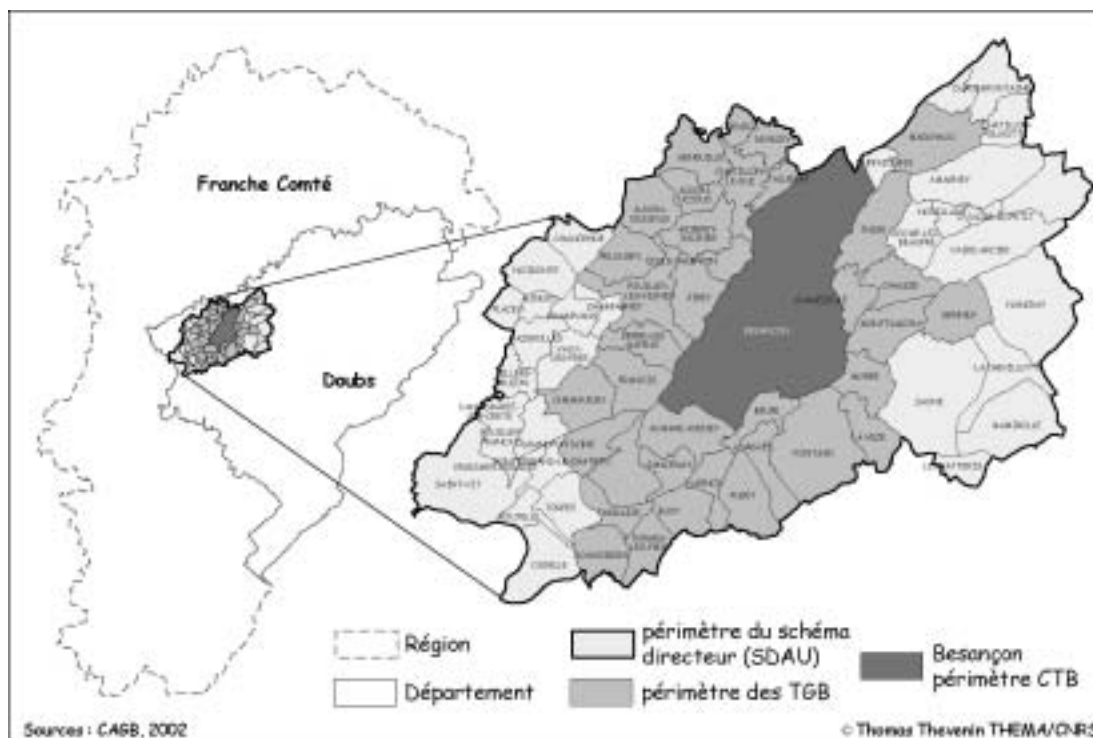
2. Une organisation des transports publics perturbée par les tâtonnements de l'intercommunalité

La commune de Besançon représente un poids important dans l'agglomération avec près de 70 % de la population. Cette position hégémonique de la ville-centre a inspiré une certaine méfiance de la part des communes voisines, ce qui a freiné les coopérations intercommunales entre le centre et la périphérie. Aussi, dans un contexte perturbé par des *recompositions territoriales tâtonnantes* (Wiel, 2002), comment peut-on organiser un réseau de transports publics à l'échelle de l'agglomération ? Besançon est un cas d'école intéressant pour répondre à cette question. Cet exemple illustrera comment une action intercommunale peut contribuer à multiplier plutôt qu'à rassembler les acteurs des transports. Cette multiplication des intervenants contribuera ensuite à expliquer les difficultés rencontrées pour élaborer les Plans de Déplacements Urbains. Un dernier point présentera enfin les avantages d'une véritable institution à l'échelle de l'agglomération à travers la création de la Communauté d'Agglomération du Grand Besançon (CAGB).

2.1. La multiplication des autorités organisatrices de transport

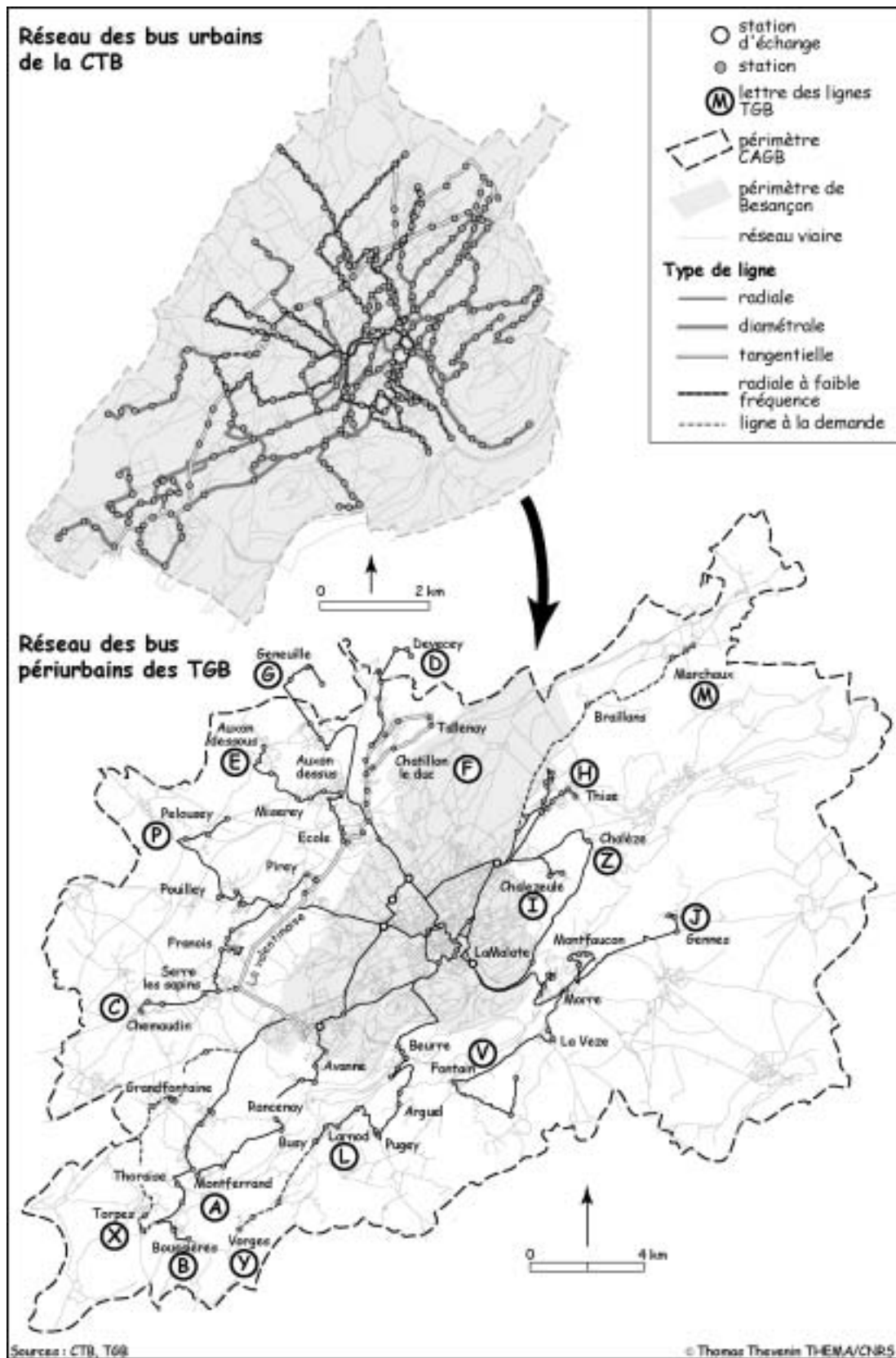
L'évolution des dynamiques urbaines conjuguée à l'évolution des déplacements a progressivement conduit à une multiplication des acteurs dans le domaine des transports publics, difficile à maîtriser dans le système organisationnel actuel (Lefèvre et al., 1990). Besançon constitue un bon exemple de cette imbrication des territoires institutionnels, puisque l'agglomération ne comptait pas moins de cinq Autorités Organisatrices avant l'année 2 000 (figure 27). Jusqu'au début des années 1990, le réseau de transports publics fonctionnait indépendamment des communes périphériques, la ville de Besançon représentait à elle seule le Périmètre de Transport Urbain (PTU). Les services de transport de la périphérie, coordonnés par le Conseil général, étaient essentiellement destinés aux scolaires. La région, en collaboration avec la SNCF, participait dans une moindre mesure aux déplacements de l'agglomération pour les rares communes disposant d'une halte ferroviaire. Sous l'impulsion de la Loi d'Orientation sur la Ville (LOV), une nouvelle institution à l'échelle de l'agglomération est créée en 1993 sous la forme d'un district. A cette instance, étaient attribués 7 champs de compétence, dont l'organisation des transports sur les 36 communes périphériques. Besançon ne figurant pas parmi les adhérents du District, ce nouvel échelon n'a fait que s'ajouter à la longue liste des Autorités Organisatrices, à travers la création d'un second Périmètre de Transport Urbain dans l'agglomération. Vient enfin s'ajouter une dernière strate liée à la planification, le Schéma Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme (SDAU).

figure 27 : Des autorités organisatrices de transport imbriquées



La multiplication des acteurs des transports aboutit à la juxtaposition de plusieurs réseaux de qualité inégale. Le réseau de la commune centre, concédé à la Compagnie des Transports de Besançon (CTB), offre des services performants au regard des villes de même taille (encart 11 p.75). La CTB exploite 16 lignes de bus diurnes, complétées par 4 dessertes nocturnes et dominicales (figure 28). Les 7 lignes diamétrales enregistrent une forte fréquentation, l'utilisation est en revanche de moindre importance pour les autres lignes mais celles-ci garantissent la qualité de l'offre en desservant les quartiers périphériques de la ville (MVA, 1999). Une comparaison à l'échelle nationale révèle des résultats encourageants, le nombre de kilomètres parcourus par an et par habitant s'élève à 48, la moyenne nationale est de 26. Les 167 voyages par an et par habitant témoignent également de cette bonne situation, ce chiffre est deux fois supérieur à la moyenne des villes de plus de 100 000 habitants. Ces résultats très positifs ne doivent cependant pas masquer la diminution des performances du réseau de la CTB tant pour l'offre que pour la demande. La circulation des bus est fortement perturbée par les problèmes de congestion et les contraintes liées à l'exiguïté des rues dans le centre ancien, ce qui occasionne une baisse de la vitesse commerciale. Puis, à l'image de nombreuses villes, la fréquentation est en constante diminution, avec une perte de 10 % entre 1987 et 1997 (Transitec, 1999). Des efforts sont ainsi nécessaires afin de maintenir un réseau de qualité sur la commune de Besançon.

figure 28 : Les réseaux de transports publics de l'agglomération bisontine pour la saison 2001-2002



Le réseau coordonné avant 2002 par le District du Grand Besançon (DGB) est davantage destiné aux transports scolaires. Ce réseau dessert 36 communes et concerne près de 40 000 habitants. Le syndicat mixte des Transports du Grand Besançon (TGB) exploite le réseau, tandis que les services sont assurés par des autocaristes. Ces derniers, qui assuraient auparavant la desserte des scolaires, sont maintenant habilités à accepter d'autres voyageurs. 18 lignes sont actuellement en service dont une seule tangentielle (figure 28). La fréquence de passage des bus a été définie en fonction des besoins des scolaires, avec un bus le matin et le midi, tandis que le retour du soir est assuré par 2 ou 3 bus. Ce dispositif est complété par des taxis verts, ces services sont des lignes virtuelles déclenchées à la demande mais qui empruntent les trajets des lignes de bus à des horaires fixes. Les TGB effectuent plus d'1 million de km chaque année et font voyager 2 millions de voyageurs majoritairement scolaires (85 %).

40 % des voyages effectués en transport collectif dans l'agglomération et ayant pour origine ou destination Besançon sont effectués par les TGB. Cette part de marché est importante car les transports périurbains prennent la part majoritaire de l'offre dans ce secteur en comparaison avec le train, les cars scolaires, ainsi que les cars départementaux et régionaux (Transitec 1999). De plus, 90 % des trajets effectués par les TGB se relient à Besançon. De la sorte des actions intermodales avec la CTB ont été possibles à travers la signature d'une convention en 1998. Ces actions concernent essentiellement la tarification et la mise en commun de certains arrêts de bus. Ces initiatives n'ont malheureusement pas été étendues à l'interconnexion entre les services des deux opérateurs. D'après le Plan de Déplacement Urbain du Grand Besançon, la coordination des horaires concerne uniquement les services scolaires. La mise en place d'un réseau d'agglomération n'est pas allée à son terme avec l'intégration des deux périmètres de transport qui, en l'état actuel, restent juxtaposés.

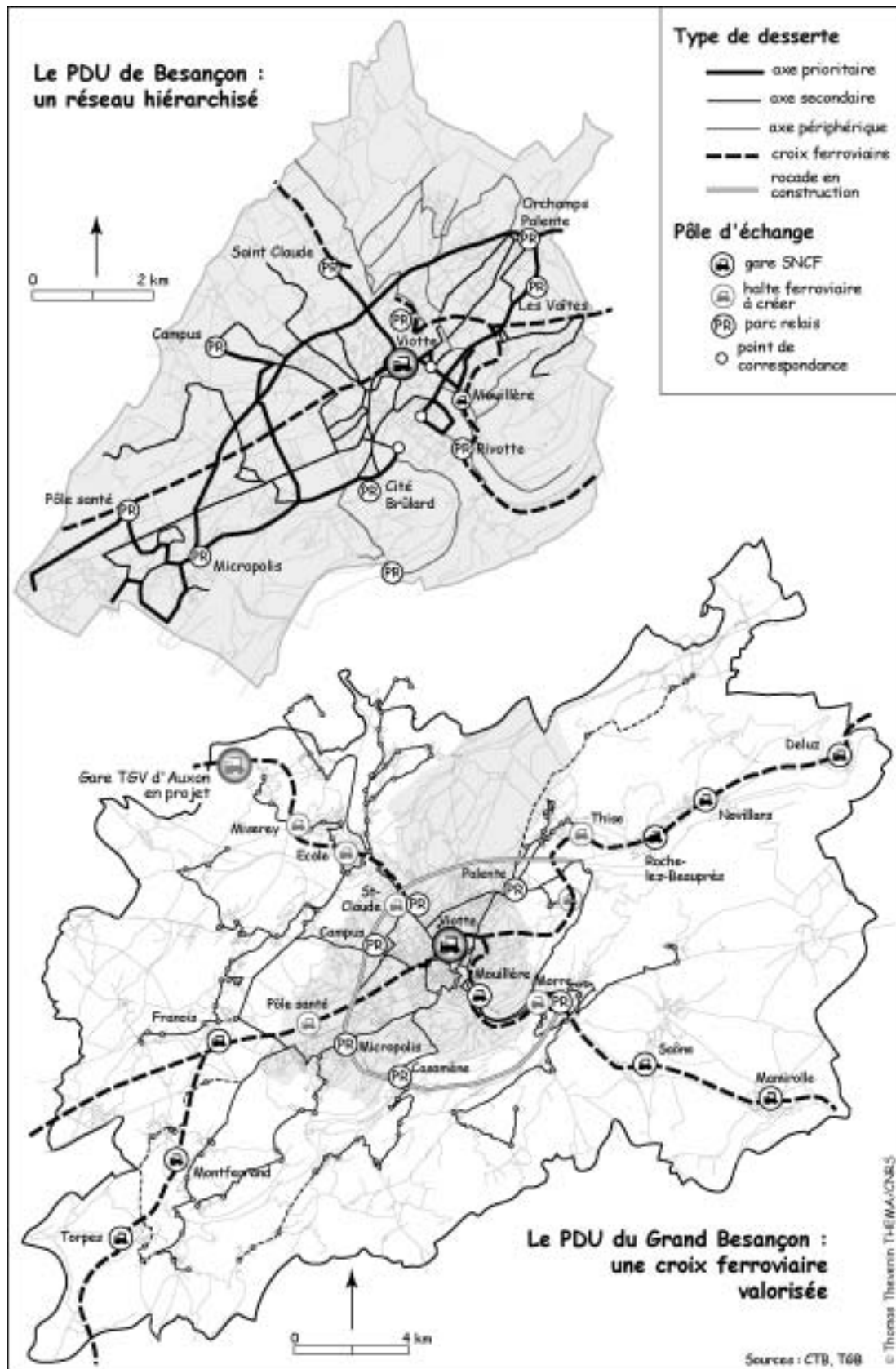
2.2. La coexistence de deux PDU dans une seule agglomération !

De l'imbrication de ces multiples territoires institutionnels de la mobilité découle une nouvelle spécificité bisontine : la coexistence de deux Plans de Déplacement Urbain. Ce document de planification et de concertation, formulé par la Loi d'Orientation sur les Transports Intérieurs en 1982 (LOTI), définit *"les principes généraux de l'organisation des transports de personnes et de marchandises, de la circulation et de stationnement, dans le périmètre de transport urbain.*

(...) Il vise à assurer un équilibre durable entre les besoins en matière de mobilité et de facilité d'accès, d'une part, et la protection de l'environnement et de la santé, d'autre part. Il a comme objectif un usage coordonné de tous les modes de déplacements. Notamment par une affectation appropriée de la voirie, ainsi que la promotion des modes les moins polluants et les moins consommateurs d'énergie".

Ce document réglementaire décrit en outre les mesures d'aménagement et d'exploitation à mettre en œuvre dans les dix années à venir. Plus récemment, la Loi sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Energie (LAURE) de 1996 complète la LOTI en rendant obligatoire la réalisation d'un Plan de Déplacement Urbain (PDU) pour toutes les autorités organisatrices des transports urbains dans les agglomérations de plus de 100 000 habitants. La ville de Besançon et le district constituent deux autorités organisatrices à part entière sur l'agglomération bisontine qui compte plus de 175 000 habitants. Ces deux entités ont été dans l'obligation d'élaborer leur propre PDU, d'où l'existence de deux documents pour une seule agglomération.

figure 29 : Les deux PDU de l'agglomération de Besançon



Le plan de déplacement urbain de la ville de Besançon affiche clairement la volonté de mener une réflexion à l'échelle de l'agglomération (figure 29). La majorité des six objectifs définis par le conseil municipal semblent en effet converger dans cette direction. Premièrement, les élus souhaitent, à travers le PDU, affirmer l'attractivité de l'agglomération ainsi que son influence à l'échelle régionale (Transitec, 2000). Ils veulent ensuite renforcer la centralité urbaine de Besançon. L'amélioration de l'accessibilité multimodale à la fois sur l'ensemble de l'agglomération ainsi que dans les différents secteurs de la ville constituent les quatrième et cinquième objectifs. Enfin, d'une façon plus générale, il s'agit d'offrir aux habitants et aux usagers une ville où il fait bon vivre, tout en facilitant les besoins de mobilité dans une perspective de développement économique (Transitec, 2000). Pour répondre à ces objectifs, le PDU prévoit entre autres de *"revivifier les transports urbains"*. Un réseau hiérarchisé est pour cela envisagé selon cinq axes prioritaires en site propre. Ces couloirs, strictement empruntés par certaines lignes de bus, sont complétés par des axes secondaires dédiés à la desserte des quartiers. Des axes périphériques ont été ajoutés afin d'assurer une bonne couverture du réseau de transports publics sur l'ensemble de la commune. Cette structure permet de réduire sensiblement la circulation des bus en centre-ville puisque quatre lignes diamétrales ont été envisagées contre huit actuellement. Des actions intermodales viennent enfin s'ajouter à ce dispositif. Il est question à court terme d'implanter des pôles d'échanges à l'entrée de la ville en intégrant tous les modes disponibles avec à long terme la valorisation de la croix ferroviaire sur laquelle nous reviendrons.

Le plan de déplacement urbain des Transports du Grand Besançon offre, de son côté, une vision de la mobilité à l'échelle de l'agglomération (figure 29). Ce PDU a pour ambition d'harmoniser les différents réseaux de transports publics sur l'ensemble de l'agglomération (MVA, 1999). Deux objectifs secondaires viennent s'ajouter. Renforcer les transports publics dans l'espace périurbain et définir un urbanisme combinant les modes doux, la marche à pied et le vélo, avec les modes lourds, en particulier les bus. Dans cette perspective, le district du grand Besançon souhaite tout d'abord s'appuyer sur les infrastructures existantes, c'est-à-dire les lignes de bus précédemment évoquées ainsi que l'infrastructure ferroviaire. L'agglomération dispose en effet d'une voie ferrée en forme de croix, exclusivement utilisée pour des liaisons nationales et régionales. L'axe situé au nord de Besançon est actuellement inutilisé mais il fait l'objet d'une étude pour la réalisation de la gare TGV localisée sur la commune d'Auxon. Le projet vise ainsi à valoriser cette croix ferroviaire en ajoutant de nouvelles haltes dans deux quartiers de Besançon (Planoise et Saint-Claude) et dans six communes périphériques. L'amélioration du réseau TGB est également envisagée avec la création de lignes tangentielles via la future voie de contournement de Besançon. Ces lignes sont destinées à fluidifier les déplacements entre les principaux pôles d'activités et d'emplois de l'agglomération situés à la périphérie, tout en évitant la traversée du centre-ville. Des minibus sont envisagés afin d'interconnecter le réseau périurbain au réseau urbain.

Cette mise en perspective des deux PDU montre que les autorités organisatrices de l'agglomération de Besançon s'affranchissent des frontières institutionnelles pour

définir des projets compatibles. L'unification complète de ces deux PDU reste cependant à terme un objectif essentiel pour répondre, comme il convient, aux problèmes de la mobilité à l'échelle de l'agglomération.

2.3. La création de la Communauté d'Agglomération du Grand Besançon

La loi Chevènement du 12 juillet 1999, élaborée pour renforcer et simplifier l'intercommunalité, impose aux communes françaises de se regrouper dans l'une des trois structures intercommunales créées à cet effet. Le district de Besançon devait donc impérativement se transformer d'ici le 1^{er} janvier 2002 en communauté d'agglomération ou en communauté de commune, la communauté urbaine étant réservée aux agglomérations de plus de 500 000 habitants (encart 12). Un détour par les événements qui ont marqué la naissance de la Communauté d'agglomération permet d'illustrer comment acteurs et consultations techniques interagissent dans la pratique

encart 12 : Le renforcement de l'intercommunalité

Communauté urbaine, de communes et d'agglomération : depuis la loi Voynet (25 juin 1999) et la loi Chevènement (12 juillet 1999), ces notions peu connues sont entrées en vigueur. Ces trois structures de coopération intercommunale ont certains éléments en commun. Leur périmètre doit être d'un seul tenant et sans enclave. Leur fiscalité leur permet de lever un impôt, d'appliquer la taxe professionnelle unique (TPU) et de recevoir des subsides de l'Etat, la dotation globale fixe notamment (DGF).

Une Communauté de communes compte moins de 50 000 habitants. Elle détient deux blocs de compétences obligatoires : l'aménagement du territoire et le développement économique. Elle possède également une compétence facultative (environnement, habitat, voirie ou équipements sportifs, socio-culturels et scolaires).

Une Communauté d'agglomération est composée d'un minimum de 50 000 personnes, avec une ville centre d'au moins 15 000 habitants. Elle a en charge quatre compétences obligatoires (développement économique, aménagement de l'espace, logement et politique de la ville) et trois optionnelles, à choisir entre la voirie, l'assainissement, l'eau, l'environnement ou la création d'équipements.

La communauté urbaine, dernière structure de coopération intercommunale. Elle s'occupe de l'aménagement de l'espace, du logement, de la politique de la ville, des services d'intérêts collectifs, de l'environnement, de la culture, du sport et du social.

Sources : "Une agglomération pour entrer dans le 21^e siècle", Topo Franche-Comté, 27/02/2002

Cette décision sur l'avenir institutionnel de l'agglomération bisontine a réactivé certains clivages politiques. Les opposants à la Communauté d'agglomération ont très vite relevé l'hégémonie de la commune centre. Ils considèrent cette entité comme "un espace ingérable au vu du poids démographique de Besançon qui représente 70 % de la population de l'agglomération"¹. Les maires en désaccord avec la création de la communauté d'agglomération craignaient ensuite de perdre l'autonomie financière ainsi que la maîtrise de l'urbanisme de leur commune. La transformation en communauté d'agglomération est, selon ses détracteurs, une procédure d'extension forcée qui résulte d'une logique d'assimilation territoriale et économique. Dans ce but, la préfecture a construit une campagne de concertation de manière à lever les difficultés et à faire ressortir les véritables enjeux. Les élus bisontins représentent en effet 40 % des voix mais les votes sont effectués à la majorité qualifiée des deux tiers. Besançon ne peut donc prendre une place hégémonique à elle seule et définir l'intérêt communautaire². Le processus de décision ne joue donc pas d'une façon univoque au profit de la ville centre. De plus des avantages fiscaux sont consentis aux Communautés d'agglomérations. La Dotation Globale de Fonctionnement (DGF), versée chaque année par l'Etat à toutes les collectivités, représente en effet 30 euros par habitant contre 6 euros pour une Communauté de communes. Dans son discours du conseil districale le préfet a ainsi résumé les enjeux :

"La communauté d'agglomération ouvre les perspectives. La communauté de communes les ferme. La communauté d'agglomération n'exige de la part des communes que peu d'efforts de solidarité supplémentaires par rapport à ce qu'elle pratique aujourd'hui mais elle leur laisse la possibilité d'évoluer. La communauté de communes au contraire [...] ne pourrait de fait [...] rien entreprendre de significatif. Franchement une communauté d'agglomération qui démarre prudemment n'a rien de plus contraignant qu'une communauté de communes. Mais elle donne des ressources et des possibilités d'évolution. Le choix qui s'offre aujourd'hui, c'est de savoir si on choisit à l'avance de ne pas bouger avant des années ou si l'on s'en donne la possibilité, avec toute la prudence qui convient."

A l'issue de cette période, les élus se sont massivement montrés favorables (70 %) à la création de la Communauté d'Agglomération du Grand Besançon (CAGB), constituée de 57 communes et comptant plus de 175 000 habitants (figure 30). Ce nouvel Etablissement Public de Coopération Intercommunal (EPCI) a acquis des compétences supplémentaires par rapport au District. La CAGB a en charge quatre domaines de compétence statutaire : le développement économique, l'aménagement de l'espace, l'équilibre social de l'habitat et la politique de la ville. Trois domaines de compétence optionnels ont été ajoutés, ils concernent la gestion de la voirie et des parkings d'intérêt communautaire, la protection et la mise en valeur de

¹ Presse locale, Est Républicain du 5 février 2001.

² L'intérêt communautaire sert à définir les limites d'exercice par la Communauté d'agglomération de certaines compétences. C'est la clef de répartition entre les éléments restant à la charge des communes et ceux basculant à la charge de l'agglomération.

l'environnement et du cadre de vie ainsi que les équipements culturels et sportifs d'intérêt communautaire.

Un des principaux changements concerne l'aménagement de l'espace et plus particulièrement la gestion des transports urbains et périurbains (Rigolo, 2002). Ce thème rassemble de nombreux aspects de la qualité de vie et mobilise l'ensemble des compétences de la CAGB. Les transports visent en outre, à renforcer l'unité communautaire en veillant au rapprochement entre les communes rurales et le pôle urbain. Pour ces raisons, la majorité des élus a posé le transport comme mission essentielle de cette nouvelle instance. La CAGB est par conséquent devenue l'unique autorité organisatrice des transports en intégrant la compétence de la ville de Besançon, du District et des Conseils général et régional.

figure 30 : Le périmètre de la Communauté d'Agglomération du Grand Besançon



La CAGB réunit ainsi tous les éléments requis pour fusionner les deux Plans de Déplacement Urbain et préciser les objectifs et les moyens à mettre en œuvre afin d'inscrire la problématique des transports dans un véritable projet d'agglomération.

3. Pour un projet de transports publics à l'échelle de l'agglomération

Une des premières missions de la CAGB consiste à définir les orientations du projet d'agglomération à moyen et à long terme. Cette démarche doit exprimer "*le projet de développement durable du territoire, les orientations fondamentales de l'organisation spatiale qui en découlent ainsi que les mesures nécessaires à leur mise en œuvre*" (AUDAB, 2002). D'après l'agence de l'urbanisme de Besançon, le projet d'agglomération ne peut se substituer aux différents documents de planification, il doit au contraire *en garantir la cohérence et permettre de hiérarchiser les priorités pour une mise en œuvre efficace*. La CAGB, sur le thème des transports, doit ainsi accomplir une tâche délicate qui consiste à opérer la fusion des deux Plans de Déplacement Urbain sans remettre en cause les principes de ces documents de planification. Dans cette optique, une simple superposition des deux PDU est-elle suffisante pour répondre aux problèmes de mobilité de l'agglomération bisontine ? Après avoir effectué une synthèse des PDU, puis formulé certaines questions sur l'organisation à venir du système de déplacement, il s'agira de définir les innovations à apporter à cette architecture du réseau de transports publics.

3.1. Vers une fusion des deux PDU

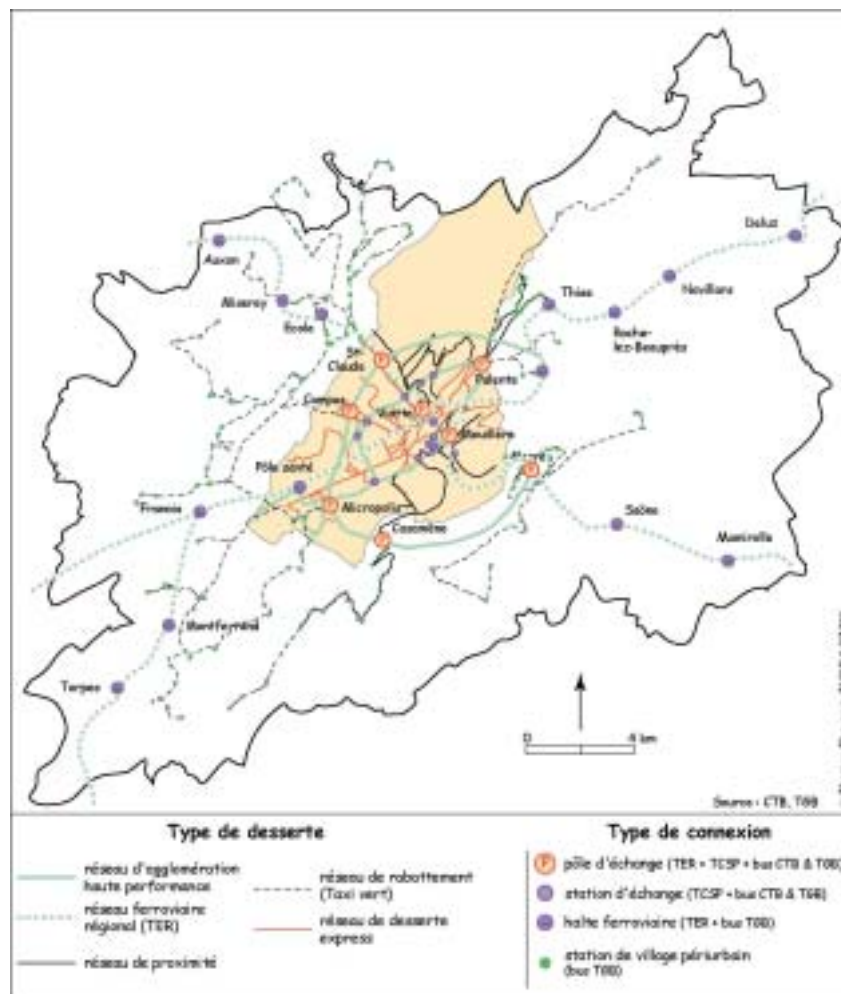
A ce jour, aucun document n'est disponible pour rendre compte de la fusion des deux Plans de Déplacement Urbain de l'agglomération de Besançon. Ainsi, pour poursuivre notre réflexion et combler modestement ce manque, nous nous sommes livré à cet exercice en proposant une synthèse des deux PDU sous la forme d'une carte. Les deux plans de déplacements, présentés à la figure 29, ont été tout d'abord superposés. Dans un second temps les informations redondantes, comme certains pôles d'échanges, ont été supprimées. Le résultat de cette carte de synthèse, présentée à la figure 31, révèle une organisation des infrastructures de transports publics qui s'apparente fortement aux quatre niveaux de desserte du "système des axes verts" qui a été développé dans le chapitre précédent (figure 18 p. 61).

Les axes prioritaires en site propre, complétés par la croix ferroviaire et la ligne de bus tangentielle constituent le réseau d'agglomération de haute performance qui achemine les flux majeurs au cœur de la ville-centre. Ensuite, les axes secondaires s'apparentent au réseau de proximité qui a pour vocation d'assurer les déplacements de quartier, tandis que les liaisons d'agglomération sont destinées à rabattre les flux issus des communes périphériques. Les lignes de dessertes express, qui ont pour vocation de relier les principaux points d'échanges du réseau, n'ont pas été

représentées pour faciliter la lisibilité de la carte. Enfin, des stations d'échanges au cœur de Besançon et l'installation de parcs-relais à l'entrée de la ville ont été planifiées. Ce Plan de Déplacement Urbain permet ainsi d'intégrer tous les modes de transport disponibles sur l'agglomération et de hiérarchiser les dessertes.

Ce dispositif n'échappe cependant pas aux critiques généralement faites aux réseaux basés sur le système "axes verts". Les modes lourds tiennent en effet une place prépondérante dans ce PDU, au détriment de solutions moins coûteuses et par le fait moins porteuses en terme d'image. Philippe Ménerault (1991) met en garde contre un réseau fondé uniquement sur des axes lourds car une telle conception des transports publics contribue à renforcer les liaisons diamétrales et accentue par conséquent les déséquilibres dans l'agglomération en matière d'accessibilité. Ces disparités se font particulièrement ressentir dans l'agglomération bisontine qui rassemble des tissus urbains, périurbains et ruraux. Les communes rurales peu denses sont en droit d'attendre un service de transport de qualité égale aux autres communes de la CAGB. La mise en place d'infrastructures lourdes étant inenvisageable, il convient de proposer des modes plus souples pour répondre aux besoins de mobilité des habitants et moins coûteux pour la collectivité.

figure 31 : Une fusion des PDU fondée sur le système des axes verts



Dans cette optique ont été mis en place les taxis verts pour les communes périurbaines. Ce service fonctionne comme une ligne de bus virtuelle où le véhicule passe à des heures régulières et suit un trajet fixe mais fait préalablement l'objet d'une réservation. L'organisation des taxis verts se situe ainsi dans un cadre rigide, contraint par des impératifs liés au temps et à l'espace. Aussi, cette conception des transports à la demande ne pourrait-elle pas évoluer vers des services plus souples ? Derrière ce moyen de transport rendu plus flexible pourrait être envisagé un service de réservations ouvert sur l'ensemble de la journée, capable de faciliter le regroupement des clients au sein des véhicules, dans l'objectif de limiter les coûts engagés par la collectivité. Les propositions formulées dans le chapitre précédent sur le système des "axes verts personnalisés" seraient sans doute une alternative intéressante pour renouveler l'architecture du réseau de transports publics dans le Plan de Déplacements Urbains. Structurée pour combiner les modes souples et lourds, cette proposition permettrait sans doute de résoudre les déséquilibres liés à l'accessibilité en ouvrant les services de la ville à l'ensemble des habitants de l'agglomération. Les modalités d'application de ces hypothèses sur le site de Besançon seront abordées ultérieurement dans cette recherche.

3.2. Vers un service à la mobilité innovant

L'application du système des "axes verts personnalisés" sur l'agglomération bisontine pourrait partager certaines caractéristiques des services à la mobilité innovants décrits par Edith Heurgon et Jean-Paul Bailly (2001) dans le rapport réalisé pour le Conseil National des Transports. Pour ces auteurs, l'architecture du réseau de transport repose tout d'abord sur une hiérarchisation des axes afin de rabattre les flux issus des communes périphériques vers le réseau principal. Cette organisation est ensuite fondée sur une diversification des services de déplacements porte à porte et fonctionnant en continu. Aucun mode ne pouvant à lui seul répondre à la diversité des demandes, le système des "axes verts personnalisés" repose ainsi sur une approche intermodale qui combine les modes doux (la marche à pied, le vélo) avec les modes souples (taxi, minibus à la demande), sans oublier les modes lourds (bus, tram, train).

L'idée des "axes verts personnalisés" ne doit cependant pas seulement se limiter à l'organisation des infrastructures, pour participer au fonctionnement de nouveaux services à la mobilité. Cette notion doit en effet être replacée dans un cadre plus large, qui a été déterminé ici en fonction des trois préconisations formulées dans les conclusions du rapport du CNT. Ces recommandations concernent tout d'abord le processus d'innovation nécessaire à la création de nouveaux services, ainsi que la constitution de modes de régulation et enfin une connaissance approfondie des besoins de mobilité des personnes.

Le système des "axes verts personnalisés" doit premièrement être complété par des innovations indirectement liées aux infrastructures. La diversification des services à la mobilité, et en particulier les transports à la demande, nécessitent en effet de mettre à la disposition des voyageurs des systèmes d'information aptes à faciliter

l'usage des réseaux. La Communauté d'Agglomération du Grand Besançon dispose d'un tel outil, puisqu'une centrale de mobilité fonctionne depuis septembre 2002. Il reste cependant à faire porter l'effort sur l'implantation des pôles d'échanges. Ces espaces publics de la mobilité jouent un rôle déterminant dans *"l'interaction des attentes individuelles et des enjeux collectifs formulés en termes d'accessibilité, d'hospitalité, de solidarité et de citoyenneté"* (Bailly et al., 2001). Dans cette optique, il apparaît donc essentiel de concevoir les pôles d'échanges comme des environnements de services afin de donner aux voyageurs la possibilité d'organiser et de valoriser leurs déplacements (Bourdin, 2001 ; Ascher, 1999).

Les auteurs du rapport de la commission nationale des transports proposent deuxièmement d'inventer de nouvelles formes de régulation capables de fédérer l'ensemble des acteurs de la mobilité. Ces nouvelles structures doivent être en mesure d'appréhender les déplacements dans une approche globale intégrant l'ensemble des motifs et des modes de transport sur des échelles spatiales et temporelles variables. Il s'agit pour cela, de lever les nombreuses barrières institutionnelles qui pèsent sur l'organisation des transports et de proposer des modes de financement permettant de concilier les secteurs publics et privés. La création d'une Communauté d'agglomération sur le territoire élargi de Besançon répond à cette exigence d'une concertation des acteurs du transport pour développer une approche globale de la mobilité.

Si les barrières institutionnelles s'estompent, le nombre d'opérateurs dans le domaine des transports reste élevé et tend à augmenter avec des montages partenariaux de plus en plus complexes. Le cas de Besançon est à cet égard significatif, puisque le principal opérateur de l'agglomération sous-traite les liaisons périurbaines à six autocaristes indépendants et à deux groupements de taxis. La gestion globale des transports publics nécessite de partager les connaissances de tous les opérateurs ainsi que des partenaires institutionnels participant au fonctionnement du réseau. Or, les données collectées sur le réseau de transport par les différents acteurs ne sont pas toujours compatibles. Les protocoles de transfert des informations sur la circulation des véhicules diffèrent notamment d'une entreprise à l'autre. De plus, la méthodologie des enquêtes sur la demande de déplacement n'est pas toujours compatible. Il est ainsi impératif dans un troisième temps d'améliorer la fiabilité des informations en développant des outils capables de fédérer ces dernières dans un système de gestion de bases de données adapté aux contraintes d'exploitations des opérateurs et aux besoins des autorités organisatrices des transports. Un tel outil doit être hébergé dans une structure de veille et d'observation apte à centraliser et actualiser les informations issues des différents organismes. La création récente d'une agence d'urbanisme à la Communauté d'Agglomération du Grand Besançon offre le cadre requis pour accueillir un observatoire des déplacements et contribuer à faire vivre un système d'information destiné à l'organisation des transports publics. La volonté d'innover, la création d'une structure de régulation et le partage des connaissances qui sont ainsi réunis au sein de l'agglomération bisontine, fournissent les conditions nécessaires pour envisager l'organisation de nouveaux services à la mobilité.

Conclusion

Cette mise en perspective de la Communauté d'Agglomération du Grand Besançon montre à quel point l'organisation du réseau de transports publics a constitué une motivation majeure pour engager cette nouvelle coopération intercommunale. Outre ce contexte favorable au développement d'une politique de transports publics d'agglomération, le nouvel espace bisontin offre un terrain bien adapté pour mettre à l'épreuve des outils d'aide à la mobilité dans une ville moyenne. L'hétérogénéité de ce site tout d'abord, à la fois ville et campagne, nécessite une organisation capable d'articuler les secteurs denses de la ville-centre les zones périphériques plus déserrées, ainsi que l'habitat dispersé des zones rurales. Ensuite, une véritable structure intercommunale d'agglomération est maintenant en place pour assurer la coordination de ces différentes échelles du territoire. Enfin, les deux plans de déplacement urbain présentent une structure très proche du système des "axes verts". Cette architecture du réseau de transports publics pourrait être complétée par un service à la demande basé sur le principe des "axes verts personnalisés". Un certain nombre d'acteurs locaux parmi les opérateurs et les partenaires institutionnels sont disposés à adhérer à ces propositions. Il faut maintenant s'interroger sur les outils à développer pour concrétiser les propositions du système des axes verts personnalisés dans un service public de mobilité à l'échelle d'une agglomération de la taille de Besançon.

CONCLUSION DE LA PREMIERE PARTIE

Étalées et discontinues, à la fois compactes et hétérogènes des morphologies urbaines d'un nouveau type émergent et se décrivent en termes contradictoires. A ces évolutions de la structure des villes vient s'ajouter une profonde transformation des modes de vie qui engendre une individualisation des comportements et une désynchronisation des rythmes urbains. Ces mutations des sociétés urbaines suscitent de nouveaux besoins en matière de déplacement ; plus complexes ceux-ci se traduisent par des comportements de mobilité toujours plus favorables à l'usage des modes individuels, en particulier de l'automobile.

Dans ce contexte, transporteurs et autorités organisatrices ont une responsabilité décisive pour rendre possible l'adaptation des services publics aux nouvelles demandes de mobilité. L'intermodalité semble constituer une bonne réponse à ces besoins de déplacements aux motifs plus diversifiés et aux trajectoires de plus en plus complexes. Un rapide état de l'art a toutefois révélé des actions intermodales dans les agglomérations importantes, tournées essentiellement vers la combinaison des moyens de transport lourd. Nous proposons ainsi de renouveler la notion d'intermodalité en allant vers des solutions peut être moins visibles mais plus adaptées au contexte urbain des villes moyennes. Ce bilan amène à préciser notre point de vue en soumettant les hypothèses sur lesquelles travailler : l'utilisation conjointe du service à la demande avec des moyens de transports publics classiques constitue une solution intermodale adaptée aux problèmes de mobilité des agglomérations regroupant des zones rurales et urbaines.

A l'examen, la Communauté d'Agglomération du Grand Besançon se révèle particulièrement appropriée pour confronter notre projet à la réalité d'un terrain où ville et campagne coexistent. Support de notre réflexion, le site de Besançon permettra de définir des outils et des méthodes d'analyse destinés à mieux connaître et améliorer le fonctionnement d'un réseau de transports publics dans une agglomération de taille moyenne.

DEUXIEME PARTIE

POUR UNE MODELISATION SPATIO-TEMPORELLE DES DONNEES DE TRANSPORTS PUBLICS

INTRODUCTION DE LA DEUXIEME PARTIE

La définition d'une politique intermodale des transports publics représente un enjeu clef pour faire face aux problèmes posés par les dynamiques urbaines actuelles. Les décideurs politiques semblent privilégier les modes lourds, que constituent notamment les projets de Transports Collectifs en Site Propre (TCSP), et que l'on retrouve en nombre dans les agglomérations françaises et européennes (Beaucire et al., 2000). Ces moyens de transport ne permettent cependant pas toujours de répondre aux besoins de mobilité des personnes, particulièrement dans les agglomérations de taille moyenne. L'intégration des modes souples, comme les services à la demande, est à cet égard une solution pertinente pour répondre à une demande toujours plus diffuse dans l'espace et plus irrégulière dans le temps. Composants de tous les déplacements, les modes doux, et plus spécialement la marche à pied, doivent être intégrés dans la définition d'un projet intermodal, ce qui est généralement loin d'être le cas.

En effet, tous les maillons de la chaîne de déplacement doivent figurer dans la définition du projet intermodal. Il s'agit pour cela de localiser précisément les générateurs de trafic, qui sont d'une part le domicile, le lieu de travail et d'autre part les centres de loisirs et d'achat. La première partie a montré d'autre part l'importance d'intégrer les rythmes de mobilité dans la ville au cours de la journée. L'objectif de cette seconde partie est de proposer des outils et des méthodes capables d'appréhender les caractéristiques multimodales du système de transport dans l'espace et le temps.

Un premier chapitre sera consacré à un inventaire des outils couramment utilisés par les aménageurs et les exploitants pour planifier et organiser les transports. Depuis les années 1960, les modèles issus de la théorie de l'action économique rationnelle sont les plus répandus dans ce domaine. Les autres sciences sociales remettent actuellement en cause cette forme d'hégémonie induite par une approche réductrice à caractère strictement économique.

Les nouvelles approches proposées exigent une quantité de données importante de différentes natures, référencées dans l'espace et/ou le temps. Les systèmes d'information géographique dédiés aux transports (SIG-T) ont notamment été développés pour fédérer ces bases de données spécifiques. Un second chapitre exposera ainsi l'évolution des SIG-T et permettra de préciser les caractéristiques des outils d'analyse complémentaires qui seront utilisés pour étudier les phénomènes propres aux transports publics.

Après avoir défini les méthodes et les outils nécessaires à notre recherche, le troisième chapitre sera consacré à la proposition d'un protocole de construction d'un SIG-T dédié à l'analyse des données de transports publics dans l'espace et le temps.

Chapitre 4

Des sciences sociales en quête d'identité face à une culture technicienne et planificatrice

V. Kaufmann dans son ouvrage sur le report modal (2000) fait état du "*sous développement de la recherche en sciences sociales relative au champ des transports en général*". Depuis trente ans en effet, les besoins des transporteurs ont largement été guidés par des impératifs opérationnels, tandis que les aménageurs, attachés à leur mission de prévision de la demande de déplacement, ont largement été influencés par les théories économiques néoclassiques. Or, cette division sectorielle de l'analyse de l'offre et de la demande ne permet pas de considérer les interactions qui animent le système de transport. Il s'agit, dans cette optique, d'explorer des pistes de renouvellement des méthodes et des outils utilisés par les aménageurs et les exploitants.

1. La culture technicienne du transporteur

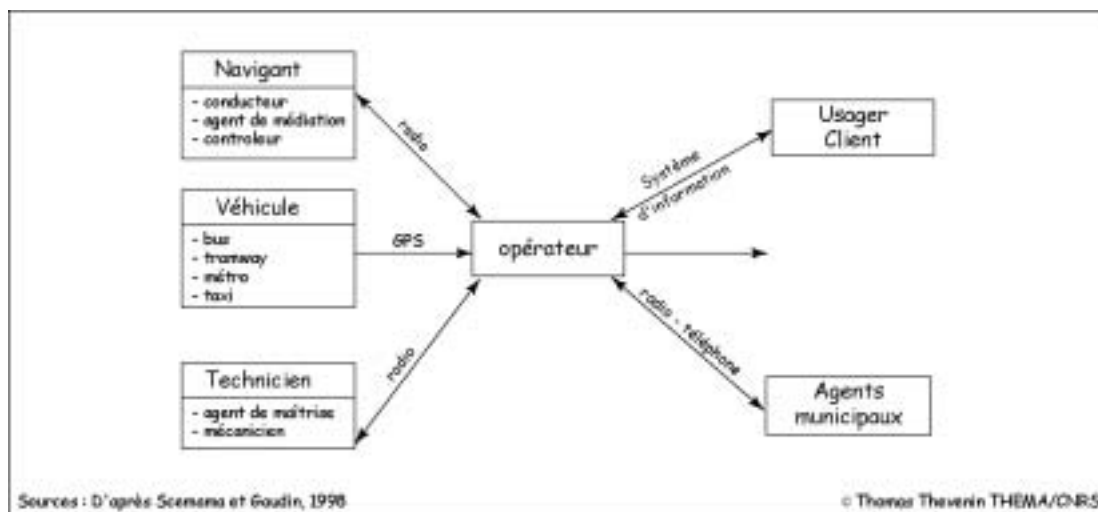
Dans la première partie, il a été largement question d'un renouvellement de la fonction des opérateurs de transport s'orientant vers une culture de service et de gestion de la mobilité. La tradition technicienne du transporteur demeure toutefois

car le métier reste contraint par sa fonction première : l'exploitation du réseau de transport collectif de masse.

1.1. Les métiers de l'exploitation dans les transports publics

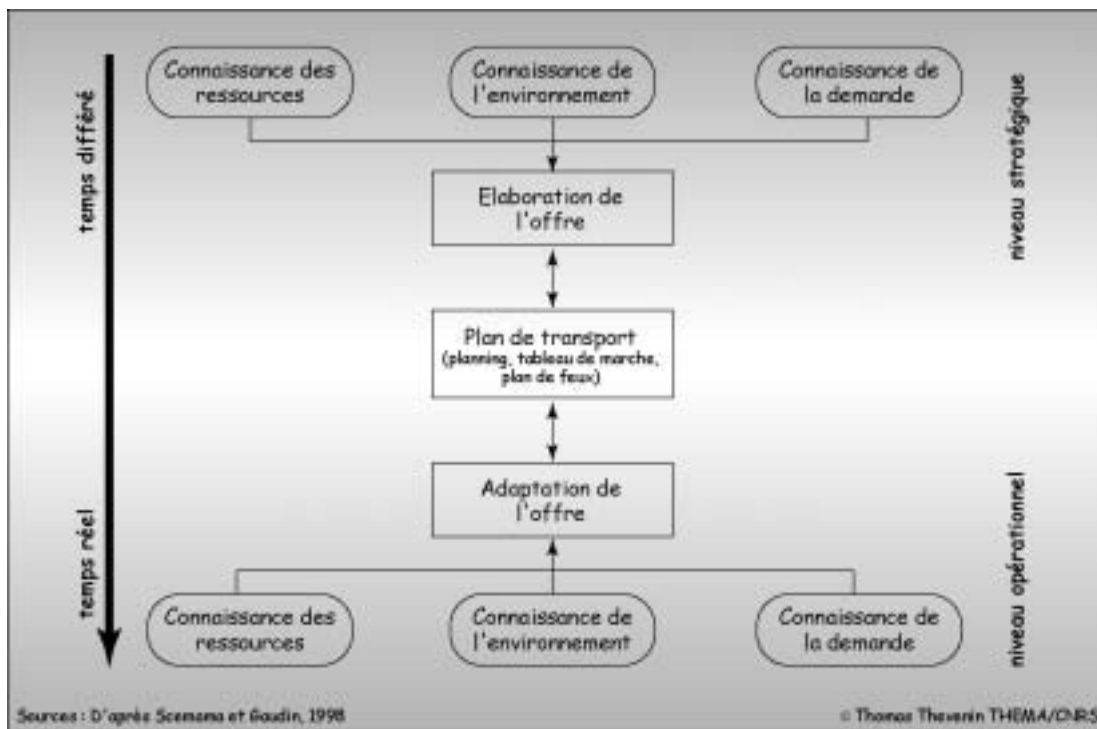
La première mission attribuée aux opérateurs par les autorités organisatrices de transport est d'assurer l'exploitation du réseau. G. Scémama et E. Gaudin (1998) ont tenté de définir les fonctions relevant de cette activité essentielle, pour l'ensemble des modes de transport de voyageurs et de marchandises. Seuls les éléments concernant les transports publics ont ici été retenus. Selon ces auteurs, l'exploitation considère les usagers et les véhicules du système de transport à travers deux principaux objectifs. Il s'agit premièrement de veiller à **l'amélioration de l'efficacité des services de transport** en termes de sécurité et de ponctualité, afin de fournir un service de qualité aux usagers. **La maîtrise des coûts d'exploitation** constitue le second enjeu et vise particulièrement à ajuster la capacité des véhicules aux variations de flux et de planning des conducteurs.

figure 32 : Les acteurs de l'exploitation



Ces deux composantes de l'activité d'exploitation peuvent être décomposées en deux fonctions : l'information et la décision. Tout d'abord, les opérateurs échangent des informations avec un certain nombre d'acteurs du système de transport (figure 32). La communication peut être établie d'une part avec les conducteurs afin de réguler la gestion des véhicules, et d'autre part avec les usagers par le biais des panneaux d'information à messages variables, de plus en plus disponibles aux arrêts de bus. Avec le développement des systèmes de télécommunication embarqués, la fonction de décision est maintenant facilitée par une information centralisée chez l'exploitant.

figure 33 : Les niveaux stratégiques et opérationnels de l'exploitation



L'acte de décision vise à optimiser l'ajustement entre l'offre et la demande, suivant une échelle temporelle qui distingue le temps différé du temps réel. Le niveau stratégique concerne la planification différée des ressources sur le long, le moyen et le court terme (Scemama et al., 1998). Cette organisation du système de transport public repose sur l'évaluation de la demande effectuée sur la base d'enquêtes et à partir d'une mesure de la performance fournie par le service d'exploitation du réseau. Cette planification stratégique est conçue pour faire face à des situations exceptionnelles mais prévisibles, telles que périodes scolaires et vacances. Le niveau opérationnel est en revanche destiné au traitement en temps réel de trois grands types de situations perturbées (figure 33). La première catégorie concerne les aléas affectant les ressources, comme les pannes de véhicules. Les perturbations de l'environnement, comme les contraintes de circulation ou les situations météorologiques, sont rassemblées dans un second groupe. Dans une troisième catégorie apparaissent enfin les contraintes qui relèvent des usagers, comme les problèmes de sécurité.

Pour s'affranchir au mieux des congestions de trafic, les entreprises de transports publics investissent de plus en plus dans des outils informatiques d'aide à l'exploitation.

1.2. Les systèmes d'aide à l'exploitation : des outils privilégiés par le transporteur

Les Systèmes d'Aide à l'Exploitation (SAE) ont fait leur apparition dans les années 1970, en raison des difficultés liées au partage de la voirie entre les transports publics et l'automobile.

tableau 9 : exemple des fonctions disponibles dans des Systèmes d'aide à l'exploitation

| Fontion | Systèmes décentralisés | SICLIC (Système Interactif Centralisé à Localisation Instantanée Cyclique) |
|---|---|--|
| Connaissance du mouvement en temps différé : Temps de parcours, battement, dysfonctionnement | automatique | automatique |
| Connaissance du mouvement en temps réel : Départ terminus Voyant avance / retard Poste central Régulation d'intervalle Données d'exploitation | Automatique Automatique Pas de centralisation Non Automatique | Automatique avec changement d'horaire possible Automatique avec changement d'horaire possible Lecture d'ensemble Oui Automatique |
| Données d'exploitation | Automatique | Automatique |
| Information aux usagers Affichage du prochain arrêt Annonce sonore du prochain arrêt Annonce aux arrêts en temps réel Annonce à domicile en temps réel | Automatique Automatique Non Non | Automatique Automatique Oui Oui |
| Action sur les feux : Carrefours non reliés à un poste central Carrefours reliés à un poste central Dialogue avec l'ordinateur de trafic | Oui Possible Non | Oui Oui Oui |
| Gestion des correspondances | Non | Oui |
| Gestion du carburant | Oui | Oui |
| Monétique/ticketique | Possible | Possible |

Source : (Cetur, 1988)

A Besançon, le premier SAE véritablement opérationnel a été installé en 1978. Cette ville fut à cet égard pionnière puisque le dispositif est maintenant largement diffusé dans les réseaux de transports publics urbains. D'après C. Lefèvre et J.M. Offner (1990), les SAE "Siclic" étaient les plus répandus au début des années 1990. Le tableau 9 permet de préciser les différentes fonctions offertes par ces outils. Ces derniers sont conçus pour recueillir de façon automatique des informations sur les ventes de tickets de transport, la consommation en carburant des véhicules et le nombre de kilomètres parcourus, sans oublier la saisie du planning des conducteurs. Ils constituent une sorte de mémoire de la vie du réseau. La fonction de régulation

des SAE est effectuée à l'aide d'un GPS afin de localiser précisément les véhicules depuis un poste de contrôle et de vérifier l'avance ou le retard d'un bus par rapport à un horaire théorique (CETUR, 1983). La gestion en temps réel de la flotte de véhicules est ainsi assurée directement depuis un poste de contrôle pour parer aux problèmes de circulation qui surviennent sur la voirie. L'évolution des moyens informatiques depuis le début des années 1990, ainsi que le développement des techniques de télécommunication et de localisation par satellite ont certes accéléré le transfert des informations vers les SAE, mais en restant sur les mêmes principes de fonctionnement.

Une ancienne étude sur les SAE (CETUR, 1988) souligne les apports de cette technologie pour les entreprises de transports publics avec notamment des gains de productivité non négligeables. Du point de vue de l'utilisateur, ces dispositifs ont à la fois amélioré la ponctualité des services et permis le développement des Systèmes Automatiques d'Information (SAI). Le recueil des données sur la circulation des bus en temps réel permet d'informer les usagers via les bornes d'information disponibles aux arrêts et de les renseigner directement au domicile par les centrales de mobilité dont il a été question dans le deuxième chapitre la première partie.

1.3. Des outils spécifiques

En plus des Systèmes d'Aide à l'Exploitation, certains transporteurs n'hésitent pas à développer leurs propres outils informatiques pour répondre à des besoins spécifiques. La RATP dispose ainsi d'une série de logiciels conçus pour couvrir trois champs d'application (Stathopoulos, 1997). Le premier domaine concerne l'évaluation des performances territoriales d'un réseau existant. Le second relève davantage de la conception du réseau car il permet d'effectuer des comparaisons entre différentes organisations des lignes de bus ou tout autre mode de transport public. Enfin, l'étude des impacts territoriaux d'un nouveau projet constitue le troisième type d'application. Les logiciels présentés dans l'encart 13 présentent des caractéristiques communes. Une interface graphique permet tout d'abord de faciliter la saisie des renseignements sur les modes de transport disponibles. La performance du réseau est évaluée en fonction des indices issus de la théorie des graphes¹. Enfin, l'utilisateur de ces logiciels bénéficie de formats d'importation et d'exportation autorisant leur couplage avec des outils d'analyse statistique ou de cartographie automatique, ce qui n'est pas le cas avec les SAE.

RETIS est semble-t-il l'une des applications les plus connues parmi les outils développés par la RATP. Ce logiciel a été spécialement conçu pour analyser le système de transports publics de la région Ile-de-France à travers le projet "autrement bus". RETIS a été utilisé dans la perspective de proposer la restructuration du réseau de bus autour de certains pôles majeurs afin de faire concorder les nœuds de

¹ De nombreux ouvrages traitent de ces indicateurs, on peut se référer pour cela à l'ouvrage de G. Dupuy (1991) intitulé "l'urbanisme des réseaux". L'ensemble des indicateurs est également détaillé dans la thèse de L. Chapelon (1998).

correspondances avec les pôles urbains. L'objectif recherché par la RATP était d'augmenter le trafic sur les déplacements de banlieue à banlieue. Ce logiciel a démontré depuis son efficacité sur d'autres projets notamment dans l'élaboration de la nouvelle ligne de métro (le Météor). En dépit des nombreuses fonctions disponibles, deux critiques peuvent être adressées à RETIS. Ce dernier produit essentiellement des indicateurs sur l'offre de transport sans prendre en compte la demande. Ensuite, cette application considère à priori uniquement les modes de transports publics sans intégrer les modes individuels comme la marche à pied ou l'automobile.

encart 13 : Les outils spécifiques de la RATP

RETIS : orienté vers la simulation et l'évaluation des réseaux d'autobus

ETER (Evaluation Topologique et Economique de Réseaux) : combine l'évaluation de la performance territoriale des réseaux d'autobus avec l'évaluation économique du coût d'exploitation des lignes du réseau

CRAPO (Conception des Réseaux Assisté Par Ordinateur) : qui existe en trois versions portant respectivement sur les réseaux d'autobus, de chemins de fer régionaux SNCF et sur la voirie rapide en Ile-de-de-France.

MacRETIS : version ferroviaire de RETIS permettant l'évaluation des réseaux de grande taille du type métro

WinRETIS : version multimodale de RETIS permettant la simulation et l'évaluation des réseaux de transport en commun multimodaux (bus, métro, RER, tram)

Source : extrait de Stathopoulos, 1997

Les outils spécifiques, développés par des transporteurs comme la RATP, restent peu diffusés. Aussi les SAE, principaux outils utilisés par les transporteurs, demeurent majoritairement destinés à la gestion opérationnelle de l'offre de transports publics sur le court terme. Or, les besoins d'exploitation exigent une planification stratégique et par conséquent une connaissance approfondie de la demande. Les compétences d'un aménageur chargé d'organiser les transports sont donc requises.

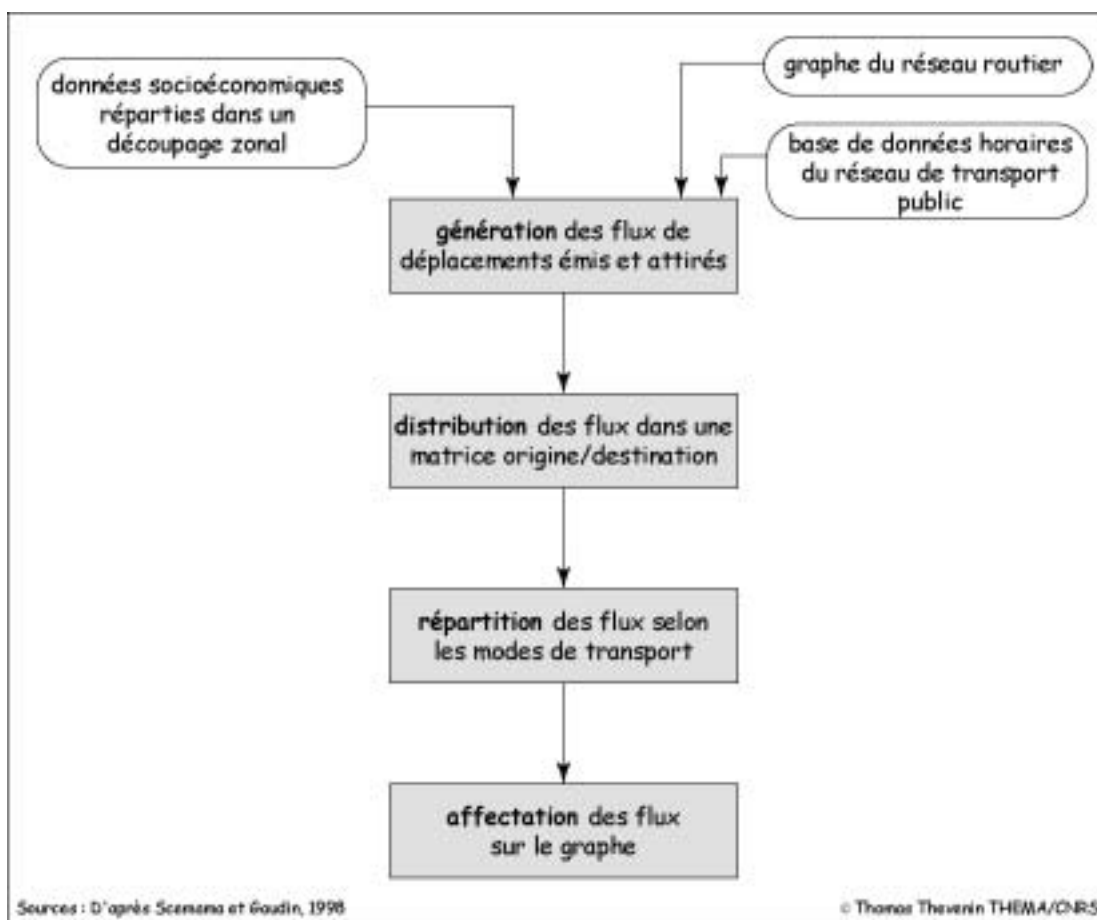
2. La culture planificatrice de l'aménageur

Mobilisée par les autorités organisatrices de transport, la fonction de l'aménageur consiste à développer des infrastructures pour faire face aux besoins de mobilité des personnes, surtout aux heures de pointe. Cette profession s'est dotée très tôt d'outils de prévision de la demande, fondés essentiellement sur les principes de l'économie néoclassique. Cette approche domine toujours et impose sa marque aux modèles développés.

2.1. Les modèles classiques à quatre étapes

Les premiers développements de ces modèles classiques sont apparus aux États-Unis au début des années 1960 (Dupuy, 1999). L'objectif recherché était de prévoir les investissements nécessaires à la construction des infrastructures de transport dans un contexte économique particulièrement favorable à l'urbanisation et à la motorisation des ménages (Masson, 1998). Ces modèles de première génération furent conçus pour compter les déplacements effectués dans un périmètre donné ; l'origine, la destination, le motif, le mode utilisé, la période de la journée, complétaient l'information recueillie.

figure 34 : Les quatre étapes du modèle classique



La modélisation de la demande de déplacement requiert des données socio-économiques rapportées à des unités territoriales de type aréales, tandis que l'offre de transport est structurée sous la forme d'un graphe. Le modèle à quatre étapes se déroule suivant un processus séquentiel linéaire (figure 34) qui établit, dans un premier temps, les volumes de déplacements en émission et en réception pour chaque zone : la phase de génération. Dans un deuxième temps, la distribution consiste à estimer les flux émis entre une origine et une destination. Dans une troisième étape, cette matrice de flux se répartit selon le mode de transport. Ces flux modaux sont

enfin reportés sur le réseau, c'est la phase d'affectation. Les quatre étapes correspondent ainsi à une combinaison de modèles spécifiques.

Si l'âge d'or des modèles classiques fut les années 1960 (Merlin, 1984), la décennie suivante a vu les critiques se multiplier à leur encontre dans une conjoncture économique où les restrictions budgétaires étaient de mise. A la fois rigides et lourdes dans leur fonctionnement, ces outils sont jugés trop coûteux pour effectuer des études courantes. En outre, en dépit du nombre important de données qu'ils rassemblent, ils restent trop imprécis en raison d'un niveau d'agrégation spatiale trop large. Deux autres critiques de cette méthode de prévision généralisée peuvent être retenues. D'une part, la représentation des comportements sous la forme de moyenne conduit les modèles à masquer l'hétérogénéité des habitudes de déplacement des ménages et des individus. D'autre part, la conception statique de ces modèles néglige les effets rétroactifs, alors que le résultat final peut réagir sur les trois étapes précédentes.

Malgré ces réserves, les modèles à quatre étapes restent largement utilisés en France et cela sous une forme quasi inchangée. Deux pistes de recherche ont tout de même été engagées afin de lever les difficultés (Ortuzar et al., 1994). Il s'agit tout d'abord des modèles interactifs où chaque étape est à même de rétroagir sur les précédentes à l'aide de boucles plus ou moins complexes (Raux et al., 1996). La seconde amélioration fut apportée par la prise en compte des comportements individuels grâce au développement des modèles désagrégés (Domencich et al., 1975).

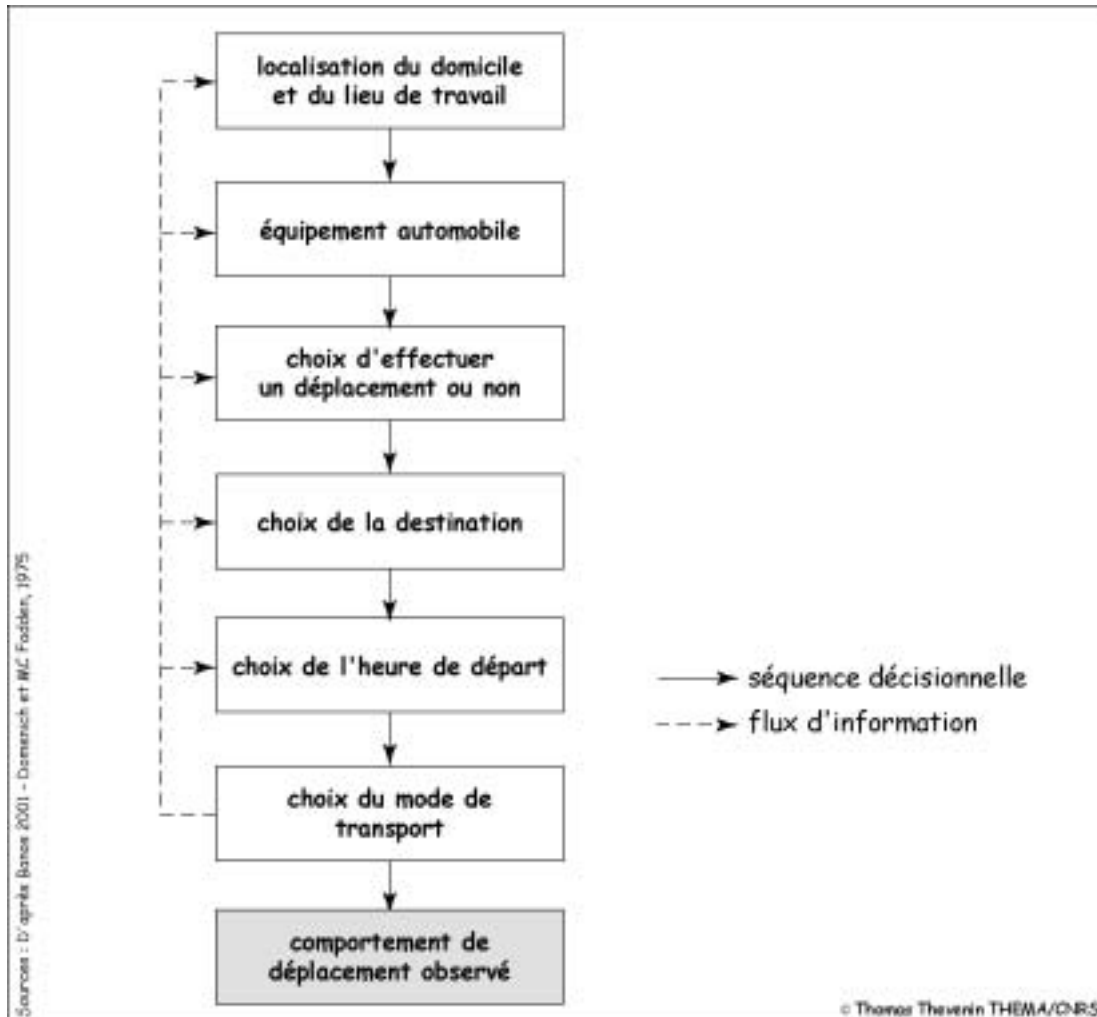
2.2. Les modèles de trafic désagrégés

Les années 1970 marquent une véritable rupture dans les méthodes de prévision de la demande de transport avec l'apparition des modèles désagrégés. Dans un contexte de crise économique, les pouvoirs publics s'orientent davantage vers une planification sur le court terme et souhaitent intégrer des données comportementales dans leur démarche pour pallier les défauts des modèles classiques. La caractéristique majeure des modèles désagrégés réside dans le changement d'unité d'observation, qui correspond non plus au comportement moyen d'un groupe de personnes mais aux habitudes individuelles de déplacement. Dans ces modèles, l'individu est amené à faire un choix parmi plusieurs possibilités. Il s'agit le plus souvent de déterminer le mode de transport optimal pour une personne et un déplacement donné.

Ce processus de choix est intégré dans le modèle à travers l'hypothèse qui fonde l'économie néoclassique. L'individu agissant de façon rationnelle est en mesure de classer les fonctions d'utilité de chaque possibilité et de choisir la solution la plus satisfaisante (Masson, 1998). Cette vision déterministe est remise en cause par les psychologues qui considèrent que le processus de choix s'effectue de façon probabiliste (Ben-Akiva et al., 1985). D'après ces auteurs, le choix modal d'un individu est en effet déterminé par des éléments directement mesurables comme le coût d'un voyage ou le temps d'un trajet ; mais il est aussi conditionné par des

paramètres plus aléatoires comme le confort ou le temps perçu pour effectuer une correspondance. La fonction d'utilité pour un individu donné est une combinatoire de ces composantes élémentaires de nature hétérogène.

figure 35 : Un exemple de processus décisionnel



Ces fonctions d'utilité aléatoire amènent à utiliser des modèles de choix probabilistes. Les modèles de choix discrets utilisés pour la modélisation des transports ont été spécifiés sous plusieurs formes ; le modèle "logit" reste le plus utilisé¹. Cette famille de modèles (figure 35) a récemment été mise à l'honneur puisque J. Heckman et D. Mc. Fadden ont reçu le prix Nobel d'Economie en 2000. L'ensemble du processus décisionnel est ici décomposé en une suite de choix élémentaires. Cette structure séquentielle n'est pas sans rappeler la forme du modèle classique. La différence est cependant bien réelle car chaque étape du processus de choix est à même de rétroagir sur les précédentes (Banos, 2001a).

¹ La formulation des différents modèles de choix discrets serait ici hors de propos, nous vous renvoyons ainsi à l'ouvrage de référence (Ortuzar et Willumsen, 1994) ou à un document de langue française (Quinet, 1998).

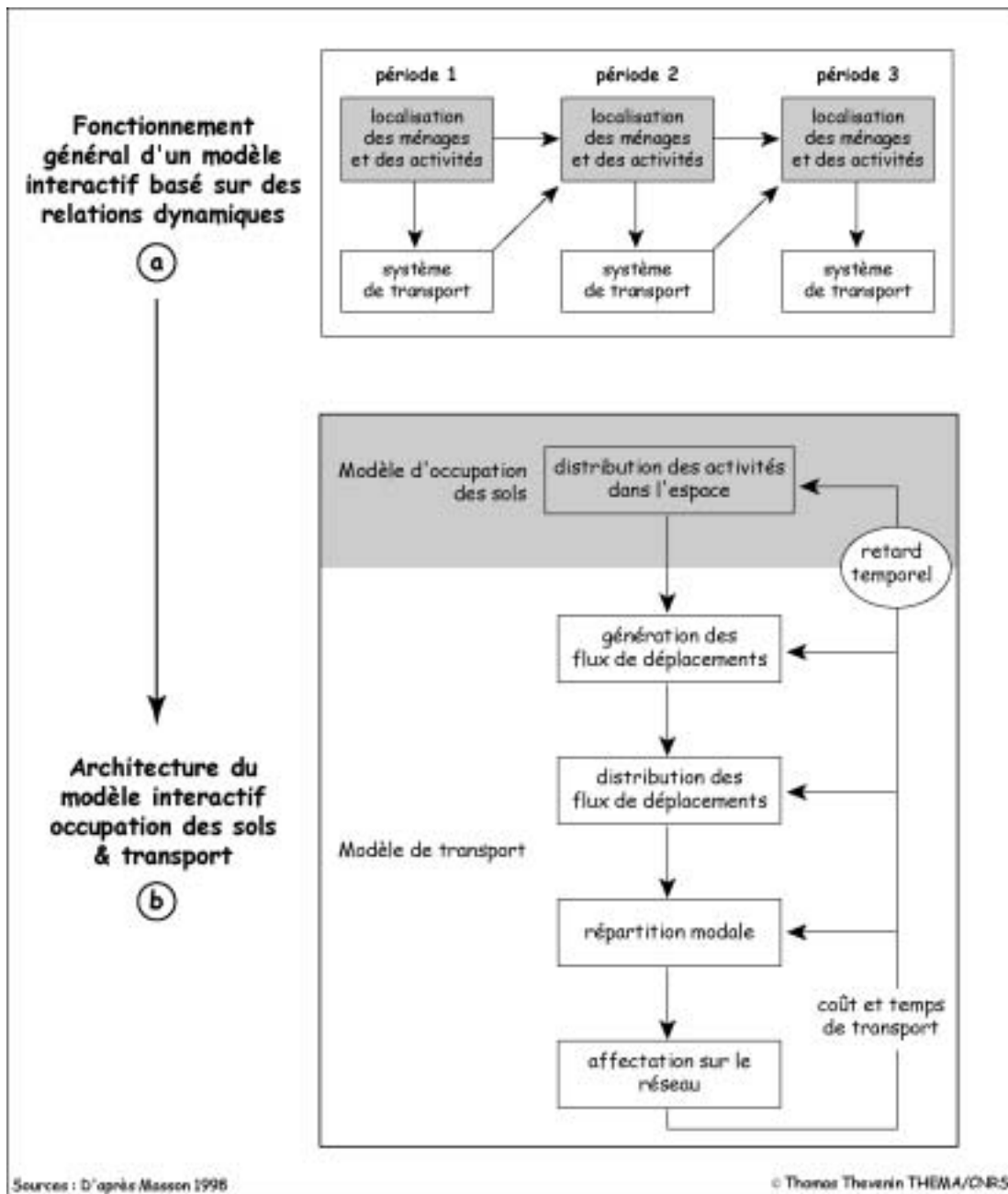
Les modèles désagrégés impliquent que des enquêtes soient effectuées auprès des usagers des transports, ce qui élève les coûts d'étude. Malgré ses avantages, cette méthodologie reste peu appliquée en France. Elle a toutefois permis d'améliorer les modèles classiques, grâce à la création *de modèle à quatre étapes hybrides* (ENPC, 1998). Ces modèles de seconde génération ont largement été repris par les différents logiciels disponibles dans le commerce, EMME2, MINUTP et TRIPS étant les plus diffusés (Thorlacius, 1998 ; Quinet, 1998).

2.3. Les modèles interactifs de localisation et de transport

L'évolution de la mobilité et les dynamiques urbaines ont contraint les pouvoirs publics à définir une planification sur le long terme, ce fut en France l'avènement des Plans de Déplacements Urbains (PDU). Dans cette optique, se sont ainsi développés les modèles interactifs de transport et de localisation des activités. Dans ces modèles, l'évolution des déplacements est appréhendée en tenant compte des tendances socioéconomiques, du développement des réseaux de transport et des caractéristiques de l'occupation des sols. L'objectif opérationnel visé est de tester, à l'échelle d'une région urbaine, l'impact des politiques en matière de développement du réseau de transports publics ou les conséquences de la modification du plan d'occupation des sols. Contrairement aux modèles classiques, la modélisation interactive transport/localisation est loin d'être généralisée. Ces deux modes sont en effet très différents tant dans leurs bases théoriques et techniques que dans leurs finalités opérationnelles. Toutefois, quelques grands principes leur sont communs.

A l'image des méthodes précédemment évoquées, les modèles interactifs appréhendent l'espace à travers une structure aréale et réticulaire. Le temps est décomposé en périodes d'une amplitude variable, de l'ordre de une à cinq années (Masson, 1998). Deux hypothèses peuvent être distinguées dans le processus de modélisation. La première postule que les activités en œuvre dans l'espace induisent de la demande de transport. En retour, la seconde hypothèse suppose que l'offre de transport conditionne ces mêmes activités. Une véritable relation dynamique s'établit entre le système de transport et l'occupation du sol qui signe les grandes classes d'activités et de fonctions. La figure 36a fait apparaître un feed back retardé : l'offre de transport à la période 1 affecte la localisation des activités et des ménages à la période 2. Dans une telle structure, la création d'une nouvelle ligne de bus va influencer la demande de déplacement de façon immédiate, tandis que la localisation des activités sera modifiée dans la période suivante. La structure des modèles de transport et d'occupation des sols repose sur l'intégration d'une cinquième boîte qui vient s'ajouter aux 4 étapes de départ (figure 36b). Ce type de démarche permet de prendre en compte les effets rétroactifs à chaque étape du modèle.

figure 36 : Description générale du modèle interactif transport/occupation des sols



Cette méthodologie bénéficie actuellement d'un accueil très favorable de la part des pouvoirs publics ; en témoigne la mise en place des Schémas de Cohérence Territoriale (SCOT) qui ont été récemment créés par la loi SRU et qui planifient les aménagements sur le long terme. Les objectifs opérationnels, poursuivis par les modèles interactifs localisation/transport, se heurtent au manque de données. Ces modèles exigent en effet de longues séries temporelles concernant la demande de déplacement et les marchés fonciers.

Malgré les progrès qu'apportent les modèles désagrégés, les modèles agrégés gardent la faveur des aménageurs car leur mise en œuvre, qui ne demande pas d'enquêtes spécifiques, est plus commode et moins coûteuse. Cela conduit à une approche très réductrice des problèmes de mobilité. A cet égard, le point de vue développé par les sciences sociales mérite d'être considéré.

3. La voie du renouvellement initiée par les sciences sociales

Les critiques sur les modèles classiques de prévision de la demande se sont multipliées à partir des années 1970, dans l'objectif de reprendre les comportements des individus et des groupes sociaux dans l'analyse de la mobilité quotidienne. Ce mouvement critique a été conduit par plusieurs disciplines des sciences sociales.

3.1. Les psychologues et l'approche par les attitudes

Les psychologues se sont intéressés aux problèmes de transport à partir des années 1970 dans les pays anglo-saxons principalement. L'objectif était de connaître, à l'aide de "mesures psychométriques", le comportement d'usagers confrontés au choix d'un mode de transport. Ces indicateurs s'appuient sur la théorie de la dissonance cognitive qui postule que les comportements antérieurs conditionnent de façon décisive les attitudes des individus (Kaufmann et al., 2000).

La décision de choisir un moyen de transport plutôt qu'un autre est liée aux contraintes de disponibilité. Pour W. Recker et T. Golob (1989), deux types de variables conditionnent le choix du mode de transport : d'une part les "antécédent variables" concernent le profil psychologique et économique des usagers et les caractéristiques des moyens de transport disponibles ; d'autre part les "process variables" considèrent l'attitude de l'usager par rapport à l'offre de transport.

Trois critiques sont adressées à cette approche par V. Kaufmann (2000). Tout d'abord, la position sociale de l'usager n'est pas prise en compte, or ce critère est décisif pour comprendre la formation des attitudes. Ensuite, la description des déplacements en termes d'horaire et d'itinéraire n'est pas précisée. Enfin, la troisième critique déborde du cadre de l'approche psychologique. En effet, l'influence du lieu sur le choix modal n'est pas ici étudiée. Malgré ces réserves, l'approche par les

attitudes a le mérite d'intégrer les représentations mentales dans le processus de décision, ce qui apporte un complément indispensable à l'approche strictement économétrique.

3.2. La sociologie des usages

En sociologie, les travaux sur la mobilité quotidienne se sont développés dans les années 1970-1980 (Offner, 1995). Les principaux résultats obtenus remettent également en cause les conclusions de la théorie économique néoclassique en montrant que les pratiques sociales peuvent compliquer les modèles établis.

A cet égard, les travaux de V. Kaufmann sur le report modal (2000, 2002) ont bien éclairé la situation. La démarche adoptée par ce chercheur s'inscrit dans trois champs de la sociologie : la sociologie urbaine, les inégalités sociales et la sociologie des technosciences. Deux hypothèses fondent ses recherches. La première postule que les pratiques modales ne peuvent être réduites à la simple volonté de minimiser les coûts et le temps de déplacement. Selon la seconde hypothèse, les pratiques modales résultent d'habitudes sociales qui privilégient l'usage d'un mode de transport donné. Ces hypothèses ont ensuite été testées et vérifiées à l'aide d'enquêtes comparatives. Au terme de son travail, V. Kaufmann (2000) établit la synthèse entre une sociologie des lieux qui différencie le quartier, la ville et une sociologie dynamique qui intègre la mobilité dans l'espace géographique.

3.3. L'approche Espace-Temps-Activité

Reprenant les apports de la psychologie et la sociologie, l'approche Espace-Temps-Activité s'est développée à partir des années 1970, en opposition aux modèles dominants issus de l'économie. M.G. Mc Nally (2000) prête à R. Kitamura la métaphore suivante à propos des modèles à quatre étapes : *"essayer d'analyser la mobilité à partir des seules observations de déplacement revient à essayer de comprendre le comportement d'une pieuvre en examinant uniquement ses tentacules"*. De nombreux auteurs ont en effet critiqué l'approche classique ; M.G. Mc Nally (2000) résume ainsi ces remarques en cinq points :

- L'enchaînement des activités au cours d'un même déplacement n'est pas considéré,
- Les déplacements ne sont pas situés dans l'espace et le temps,
- La représentation des comportements est trop simplifiée. Les fonctions d'utilité privilégient la compréhension du processus de décision, plutôt que de déterminer la complexité des contraintes qui délimitent le choix du mode de transport,
- Les relations entre les déplacements, les contraintes liées au mode de transport, le programme d'activités et les obligations personnelles ne sont pas précisées,

- Le processus de décision ne tient pas compte des interactions entre l'individu d'une part et les membres de son ménage, les informations disponibles et les habitudes de déplacement propres à la personne d'autre part.

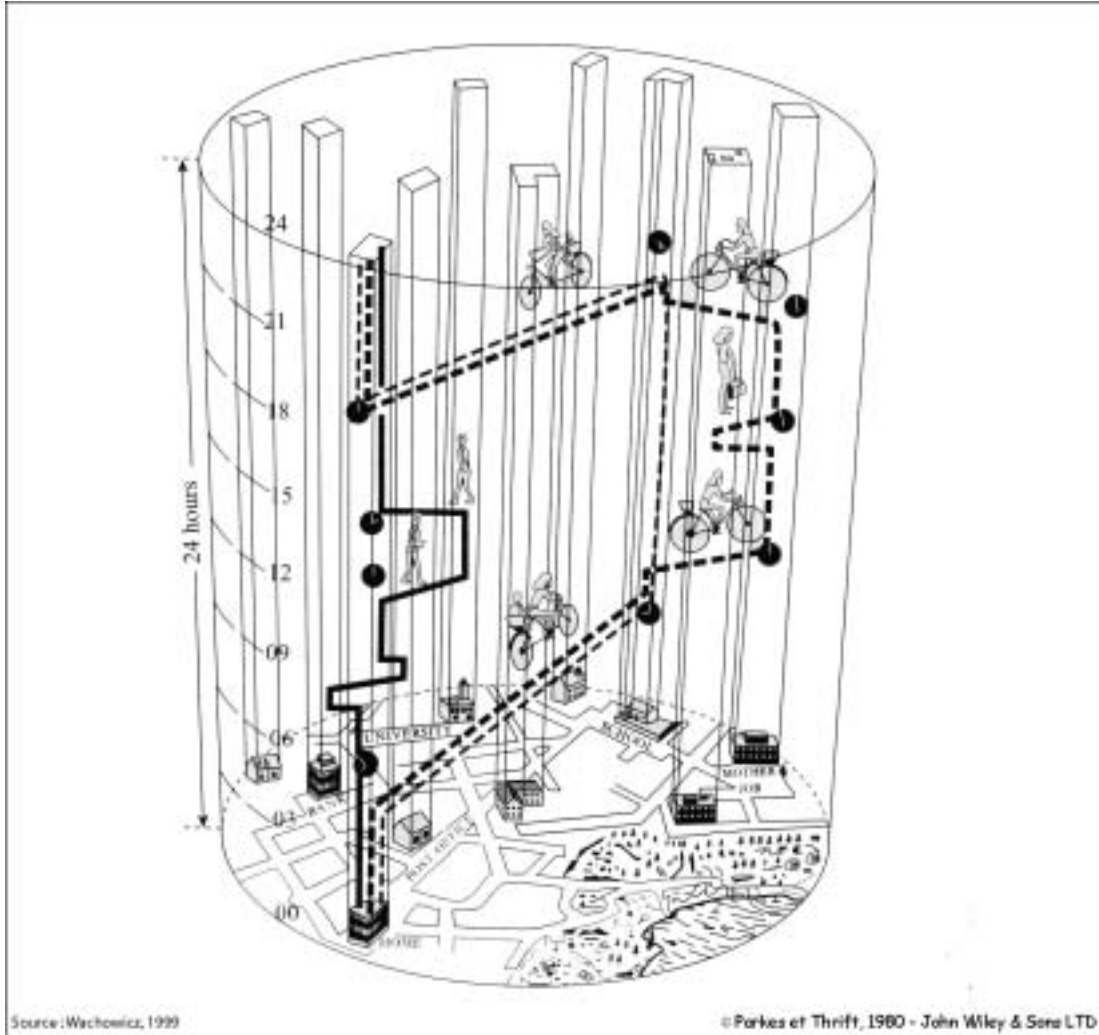
Fortement conditionnée par ces remarques, l'approche Espace-Temps-Activité veut *"replacer l'analyse des mobilités dans un cadre plus riche et plus holistique où chaque déplacement est analysé selon une ou plusieurs journées en fonction des différents modes de vie et des programmes d'activités de chaque personnes"* (Jones et al., 1990). Ce courant trouve ses origines dans des travaux issus de plusieurs disciplines des sciences sociales. T. Hägerstrand, le fondateur de la *Time geography*, a tout d'abord mis en évidence les relations entre le programme d'activités des individus et les contraintes liées à l'espace et au temps (Chardonnel, 1999). Le sociologue F. Chapin (1974) a identifié des catégories de comportements de déplacement dans l'espace et le temps tandis que M. Fried a mis en relation les groupes sociaux en fonction de certains programmes d'activités. Chacune de ces contributions a donné naissance aux premières études sur les programmes d'activités au TSU (Transport Studies Units) à Oxford (Jones et al., 1983). De cette diversité méthodologique et théorique ressortent cinq grands principes fédérateurs (Kurani et al., 1997 ; Mc Nally, 2000) :

- La demande de transport dépend du programme d'activités de la journée,
- L'unité d'observation de base n'est plus seulement envisagée comme un simple segment de déplacement, mais aussi comme une séquence composée de trajets,
- Les caractéristiques du ménage et sa position sociale influencent ses déplacements et les programmes d'activités,
- Les contraintes liées à l'espace, au temps, au mode de transport ainsi que les relations entre les personnes d'un même ménage conditionnent le programme des activités de celui-ci,
- Le programme d'activités doit être situé dans le temps et dans l'espace.

Ces bases théoriques ont permis d'imaginer et d'adapter plusieurs familles de méthodes d'une remarquable diversité. T. Hägerstrand et son équipe ont été les principaux instigateurs des méthodes de représentation et de simulation des programmes d'activités des personnes. L'objectif de cette équipe était de déterminer les possibilités de parcours en fonction des contraintes spatiales et temporelles. Dans ce but, le programme d'activités est projeté dans un graphique spatio-temporel à trois dimensions où l'espace est représenté dans les deux dimensions du plan et le temps défini par un axe vertical (figure 37). Cette structuration de l'information permet de localiser précisément les étapes d'un déplacement et de considérer le temps dans ses dimensions absolues et relatives. L'heure de départ, la durée, la fréquence, l'ordre de la séquence, tous ces éléments autorisent la constitution d'un cheminement spatio-temporel (Wachowicz, 1999). De la sorte, ces différents paramètres, associés aux contraintes propres aux modes de transport, permettent de déterminer, pour un

individu donné, des zones de parcours potentielles (figure 37) représentées sous la forme d'un prisme spatio-temporel (Lenntorp, 1976).

figure 37 : Un exemple d'une zone de cheminement potentiel



De nombreux chercheurs ont repris les concepts et les méthodes de la Time geography pour construire leur propre modèle. CARLA, modèle développé à Oxford (Jones et al., 1983), a été conçu pour déterminer le nombre de cheminements spatio-temporels qu'un individu peut suivre pour effectuer son programme d'activités. STARCHILD (Recker, 1986) reprend un certain nombre de principes de la Time geography et de CARLA afin d'analyser les programmes d'activités des ménages en fonction d'attributs aussi variés que la durée du parcours, les temps d'attente et les différents types d'activités. STARCHILD est considéré comme le premier modèle opérationnel de l'approche Espace-Temps-Activité, il a même été conçu pour satisfaire des objectifs de recherche (Mc Nally, 2000). Plus récemment, un modèle de micro-simulation, baptisé AMOS, a été utilisé pour analyser les programmes d'activités sur la ville de Washington (Kitamura, 1996). Dans le même temps, des approches économétriques ont été appliquées à Portland par J. Bowman et M. Ben-Akiva (1997) pour étudier les programmes d'activités au cours de la journée. Les mêmes auteurs enfin participent à l'élaboration du modèle Espace-Temps-Activité dénommé TRANSIMS dont l'objectif est de remplacer les outils de modélisation classiques. Ces différentes expériences montrent à quel point les principes de la Time geography tendent à se diffuser dans les démarches de modélisation des transports.

Les concepts et les méthodes proposées par les partisans de l'approche Espace-Temps-Activité semblent particulièrement adaptés pour considérer l'ensemble de la chaîne de déplacements dans l'espace et les temps. Le sociologue V. Kaufmann (2000) conclut ainsi *"l'approche Espace-Temps-Activité constitue la proposition alternative à la méthode classique la plus aboutie"*.

Conclusion

Cet état des savoirs a permis de mettre en évidence une sorte de clivage méthodologique et organisationnel entre les deux métiers majeurs impliqués dans les transports urbains. D'une part, les outils conçus pour le transporteur sont largement guidés par les prérogatives opérationnelles de gestion de la flotte de véhicules. Le bus, le tramway ou le métro sont les unités d'observation de référence, tandis que le temps (l'heure de passage des véhicules) est ici considéré d'une manière absolue. D'autre part, les modèles de prévision de trafic visent à répondre au besoin de planification des aménageurs. La forme agrégée étant la plus usitée, ces outils de modélisation considèrent l'espace à travers un zonage et seul le temps relatif (la durée moyenne d'un parcours) est pris en compte. Cette organisation sectorielle des outils et des méthodes ne permet pas d'appréhender le transport comme un système intermodal dont le fonctionnement résulte d'interactions entre offre et demande à des échelles spatio-temporelles variables.

Une première piste de recherche est ainsi envisagée à travers l'interopérabilité. Cette notion, préconisée par la Direction Générale des Transports de l'Union Européenne (CEN, 1995), vise à fédérer dans un système d'information intégré, les bases de données constituées sur les infrastructures par les transporteurs et les informations

collectées par les aménageurs sur la demande de déplacement. Ce recensement exhaustif des informations et leur mise en ordre ouvre une seconde piste de recherche qui autorise une analyse précise de l'ensemble de la chaîne de déplacements, à partir des concepts proposés par le courant Espace-Temps-Activité. Une telle approche exige des données désagrégées sur la localisation des activités, sur la structure des réseaux, la distance et la durée des déplacements (Shaw et al., 2000). Le volume et la diversité de ces informations posent le problème de leur stockage, de leur manipulation et de leur repérage dans l'espace et le temps (Frihida, 2001). Les Systèmes d'Information Géographique dédiés aux Transports (SIG-T) offrent des solutions que nous évoquons maintenant.

Chapitre 5

Les systèmes d'information géographique dédiés aux transports : la voie du renouvellement

Après avoir délimité le cadre théorique dans lequel nous souhaitons inscrire notre recherche, l'approche Espace-Temps-Activité, il s'agit maintenant de définir les outils nécessaires pour compléter les termes de notre projet. L'intérêt des SIG pour instrumenter les concepts requis a déjà été démontré et a donné naissance à une nouvelle classe d'outil apte à gérer puis à traiter les Systèmes d'Information Géographique dédiés au Transport (SIG-T) (Miller, 1991 ; Kwan, 1997, 2000a).

Ce deuxième chapitre pose les bases conceptuelles et techniques de la construction d'un SIG-T dédié à la gestion et l'analyse d'un réseau de transports publics intermodal pour une agglomération de taille moyenne. Nous rappellerons tout d'abord comment les SIG et la demande émanant des professionnels du transport se sont rejoins dans la création des SIG-T. Après avoir évoqué les perspectives d'évolution de ces outils, les principes de construction d'un SIG-T dédié à l'analyse des transports publics seront précisés.

1. L'apport des SIG dans le domaine des transports

Les SIG ont pris une place grandissante dans le domaine des transports depuis les années 1990, à tel point qu'un nouvel acronyme a été créé : le SIG-T (Thill, 2000 ; Dueker et al., 2000a). Reprenons les principales étapes de cette maturation.

1.1. Des Systèmes d'Information Géographique...

Le terme Système d'Information Géographique (SIG) souffre de certaines ambiguïtés qui tiennent à leur richesse fonctionnelle et à leur succès. La première d'entre elle vient de la diversité des appellations proposées pour désigner ce type d'outils. Les Systèmes d'Information du Territoire (SIT) ont fait l'objet d'une définition dès les années 1970 par la Fédération Internationale des Géomètres : *"Un système d'information du territoire constitue un instrument de décision dans les domaines juridique, administratif et économique, et une aide pour la planification et le développement ; il comprend d'une part, une base de données se rapportant au sol sur un territoire donné, et d'autre part, les procédures et techniques nécessaires à la mise à jour systématique, au traitement et à la diffusion des données"* (FIG 1981 cité dans Pantazis et al., 1996 p. 88). Par ailleurs, la notion de Système d'Information à Référence Spatiale (SIRS) a été proposée par plusieurs chercheurs québécois : *"un SIRS, c'est un ensemble de logiciels, d'ordinateurs et de périphériques graphiques. Un SIRS, c'est un ensemble de ressources humaines et matérielles coordonnées vers l'atteinte d'un objectif : mieux connaître le territoire. Il s'agit en fait d'une structure organisationnelle permettant une meilleure acquisition et communication des données sur le territoire"* (Gagnon et al., 1990 p. 388). L'expression SIG, plus générique et proche du sens attribué par les anglo-saxons au sigle GIS sera ici préférée (Pantazis et al., 1996). La seconde ambiguïté réside dans la difficulté de distinguer SIG-logiciel et SIG-projet (Laurini et al., 1992 ; Laurini 1996). Le SIG en tant que logiciel est un instrument capable de collecter, de gérer, de traiter et de représenter des données géographiques. Le SIG envisagé comme un projet dépasse la simple dimension matérielle du logiciel car il étend ses limites à la ressource humaine. Selon cette acception, le SIG implique de mettre en relation raisonnée hommes, données, procédures administratives ou tout autre besoin de gestion des informations. Nous ferons nôtre ce dernier point de vue.

Dans les SIG-logiciels, les données peuvent être gérées selon le modèle orienté-objet (Small-World) ou le modèle relationnel (Arc-Info, Arc-View ou Map-Info). Nous parlerons plus particulièrement de cette dernière catégorie au cours de cette recherche. Ce type de SIG-logiciel, majoritairement diffusé sur le marché, présentent généralement une structure en trois blocs (Longley et al., 2001). Tout d'abord, l'interface graphique est faite de menus déroulants associés à des palettes de fonctions. Puis, viennent se greffer les différents outils conçus pour faciliter la mise en forme des données. Une fois structurées, les informations sont ensuite traitées dans un système de gestion de base de données à l'aide d'un langage de requête.

figure 38 : Architecture et fonctionnement général d'un SIG-logiciel

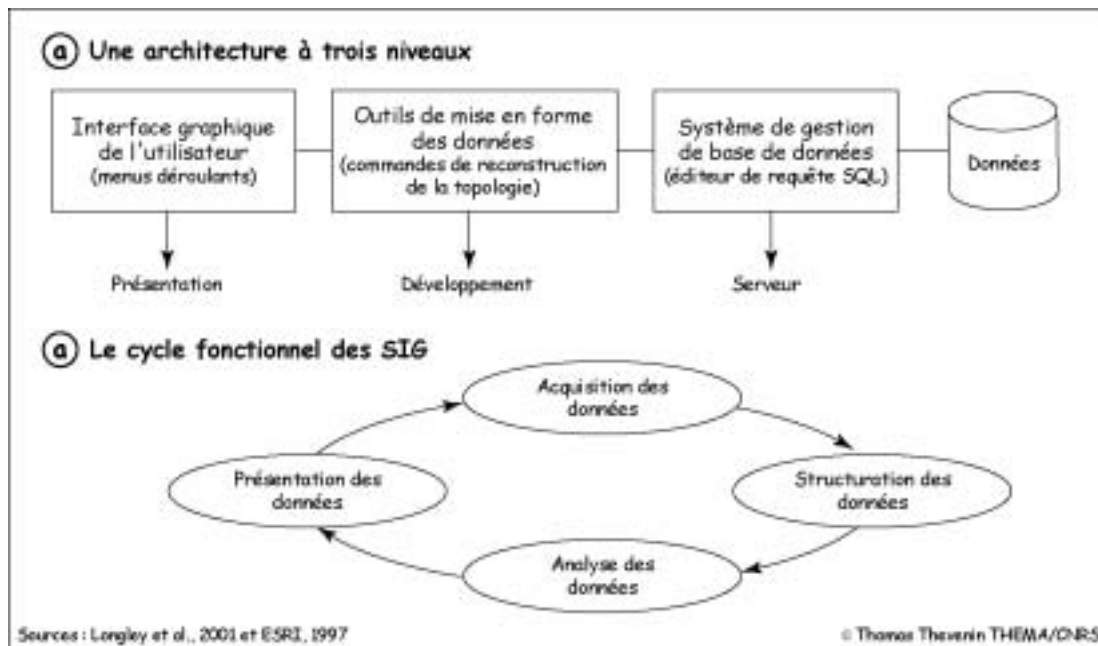
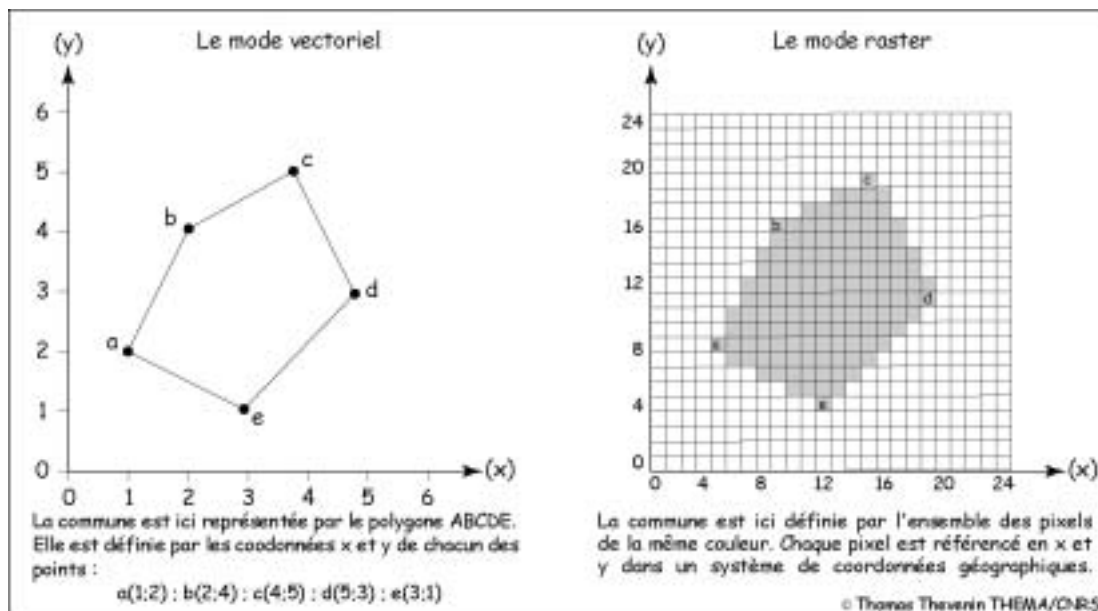


figure 39 : Deux modes de représentation d'une information géographique : l'exemple d'une commune

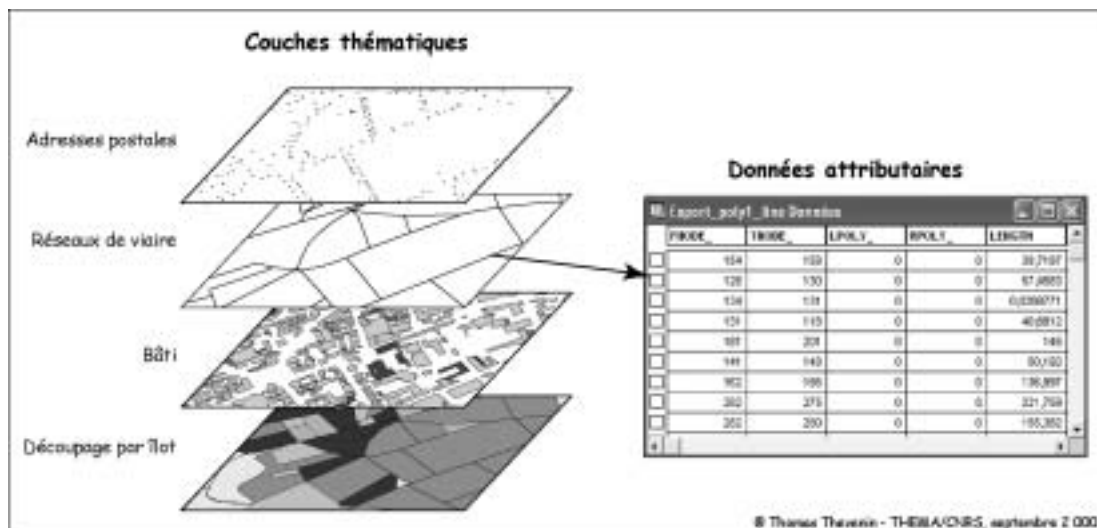


Dans la terminologie des systèmes d'information, cette organisation est dite "architecture à trois niveaux", couramment dénommés : présentation, développement, serveur de données (figure 38a). Cette structure à trois niveaux permet au SIG de remplir quatre principales catégories de fonctions (figure 38b). Chaque fonction correspond à une étape du traitement d'une information, on parlera

ainsi du cycle fonctionnel des SIG. La première concerne l'acquisition des informations spatiales. Ces dernières sont référencées dans un système de coordonnées géographiques et peuvent être représentées selon deux modes : le raster et le vecteur (figure 39). Dans les SIG en mode raster, le territoire est représenté sous la forme d'une matrice numérique. Les SIG vectoriels considèrent les objets géographiques selon trois symboles fondamentaux : le point, la ligne et le polygone. Les relations géographiques qui existent entre les objets d'une base de données intégrés dans un SIG sont fondées sur les concepts développés par une branche des mathématiques : la topologie.

La deuxième fonction permet de structurer les données en différentes couches thématiques, ce qui revient implicitement à construire un modèle de type cartographique. La notion de couche thématique désigne un plan sur lequel sont réunis des éléments géographiques de même type. La figure 40 fait apparaître les principaux thèmes utilisés par le service voirie de la ville de Besançon. A chaque thème est associé un fichier alphanumérique où les caractéristiques des objets géographiques correspondent à un enregistrement, c'est à dire à une ligne dans une table. L'information est ainsi structurée dans la géobase, en deux champs distincts décrivant d'une part, la position et la forme géométrique de chaque objet, et d'autre part les attributs de celui-ci.

figure 40 : Des couches thématiques et les données attributaires fréquemment utilisées dans le service voirie de Besançon



L'analyse de données spatiales constitue le troisième type de fonction. Les SIG autorisent la mise en œuvre de requêtes et de commandes afin de mettre en relation les informations d'une base de données. Trois catégories de requêtes peuvent être distinguées (Dueker et al., 2000a), leurs définitions respectives sont données par le tableau 10.

tableau 10 : Trois catégories de requêtes disponibles dans un SIG

| Type de requête | Exemple de requête |
|---|---|
| Requête sur les données spatiales | quels sont les bâtiments situés à moins de 1 kilomètre d'un supermarché ? |
| Requête sur les données attributaires | quels bâtiments sont résidentiels ? |
| Requête combinée sur les données attributaires et les données spatiales | quels sont les bâtiments résidentiels localisés à moins de 1 kilomètre d'un supermarché ? |

Ces requêtes sont complétées par des commandes capables de créer, de fusionner ou de mesurer des objets géographiques. Le tableau 11 présente quatre exemples d'application de ces commandes.

tableau 11 : Exemple de commandes utilisées pour l'analyse des transports dans un SIG

| Commande | Exemple de traitement |
|--------------------------------------|---|
| Agrégation des entités géographiques | Facilite le regroupement d'unités spatiales de petites tailles (les communes) dans des entités plus grandes pour construire un zonage adapté à l'analyse des transports |
| Mesure des entités géographiques | Permet de déterminer la distance entre deux points sur une carte ou de mesurer la surface d'une commune. |
| Création de zone tampon | L'aire de chalandise d'un arrêt de bus peut être déterminée en créant un cercle de 400 m autour de l'arrêt considéré |
| Overlay | Définit et mesure les caractéristiques des surfaces qui se situent à une distance donnée d'une ligne de bus |

La quatrième et dernière fonction rassemble les techniques de présentation des résultats. Les SIG proposent tout d'abord différents types de visualisation regroupant tous les modes de représentation requis par la sémantique cartographique. Des techniques de découpage en classes d'une distribution viennent compléter les ressources disponibles. Dans certains cas, des options statistiques plus ou moins complètes sont proposées pour optimiser la qualité de la visualisation. La carte produite peut ensuite être enrichie par incrustation d'habillage ce qui, dans notre cas, permet de montrer le système de transport dans son contexte géographique. La possibilité d'effectuer des zooms avant et arrière s'avère utile pour considérer le réseau de transport dans son ensemble ou à l'échelle d'un arrêt de bus.

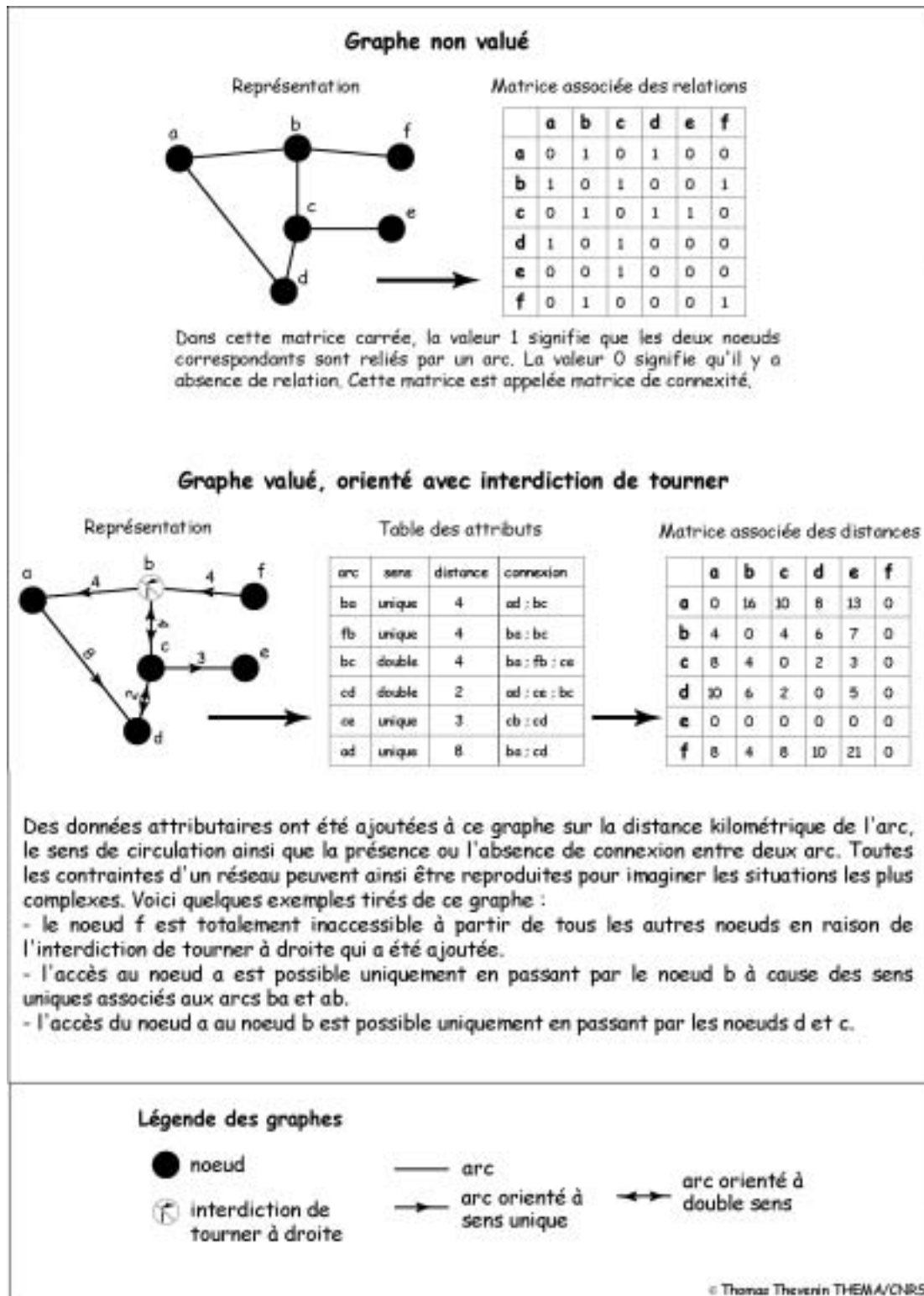
Acquisition, Structuration, Analyse et Présentation des informations constituent les quatre principales fonctions des SIG. Ces fonctions devront être adaptées aux besoins spécifiques des gestionnaires des déplacements à travers le développement des Systèmes d'Information Géographique dédiés aux Transports (SIG-T). Elles sont, par conséquent, des éléments structurants forts de notre projet.

1.2. ...aux Systèmes d'Information Géographique dédiés aux Transports

Les recherches sur les transports se sont intéressées très tôt aux SIG. Dès la fin des années 1950, un groupe d'étudiants en géographie quantitative de l'université de Washington (Goodchild, 2000a) a commencé les investigations sur le sujet. L'un d'eux, D. Marble, a poursuivi les travaux en développant une version initiale d'un SIG-T dédié au réseau de transport de Chicago. Au delà de ces recherches pionnières, il faudra attendre 30 ans pour que le SIG-T soit pleinement reconnu dans sa capacité à répondre aux besoins spécifiques du transport (Thill, 2000). Accompagnant la révolution technologique, ce regain d'intérêt pour les SIG est aussi lié, depuis le début des années 1990, aux pressions exercées par les institutions pour traiter les problèmes de transport par une approche partenariale. La loi sur l'air, qui exige la réalisation de plans de déplacements urbains dans les agglomérations de plus de 100 000 habitants, est à cet égard un bon exemple, puisqu'elle intègre à la fois l'Etat et les collectivités locales. Elle prend acte aussi des interdépendances entre intérêts économiques, sociaux et environnementaux. Aux Etats-Unis, le succès des SIG-T est maintenant relayé par une conférence annuelle assortie d'une littérature abondante. Prenant la mesure du phénomène, N. Waters (1999) a pu conclure : *"il est possible de constater sans équivoque que le SIG-T est arrivé, il représente maintenant le champ d'application le plus important dans la technologie des SIG"*.

Dans un numéro spécial de la revue Géoinformatica (2000) sur le lien entre les SIG-T et les systèmes de transports intelligents, M. Goodchild décompose l'évolution des SIG-T en trois étapes. La cartographie des réseaux a été effectuée dans un premier temps pour répondre aux besoins des aménageurs. De grands programmes ont ainsi été entrepris dans les pays industrialisés. La numérisation de toutes les rues des Etats-Unis a été réalisée dès la fin des années 1960, dans le cadre du programme DIME (Dual Independent Map Encoding), afin de référencer les résultats du recensement de la population de 1970. Le réseau a été organisé dès cette époque sous la forme d'un graphe composé d'arcs et de nœuds (figure 41). La structure de ce graphe est dite planaire, c'est-à-dire que l'intersection de deux arcs sur un plan ne peut se faire qu'en présence d'un nœud. Cette représentation topologique des réseaux a été reprise depuis par d'autres modèles de données. Il s'agit pour les plus connus de TIGER (Topologically Integrated Geographic Encoding and Referencing) aux Etats-Unis (Longley al., 2001) et du GDF (Geographic Data File), recommandé par l'Union européenne (CEN, 1995 ; Duecker et al., 2000a).

figure 41 : Deux générations de graphes



Le développement des outils d'aide à la navigation marque la seconde étape de l'évolution des SIG-T. Il s'agit à ce stade de proposer des dispositifs capables d'informer les usagers sur l'itinéraire optimal en fonction des contraintes de circulation. Les algorithmes issus de la théorie des graphes sont particulièrement adaptés pour déterminer le chemin optimal selon la distance kilométrique, le temps de parcours ou le coût du trajet. Ils exigent toutefois des informations enrichies pour représenter toute la complexité d'un réseau de transport. Le graphe planaire, utilisé dans les modèles de données évoqués précédemment, doit être complété par des données attributaires, notamment les sens de circulation et les autorisations de tourner à gauche ou à droite (figure 41). Viennent s'ajouter ensuite des attributs dynamiques, en particulier le niveau de saturation des axes de circulation et les vitesses de circulation en fonction des périodes de la journée. Deux contraintes, inhérentes aux propriétés du réseau, sont enfin à intégrer pour faciliter la navigation des usagers du transport. Premièrement, les personnes et les véhicules ne figurent pas nécessairement sur un réseau, les routes privées ou les parkings ne sont parfois pas représentés dans les bases de données. Les systèmes d'information destinés à guider les véhicules doivent prendre en compte ce problème. La deuxième contrainte concerne l'aide à la navigation qui exige l'intégration de l'ensemble des moyens de transport disponibles pour que la solution choisie soit la plus adaptée aux besoins de l'utilisateur. Ce dernier point relève directement de notre problématique de recherche.

Mise en avant par le courant Espace-Temps-Activité, la représentation du comportement d'objets discrets comme des véhicules ou des personnes est le troisième terme constitutif des SIG-T. Ces outils ont permis d'augmenter la taille des échantillons à enquêter et d'acquérir des informations plus riches sur les programmes d'activités des personnes, tout en participant à la diminution du coût de sondage. Une enquête, réalisée en 1998 à Montréal par l'équipe de R. Chapleau, a permis de géocoder les programmes d'activités de plus de 70 000 ménages par entretien téléphonique (Trépanier et al., 2001). Le suivi par GPS des personnes enquêtées permettra sans doute à terme d'améliorer la collecte des informations sur les séquences d'activités (Goodchild, 2000a). Cette évolution des techniques d'enquête nécessite toutefois le développement de méthodes de représentation et de visualisation compatibles ou directement intégrées à un SIG-T pour analyser ces données comportementales.

Les trois stades d'évolution des SIG-T peuvent être résumés comme suit. D'abord l'ère de la cartographie, dont l'objectif est d'inventorier les axes de communication, s'inscrit dans une perspective essentiellement statique. Ensuite, à cette vision géométrique du réseau, viennent s'ajouter des attributs d'ordre dynamique pour répondre aux besoins de l'aide à la navigation. Enfin l'intégration des processus dynamiques pour étudier les comportements de mobilité des individus constitue la troisième phase de la réflexion sur les SIG-T

1.3. Les SIG-T : entre besoins opérationnels et planification

Le passage d'une conception statique à une vision dynamique du système de transport a profondément marqué l'usage des SIG-T dans les différents métiers du transport. Outils de planification tout d'abord, les systèmes d'information géographique dédiés aux transports ont été utilisés pour structurer et visualiser les données issues des modèles de prévision de la demande. L'intégration d'attributs dynamiques, telles que les vitesses de circulation, a permis ensuite de répondre à des besoins opérationnels, comme l'organisation des horaires de passage des bus au cours de la journée. Le lien entre les TIC (Technologies de l'Information et de la Communication) et les SIG permet maintenant de satisfaire des besoins opérationnels en temps réel. Le tableau 12 présente quelques exemples d'application des SIG-T.

tableau 12 : L'usage des SIG-T : quelques exemples d'application

| Planification | Opérationnel | Opérationnel en temps-réel |
|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Estimation du trafic sur un espace donné • Etude d'impact environnemental • Estimation du risque routier | <ul style="list-style-type: none"> • Analyse des performances d'un réseau de transport pour une période donnée • Organisation des tournées des conducteurs | <ul style="list-style-type: none"> • Détection d'un incident sur le réseau • Aide à la navigation d'un véhicule (taxi, camion...) |

Le tableau 13 montre que la précision des informations varie fortement selon la nature du besoin opérationnel ou de planification. Les SIG-T utilisés pour la planification ne nécessitent pas forcément une représentation précise des données spatiales et temporelles. Destinée à faciliter la prise de décision à moyen et long terme, la mise à jour des informations s'effectue de façon irrégulière et peu fréquente. L'utilisation des SIG-T à des fins opérationnelles relève davantage des situations à résoudre sur le court terme voire en temps réel. Le contexte spatial et temporel nécessite un ajustement aussi fidèle que possible à la réalité et implique une mise à jour fréquente, régulière, voire en temps réel, des informations.

tableau 13 : Usage des SIG-T et précision des données

| | Planification | Opérationnel | Opérationnel en temps-réel |
|---|----------------------------|--|---|
| Aide à la décision | Long et moyen terme | Court terme | Immédiat |
| Précision des données spatiales et temporelles | Faible | Forte | Forte |
| Mise à jour des données | Variable et peu fréquente | Régulière et fréquente | Transmission des informations en continu |
| Visualisation du phénomène étudié | Statique : Cartographie | Semi dynamique : Animation d'une succession de cartes | Dynamique : Visualisation du phénomène en direct |

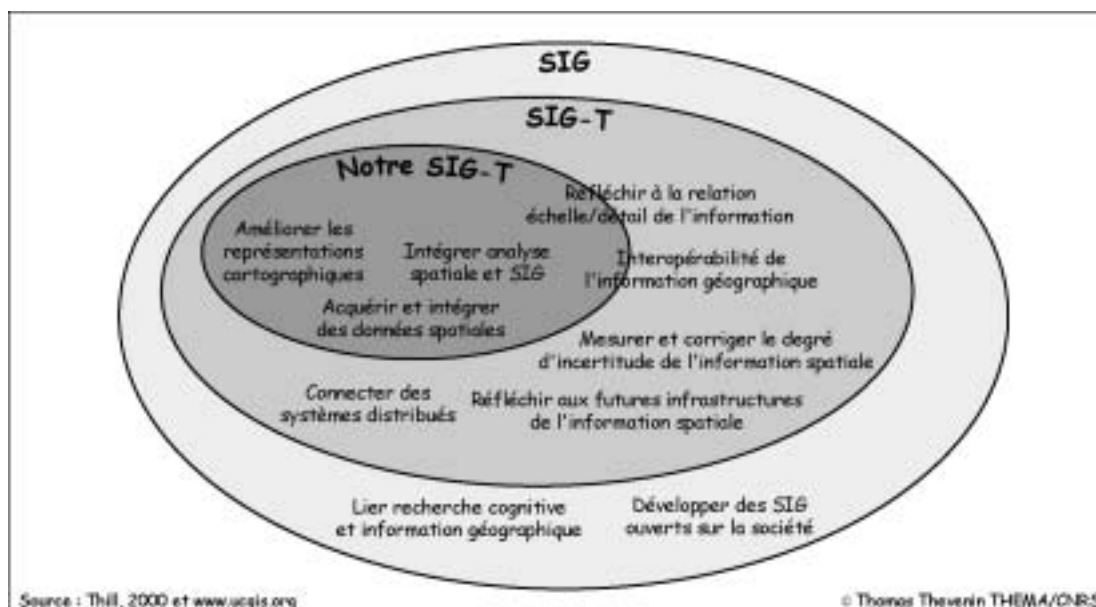
Source : Dueker et al., 2000 – Trepanier al., 2002

Conçues tout d'abord pour répondre à des objectifs de planification des aménageurs, les bases de données permettent maintenant aux SIG-T grâce à leur précision, de satisfaire les besoins opérationnels des exploitants. Cette évolution vient à point nommé pour accompagner l'objectif de notre travail qui veut appréhender les caractéristiques multimodales du système de transport dans l'espace et le temps, à l'échelle d'un déplacement ou à l'échelle de l'agglomération. Voyons maintenant quelles sont les perspectives qui s'ouvrent en la matière.

2. Les perspectives d'évolution des SIG-T

L'UCGIS¹ a défini en 1996 les perspectives d'évolution des SIG autour de 10 thèmes de recherches prioritaires. D'après J.C. Thill (2000), un grand nombre de ces objectifs concernent les SIG-T. La figure 42 permet de situer les trois termes d'évolution qui seront plus particulièrement développés dans le cadre des transports publics.

figure 42 : Les SIG-T fortement concernés par les dix thèmes de recherche prioritaires définis par l'UCGIS



¹ L'UCGIS est l'University Consortium for Geographic Information Science. Cette figure est une traduction qui reflète notre vision des enjeux des SIG, nous vous invitons ainsi à vous reporter à la version originale plus détaillée sur le site www.UCGIS.com et à l'article rédigé par J.C. Thill (2000).

2.1. Développer des modèles de données génériques

Les multiples acteurs des transports, évoqués dans la partie précédente, collectent chaque année de nombreuses informations sur les infrastructures, l'urbanisme ou la demande de déplacement. La gestion globale de la mobilité, imposée par les PDU, exige par conséquent la mise en commun des données. Or, les transferts d'informations entre les différentes organisations impliquées sont souvent ralentis, voire impossibles pour des raisons techniques. Une étude, commandée par la direction générale des transports de l'Union Européenne, a en effet révélé que les logiciels et les formats de fichiers sont souvent incompatibles et difficiles à unifier (CEN, 1995).

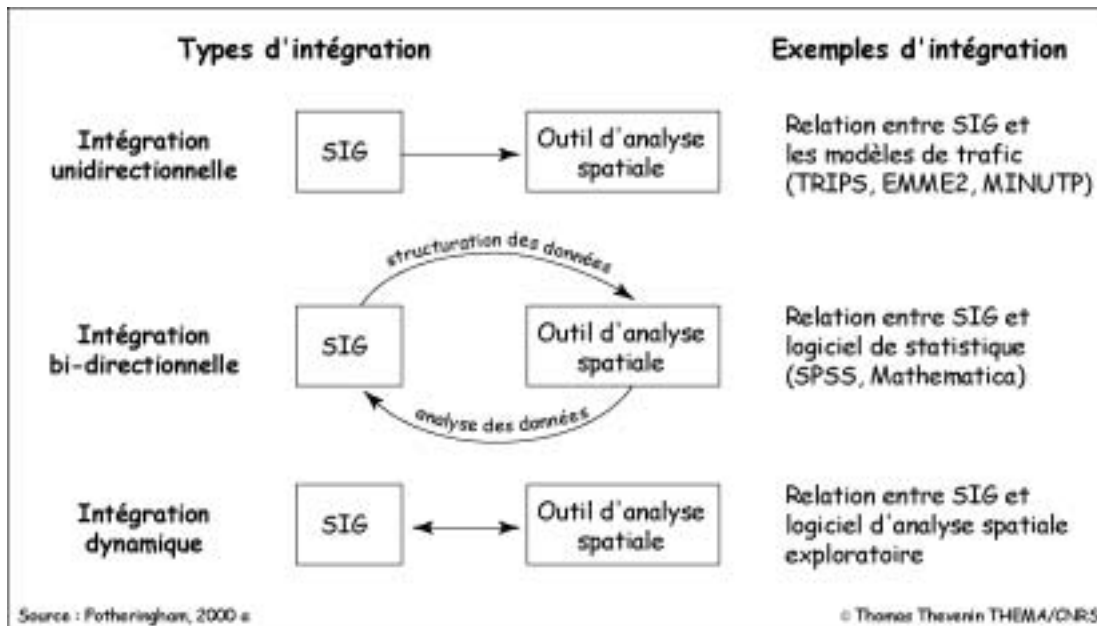
Le rôle attribué au SIG-T est d'intégrer les différentes bases de données et de les mettre à la disposition de tous les acteurs. Ce rôle fédérateur du SIG-T ne peut toutefois être assuré sans la définition précise d'un protocole de communication et d'échange des informations (Thill, 2000). Dans ce contexte, l'élaboration de modèles génériques est indispensable pour éviter des erreurs liées à la topologie ou à la formulation de certains toponymes (Goodchild, 2000). De plus, des outils spécifiques doivent être développés pour faciliter le transfert des informations et éventuellement détecter les incompatibilités. Un certain nombre de travaux de recherche ont été entrepris dans cette perspective ; trois exemples méritent d'être évoqués. Le LRS (*linear Location Referencing System*), développé pour stocker les informations sur les transports dans les logiciels commerciaux (Map Info, Arc view, notamment), évolue actuellement vers l'intégration de données en temps réel (Adams et al., 1998). K. Dueker et A. Butler (1998 ; 2000b) ont ensuite proposé une architecture dédiée au partage de l'information entre les applications et les autorités organisatrices de transport. Plus récemment, l'équipe de l'école polytechnique de Montréal a proposé un modèle de données adapté à la production d'informations aux usagers via internet (Trépanier, 2002). Ces propositions de modèles génériques permettront à terme de satisfaire à une des missions les plus importantes dévolues aux SIG-T : l'interopérabilité (Thill, 2000). Le premier enjeu pour les SIG-T consiste à faciliter la collecte des informations en proposant des modèles de données aptes à représenter l'organisation fonctionnelle du système de transport. Cette "normalisation" est essentielle pour améliorer l'interfaçage entre le SIG et les applications utilisées par les aménageurs et les transporteurs.

2.2. Faciliter les liens avec les techniques d'analyse spatiale

Les méthodes d'analyse spatiale proposées dans les SIG sont souvent insuffisantes pour répondre aux problèmes posés par les chercheurs, les aménageurs et les transporteurs (Thériault et al., 1999). Le développement de mécanismes d'échanges avec des logiciels de statistiques ou avec des outils utilisés par les spécialistes du transport devient ainsi impératif. Des démarches ont été entreprises à cet effet, avec la mise en place du logiciel INTRANS à Chicago pour étudier les données issues

d'un modèle de transport. Le SIG SPANS a été couplé plus récemment au logiciel de modélisation des trafics EMME2 dans l'Etat du Maryland aux Etats-Unis (Fotheringham, 2000a). Cette forme de transfert d'informations se réfère aux notions "d'unidirectionnalité" ou "d'intégration statique" proposées par L. Anselin et al. (1993 ; 2000). Le SIG structure ici les données d'entrées tandis que le modèle de prévision de trafic les traite.

figure 43 : Les trois niveaux d'intégration entre les logiciels de SIG et les outils d'analyse spatiale

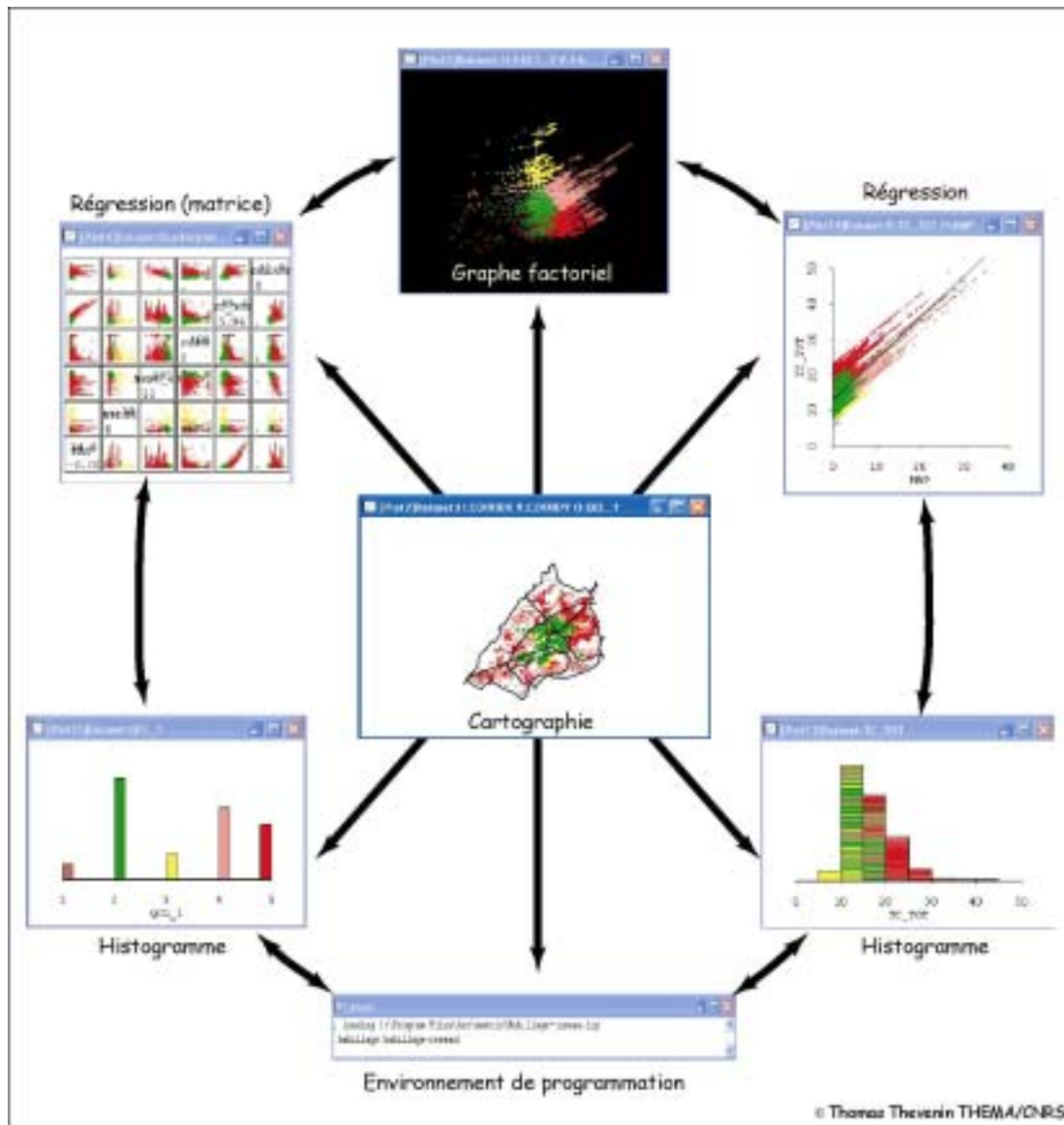


Le degré d'intégration entre SIG et méthodes d'analyse spatiale peut être enrichi par un lien bidirectionnel (figure 43). Les données issues du SIG sont traitées par un logiciel de statistique, puis les résultats sont importés dans le SIG pour effectuer la cartographie. Ce type de relation nécessite la création d'un menu spécifique proposant des formats d'échanges de données avec les SIG les plus diffusés, pour que le transfert d'information soit le plus fluide possible.

La combinaison la plus aboutie entre SIG et analyse spatiale réside dans une intégration dynamique entre ces deux grandes familles d'outils (figure 43). Les méthodes et les logiciels d'analyse spatiale exploratoire, fondés sur les travaux de J.W. Tukey, ont été en partie conçus pour répondre à ce besoin d'interactivité entre la carte et les graphiques statistiques (Tukey, 1990). Ce statisticien préconisait, dès la fin des années 1960, l'utilisation de l'informatique dans les statistiques à travers le développement d'interfaces facilitant la relation homme-machine. Les progrès de l'informatique ont facilité le développement de cette statistique visuelle, qui donne au graphique un rôle essentiel dans le processus d'analyse. S. Destandau (1999) déclare à cet effet que "la représentation graphique n'est pas seulement un moyen de regarder les données. Couplée avec l'interactivité, elle devient un outil puissant d'analyse". Dans cette perspective, l'utilisateur est considéré comme un individu actif

qui n'hésite pas à multiplier les hypothèses pour explorer un jeu de données. Cette multiplication des angles de vues nécessite cependant la mise à disposition de graphiques interactifs, dynamiquement reliés les uns aux autres (figure 44) (Banos, 2001a ; Josselin, 1999).

figure 44 : Un exemple d'environnement interactif : le logiciel d'analyse exploratoire XlispStat

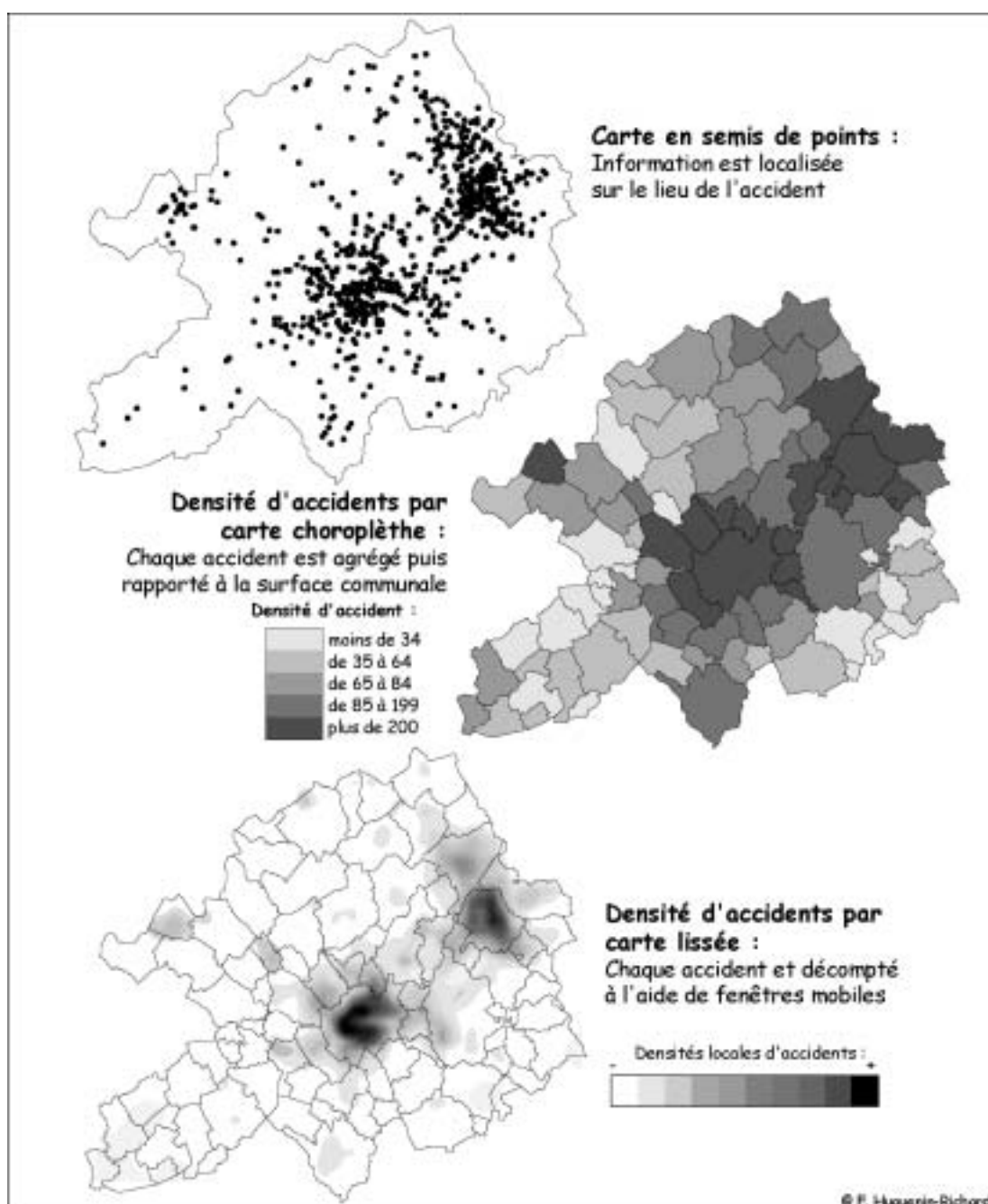


De nombreux travaux ont été développés dans le sens d'une interaction dynamique entre carte et graphique. Xia et Fotheringham (1993) ont réalisé un module d'analyse spatiale exploratoire lié aux SIG Arc Info ; d'autres applications ont été proposées depuis (Anselin, 1998 ; Banos, 2001b ; Brunson, 1998). Le développement d'environnements interactifs représente ainsi un terrain fertile pour les recherches dans le domaine de l'analyse spatiale et constitue le second enjeu pour le développement des SIG-T.

2.3. Proposer des outils de visualisation

L'acquisition d'informations spatiales et temporelles toujours plus riches sur les transports, associée au développement des techniques d'analyse nécessite une réflexion sur les modes de représentation à mettre en œuvre dans les SIG-T. Pour tirer parti de ces informations sans altérer le contenu initial, il s'agit de proposer des outils de visualisation capables de révéler les structures spatiales et les dynamiques qui animent le système de transport à l'échelle locale, tout en gardant une vision globale (Fotheringham, 2000b).

figure 45 : Trois modes de représentation des accidents



Disponible depuis la création des premiers SIG, la cartographie choroplèthe permet de faire émerger les structures spatiales dominantes. Celles-ci ne sont pas toujours lisibles quand elles se présentent sous la forme diffuse de mosaïques. Les méthodes de lissage, bien qu'elles ne soient pas nouvelles, ont été introduites très tardivement dans les SIG et nécessitent encore bien des améliorations. Ce processus de généralisation consiste à remplacer la valeur d'une entité géographique (les limites administratives d'une commune ou un point) par une valeur intermédiaire entre celle-ci et les valeurs prises par les entités voisines (Pumain et al., 2001). Le degré de généralisation varie selon la méthode et les facteurs de pondération employés¹. La figure 45, qui compare trois modes de représentation des accidents de la circulation sur la Communauté urbaine de Lille, montre l'aptitude de la carte lissée à faire apparaître les fluctuations de l'échelle locale à l'échelle globale. Tout d'abord, cette carte permet de constater les effets de site, comme la présence de nombreux accidents à proximité d'un carrefour fortement fréquenté. Ensuite, elle montre des phénomènes de plus large portée : par exemple une concentration d'accidents plus élevée dans les communes urbaines que dans les communes rurales. Pour D. O'Sullivan et al. (2000), le lissage spatial constitue le mode de représentation "naturel" pour cartographier des phénomènes continus comme le temps de parcours (carte isochrone) ou le coût du transport (carte isodapane) (Forer et al., 1981). Cette méthode peut s'appliquer aussi à la représentation de données socio-économiques, comme la densité de population, mais pour des échelles particulières.

La reconnaissance des configurations géographiques doit ensuite être complétée par une analyse dynamique du système de transport (Bailly, 2001). Or, les systèmes d'information géographique, dans la plupart de leurs formes actuelles, font appel à une structuration statique des données. Les dimensions spatiales sont en effet privilégiées au détriment de la dimension temporelle. La formalisation du temps dans les SIG mobilise ainsi l'attention de nombreux chercheurs informaticiens ou géographes (Cheylan et al. 1994 ; Langran 1993 ; Peuquet 1994 ; Claramunt et al. 1995 ; Wachowicz, 1999 ; Sanders, 1999). D. Peuquet (2001), dans un récent article, dresse un panorama des travaux en cours et propose des pistes l'avenir. La dimension temporelle est généralement figurée dans les SIG par l'empilement de couches qui correspondent à des états successifs. Cette structuration de l'information temporelle est très adaptée pour archiver les données chronologiques et repérer les dynamiques à une échelle globale. Elle doit toutefois être complétée par une représentation détaillée de la temporalité, lorsqu'il s'agit d'analyser les phénomènes à une échelle locale et de saisir des positions spatio-temporelles individualisées. L'enjeu est double : il consiste d'une part à fournir une représentation multiscalaire des phénomènes spatiaux à l'aide notamment des cartes lissées, il consiste d'autre part à offrir une lecture spatio-temporelle du système en mettant en évidence les phénomènes dynamiques, du local au global.

¹ L'influence des méthodes de lissage sur le résultat cartographique est discuté dans C. Grasland et al. 2001 et D. Pumain et al., 2001.

La normalisation, l'intégration et la représentation constituent de notre point de vue les trois termes majeurs de la construction d'un SIG-T dédié aux transports publics.

3. Vers la constitution d'un SIG-T dédié au transports publics intermodal : le SIG-TI

Les trois termes évoqués ci-dessus amènent maintenant à nous interroger sur les grands principes de construction de ce que nous appellerons désormais le SIG-TI, un Système d'Information Géographique dédié à l'analyse d'un réseau de Transports publics Intermodal. Quelles unités d'observation doivent être considérées ? Et quels sont les outils utiles au fonctionnement du SIG-TI ? En répondant maintenant à ces deux questions nous entendons établir le bien fondé de notre proposition.

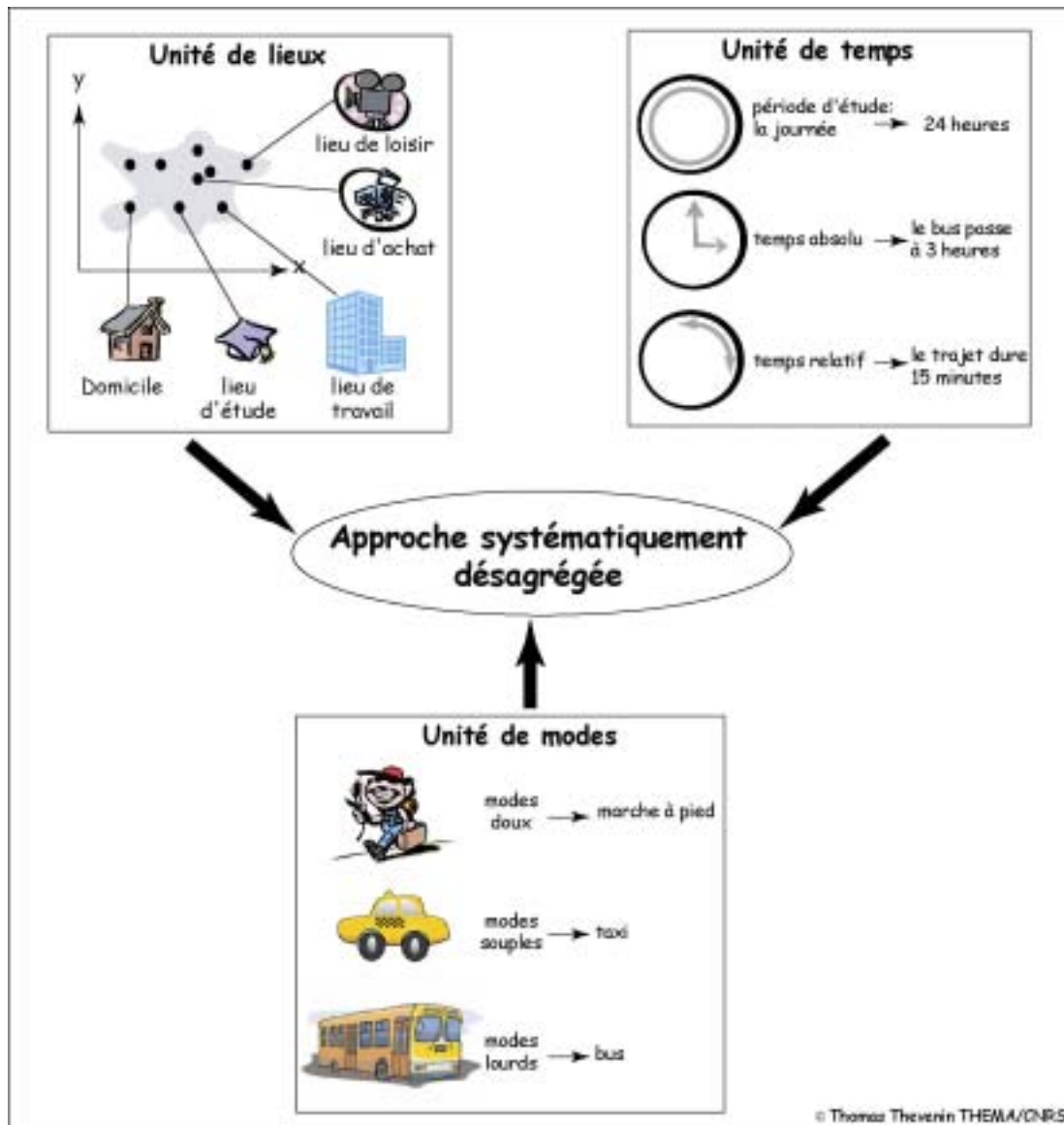
3.1. Une approche désagrégée du système de transport

Au chapitre précédent, l'intérêt de l'approche Espace-Temps-Activité par rapport aux modèles agrégés fut montré. Notre proposition de SIG-TI s'appuie sur les principes requis par le courant Espace-Temps-Activité, et plus particulièrement sur la constitution d'une base de données exhaustive sur le réseau et le territoire. Or, les informations d'ordre territorial, comme les données socio-démographiques ou les déplacements pendulaires, sont rapportées à un maillage administratif qui ne convient pas nécessairement à la réalité du phénomène étudié (Robert, 2001). Nous avons ainsi opté pour une désagrégation systématique des informations à intégrer dans le SIG-T. Cette démarche fait référence à "l'approche totalement désagrégée" proposée par l'école polytechnique de Montréal (Chapleau, 1992), qui se distingue des approches classiques par le référencement précis des informations qu'elle met en œuvre.

L'approche systématiquement désagrégée est envisagée selon la règle des trois unités d'observation (figure 46) :

- **L'unité de lieu** prend en compte le plus précisément possible l'espace qui supporte une activité humaine. Par exemple, le domicile, le lieu d'étude et de travail sont localisés individuellement par un système de coordonnées géographiques. Les caractéristiques socio-économiques sont redistribuées en fonction d'une règle de désagrégation préalablement définie.
- **L'unité de temps** concerne la journée. Les deux dimensions temporelles peuvent être ici appréhendées. Comme l'heure de passage d'un véhicule (la dimension absolue ponctuelle) et le temps de parcours passé à bord du véhicule (la dimension relative inscrite dans la durée).
- **L'unité de mode** se décompose en trois grands types : les modes doux (la marche à pied), les modes lourds ou réguliers (le bus) et les modes souples (le transport à la demande). La régularité des modes lourds permet de différencier chaque véhicule en circulation selon les horaires de passage aux stations.

figure 46 : L'approche systématiquement désagrégée : la règle des trois unités



L'intégration de ces trois unités d'observation dans le SIG-T permet ainsi d'analyser tous les maillons de la chaîne de déplacements dans l'espace et le temps.

3.2. Le SIG fédérateur d'outils

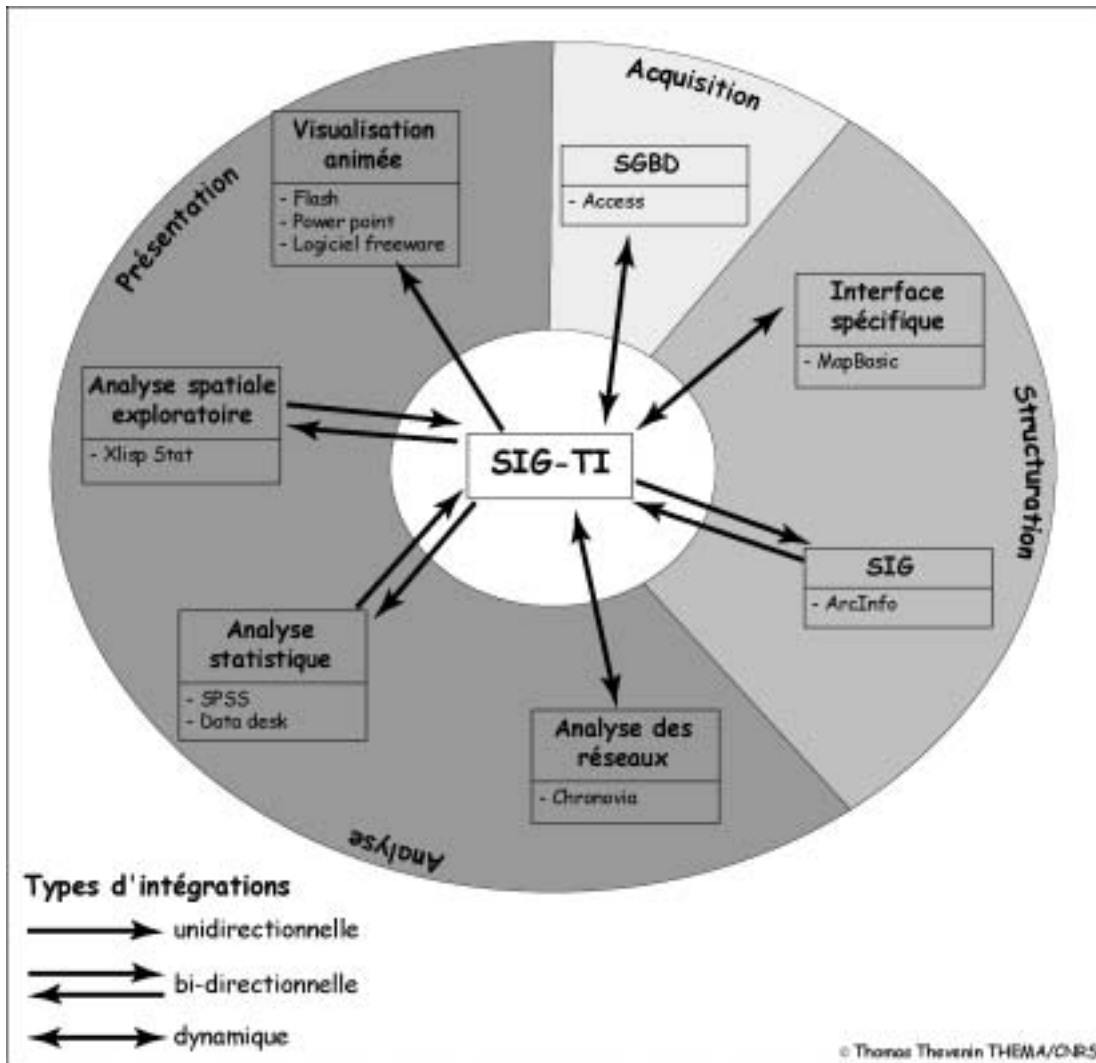
Après avoir défini les termes et les unités d'observation requis pour la construction du SIG-TI, il convient maintenant de déterminer les caractéristiques instrumentales. Notre attention s'est tout d'abord portée sur le choix du SIG. Deux grands types de logiciels sont habituellement distingués chez les utilisateurs. Le SIG "populaire", pour reprendre l'expression de M. Goodchild (2000b), est facile à manipuler et accessible à tous, comme MapInfo[®] ou ArcView[®]. Le SIG "élitiste" lui est davantage réservé aux spécialistes de l'analyse spatiale, qui savent mettre à profit tout ou partie des fonctions disponibles dans des logiciels aussi perfectionnés que ArcInfo[®] ou SmallWorld[®]. L'ambition de ce travail étant de répondre à des besoins opérationnels et de planification, notre choix s'est orienté vers un outil courant : MapInfo[®]. Ce logiciel est répandu dans les métiers du transport. Le Ministère de l'Équipement, par le biais d'une convention, recommande ce produit à ses Directions Régionales et Départementales (DDE, DRE). Depuis peu, MapInfo se diffuse aussi dans les compagnies de transports publics, puisque le groupe Kéolis, un des premiers transporteurs français, préconise son installation à toutes ses filiales. La compagnie des transports de Besançon n'a pas échappé à cette recommandation, puisqu'elle fut l'une des premières filiales du groupe à installer ce logiciel.

De notre point de vue, MapInfo semble conforme au cycle fonctionnel des SIG qui vise à faciliter l'acquisition et la structuration des données pour produire des analyses et présenter des résultats. Les quatre fonctions que nous avons identifiées nécessitent toutefois quelques développements complémentaires pour répondre aux objectifs qu'elles sous-tendent. Ainsi, après avoir mis en avant les aptitudes du SIG comme fédérateur de données, il s'agit maintenant de faire apparaître les capacités du SIG comme fédérateur d'outils.

La figure 47 permet de préciser le degré d'intégration de chaque outil selon la fonction qu'il occupe dans le SIG-TI. Précisons que le corps instrumental qui est ici proposé a fait l'objet de test et qu'il est opérationnel. L'acquisition de l'information est premièrement facilitée par un lien dynamique avec un Système de Gestion de Base de Données (Access) afin de faciliter la formulation de requêtes complexes et de créer des interfaces conviviales pour l'utilisateur. Les données sont structurées, dans un second temps, à l'aide de modules développés avec le langage de programmation propre à MapInfo : MapBasic. L'intégration est ici dynamique, mais elle nécessite souvent un détour par l'utilisation du SIG ArcInfo pour reconstruire la topologie des objets géographiques. La troisième fonction concerne l'analyse des réseaux ainsi que les outils de traitements statistiques. L'analyse de l'accessibilité constitue un élément essentiel de notre travail. Les calculs des distances et des temps de parcours sont ainsi effectués au sein de Chronovia. Ce logiciel, totalement intégré à MapInfo, permet de générer des matrices origine/destination en fonction des vitesses autorisées, des sens de circulation et des contraintes liées à la pente ou à la sinuosité du réseau. Ces informations, une fois constituées peuvent être traitées dans un

logiciel de statistique classique (SPSS) et par le logiciel d'analyse exploratoire Xlisp Stat (Tierney, 1990). Outre les multiples graphiques statistiques, des vues cartographiques peuvent être liées dynamiquement au sein de ce logiciel (figure 44 p.125). Un environnement de programmation, le Lisp, est ensuite disponible pour l'analyse des données et la recherche. La figure 44 (p.125) présente un extrait des différentes fonctions proposées dans XlispStat. Lié à la fois à l'analyse et à la présentation des résultats, un outil d'animation de cartes vient compléter le cadre fonctionnel du SIG-TI. Cet instrument a pour vocation d'offrir à l'utilisateur une vision globale des dynamiques tandis que le logiciel d'analyse spatiale exploratoire (XlispStat) est destiné à l'étude des phénomènes locaux. Cet outil de cartographie est directement intégré dans MapInfo. Nous n'excluons pas toutefois l'utilisation d'un logiciel spécifique d'animation pour garantir à l'utilisateur un affichage fluide.

figure 47 : Le SIG fédérateur d'outil



La désagrégation systématique de l'information et l'intégration d'outils périphériques constituent ainsi les deux fondements sur lesquels nous nous reposerons pour mener à bien la construction du SIG-TI.

Conclusion

Ce chapitre a montré les aptitudes du SIG-T à répondre aux besoins opérationnels et de planification des professionnels du transport. En termes de recherche, la diffusion des GPS et les technologies de l'information et de la communication ouvrent des perspectives d'évolution intéressante pour l'aide à la navigation et l'étude des comportements de mobilité. Trois pistes ont particulièrement retenu notre attention pour mener notre réflexion sur la constitution d'un SIG-T dédié à l'analyse des transports publics intermodaux. Premièrement, la définition d'un modèle de données générique est indispensable, pour que d'autres agglomérations puissent mettre en place un système d'information similaire. Deuxièmement, l'intégration d'outils d'analyse spatiale est nécessaire, afin de permettre des traitements statistiques complets. Enfin, comme les systèmes de transport évoluent au cours du temps, la troisième piste porte sur les outils de représentation aptes à révéler les dynamiques, à la fois à l'échelle locale et globale. Ces ambitions ont permis d'établir deux grands principes de construction. D'une part, nous nous efforcerons de respecter les règles de l'approche systématiquement désagrégée de l'information ; d'autre part, le cadre fonctionnel du SIG sélectionné (MapInfo) sera complété par des outils spécifiques, ouverts sur notre proposition de SIG-TI. Ayant fixé les principes méthodologiques et exposé les caractéristiques techniques du SIG-TI, nous passons maintenant à sa phase de mise en œuvre en prenant le cas d'une agglomération de taille moyenne.

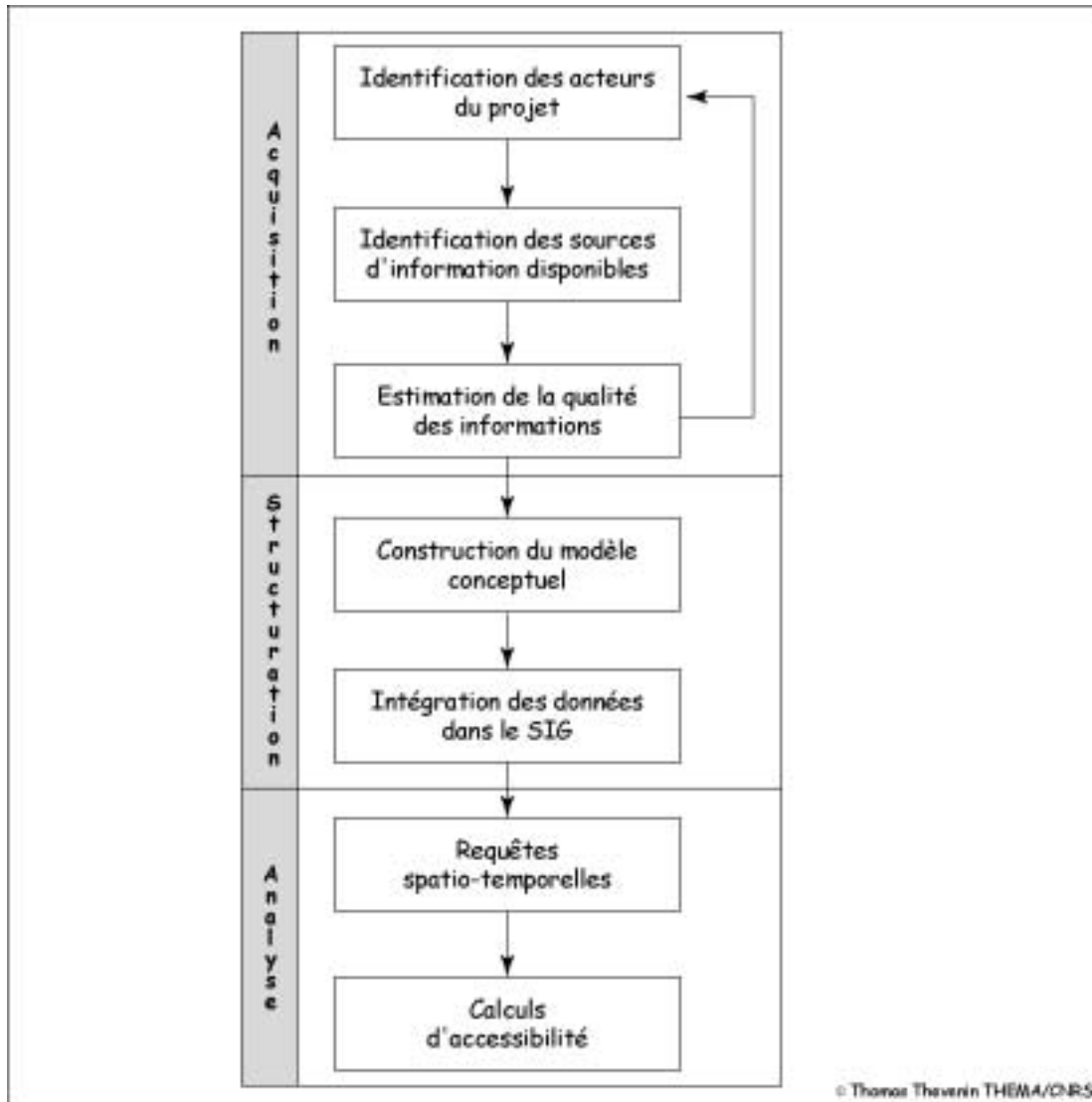
Chapitre 6

Proposition méthodologique pour la construction d'un SIG-TI

Une fois l'information sur le réseau constituée, l'objectif est de permettre aux compagnies de transport d'élaborer de nouveaux services intermodaux fondés notamment sur les transports à la demande. Les objectifs fixés pour la conception d'un SIG-TI semblent donc trop restrictifs pour suivre une "méta-méthode" de conception (Pantazi et al., 1996). Ce chapitre propose ainsi un cadre méthodologique général permettant de franchir les différentes étapes de la construction d'un SIG-TI.

La démarche se déroule conformément au cycle fonctionnel des SIG dont il a été question plus haut. La figure 48 décrit ainsi le parcours méthodologique de la construction d'un SIG-TI. Tout d'abord, l'acquisition des informations se décompose en deux étapes : il s'agit à la fois d'identifier les utilisateurs potentiels d'un SIG-TI et de déterminer les sources d'information pour développer ce dernier. Ensuite, la phase de structuration consiste à définir les méthodes d'intégration des données, puis à proposer un modèle conceptuel compréhensible par la majorité des partenaires associés au projet d'un SIG-TI. Enfin, l'analyse concerne les procédures de calcul ainsi que la définition d'un langage approprié pour décrire les composantes d'un réseau de transport intermodal dans l'espace et le temps.

figure 48 : Parcours méthodologique proposé pour la construction du SIG-TI

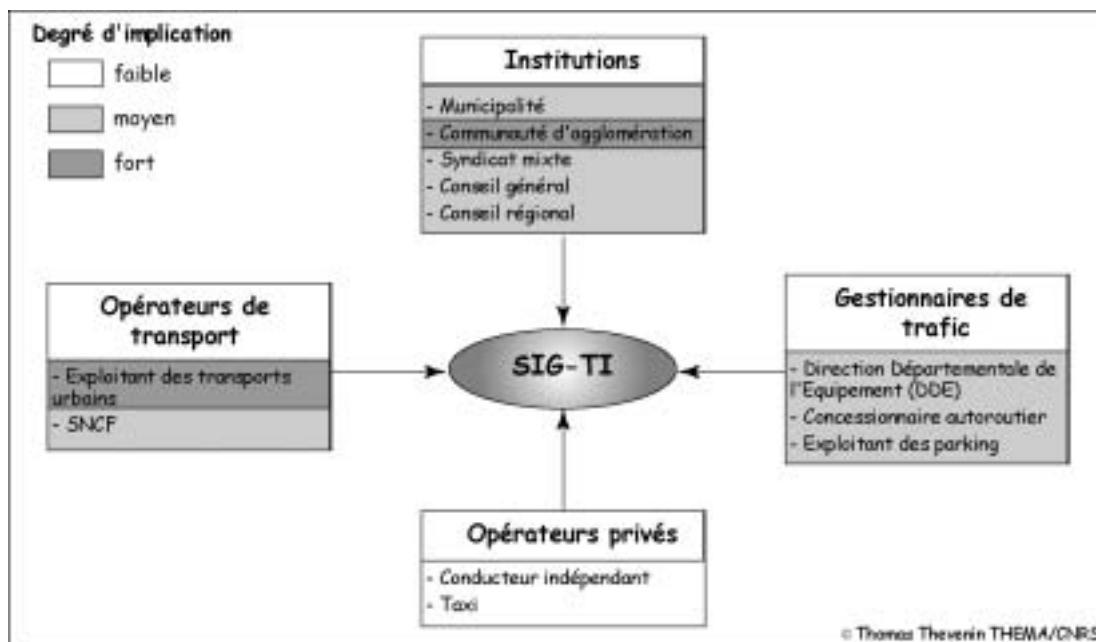


1. De l'acquisition...

1.1. Identification des partenaires d'un projet SIG-TI

L'élaboration d'un SIG-T Intermodal nécessite la participation de multiples partenaires issus des domaines public ou privé. La constitution de la chaîne d'information sur les déplacements implique quatre grandes catégories d'organismes (Bréheret et al., 2000) (figure 49) qui s'investissent d'une façon plus ou moins importante dans le projet.

figure 49 : Quatre catégories d'organismes potentiellement concernées par un SIG-TI



La figure 49 distingue trois grands degrés de participation :

- L'implication légère concerne les organismes exclusivement récepteurs d'information. Les taxis ou les transporteurs privés peuvent par exemple recevoir des instructions sur les itinéraires conseillés.
- L'investissement moyen correspond aux fournisseurs-récepteurs d'information. Les services de la Direction Départementale de l'Équipement peuvent par exemple communiquer les données du trafic routier. En retour, ils sont en mesure de recevoir des informations sur le taux de retard de certaines lignes de bus.
- Le degré de participation le plus fort concerne les organismes capables de recevoir, de fournir et d'organiser les informations. Deux organismes sont à même d'assurer ces trois fonctions. D'abord l'exploitant, une des attributions

de celui-ci est en effet de collecter des données sur les infrastructures et la clientèle des transports publics. Ce premier acteur a donc les compétences requises pour centraliser et traiter des informations. La Communauté d'agglomération ensuite puisque son rôle est de coordonner les différents opérateurs de transport.

La position centrale prise par la Communauté d'agglomération dans l'organisation des transports constitue une chance pour mettre en place un observatoire de la mobilité. Le SIG-TI devient alors un instrument privilégié pour centraliser et structurer des informations, non seulement sur les déplacements mais aussi sur des thèmes connexes comme l'implantation commerciale ou la qualité de l'environnement urbain. Un inventaire des informations disponibles sur l'agglomération est essentiel afin de garder une vision globale du système de transport.

1.2. Des informations utiles pour un SIG-TI

Les principes de construction du SIG-TI nécessitent la collecte d'informations spécifiques sur l'offre et la demande de transport. La seconde étape de ce protocole consiste ainsi à inventorier les informations disponibles sur l'aire d'étude afin de dresser une typologie. Trois grandes catégories de données peuvent ainsi être distinguées (tableau 14).

Les informations territoriales proviennent principalement du SIG des différents services des collectivités locales (municipalité ou Communauté d'agglomération). Une étude infra-urbaine sur la qualité d'un réseau de transport nécessite des données à l'échelle de l'îlot (Mondou, 2001). Très précises, elles sont difficiles à obtenir, surtout lorsqu'il s'agit des catégories socio-professionnelles. La signature d'une convention est par conséquent indispensable pour accéder à ce niveau d'information. Des bases de données cartographiques, disponibles à l'IGN, sont parfois nécessaires pour compléter les informations manquantes, dans les communes périphériques notamment.

Les informations sur le réseau sont fournies en partie par l'exploitant des transports urbains. Dans le cas idéal, les horaires de passage des véhicules sont disponibles dans un système d'information spécifique. La situation la plus défavorable consiste en revanche à saisir les horaires à partir d'une version papier du guide du voyageur. Ces horaires théoriques peuvent être complétés par des informations sur l'état du trafic sur le réseau. Pour les bus, les données peuvent être collectées en temps réel, pour les autres véhicules, par des comptages routiers mis à jour chaque année par les services de la Direction Départementale de l'Équipement.

**tableau 14 : Typologie des informations nécessaires
à un projet de SIG-TI**

| Type | Source | Nom de la base | Description | Système d'information | Information temporelle | Information spatiale |
|-------------------|--------------------|--------------------------|---|---------------------------------|------------------------|----------------------|
| Réseau | Transports urbains | Base de données horaires | Horaires théoriques de passage des bus | Système d'aide à l'information | √ | |
| | Transports urbains | Station | Position en x et y des stations | Système d'aide à l'exploitation | | √ |
| | Transports urbains | Base de données horaires | Horaire de passage des bus en temps réel | Système d'aide à l'exploitation | √ | |
| | DDE | Comptages | Trafic journalier moyen sur la voie | Modèle de trafic | | √ |
| Territoire | Municipalité | Voirie | Statut administratif de la voie, nombre de files... | SIG | | √ |
| | Municipalité | Bâti | Localisation du bâti | SIG | | √ |
| | Municipalité | Ilot | Population, âge, PCS | SIG | | √ |
| | Municipalité | IRIS | Unité administrative de 5 000 habitants minimum | SIG | | √ |
| | Municipalité | Points postaux | Adresses postales référencées en x et y | SIG | | √ |
| | IGN | BD carto | Fonds cartographiques | | | √ |
| Demande | INSEE | SIREN | Fichier des effectifs salariés | SGBD | | |
| | INSEE | RGP | Recensement de la population | SGBD | | |
| | INSEE | MIRABELLE | Fichier des migrations alternantes | SGBD | | |
| | | Enquête ménage | Enquête sur la mobilité des ménages | SGBD | | |
| | Rectorat | | Effectifs scolaires | SGBD | | |
| | France Télécom | Pages jaunes | Adresse des commerces | Internet | | |
| | Transports urbains | Enquête montée/descente | Enquête sur la fréquentation des TP | SGBD | | |
| | SNCF | ARISTOTE | Ventes de billets | SGBD | | |

Les données sur la demande de transport sont essentiellement issues d'enquêtes. En plus des données socio-économiques sur la population, les bases de données produites par l'INSEE permettent d'obtenir maintenant des renseignements plus précis sur les motifs et les modes de déplacement (fichier des migrations alternantes) ainsi que sur les caractéristiques des entreprises (fichier SIREN). Ces informations sont nécessairement complétées par des enquêtes spécifiques sur les comportements de mobilité des ménages ou sur la fréquentation des lieux générateurs de trafic comme les hôpitaux ou les établissements scolaires. Des données sur la clientèle des services de transport peuvent être ajoutées mais elles sont particulièrement difficiles à obtenir.

Ces bases de données ont été conçues pour satisfaire des objectifs propres à chaque organisme et pour être intégrées dans des logiciels spécifiques. Ainsi les informations disponibles sont le plus souvent stockées dans des formats propres, les rendant incompatibles les unes avec les autres (CEN, 1995). Un travail de structuration des données est donc indispensable pour constituer un système d'information unique.

2. ...à la structuration des données

La structuration de ces trois types d'informations nécessite la mise en œuvre d'une base de données spécifique capable de considérer la demande et le réseau de transport dans l'espace et le temps. A cette fin, il convient d'établir un modèle conceptuel intégrant toute la complexité du corpus rassemblé. Cette modélisation a fait l'objet d'un récent article réalisé en collaboration (Thevenin et al., 2002).

2.1. Modélisation conceptuelle d'un réseau de transport intermodal

Cette phase implique que soit précisées les relations entre des informations de différente nature. Une sémantique suffisamment riche doit être établie pour que le système d'information soit capable d'assister les aménageurs et les transporteurs dans la conception et l'exploitation de nouveaux services de transport intermodaux. Le contexte interdisciplinaire de cette recherche nous a ainsi incité à utiliser le formalisme UML (Booch et al., 1999, Muller et al., 2001) largement diffusé depuis 1996 en informatique et dans les domaines connexes comme la géomatique (Longley et al., 2001)¹. Ce langage a par ailleurs été éprouvée sur des problématiques similaires (Fauvet et al., 2001).

La figure 50 présente très sommairement les principales classes d'information du modèle, qui sont au nombre de trois et qui ont fait l'objet de trois sous-modèles :

¹ Les termes spécifiques au langage UML ont été détaillés dans un glossaire dans l'annexe 3

- Le sous-modèle *Demande* rassemble les informations sur la population résidentielle (classe Population), les effectifs des entreprises (classe Travail) ainsi que sur les établissements scolaires et universitaires (classe Etude).
- Le sous-modèle *Territoire* décrit le contexte géographique des données. Il rassemble des entités spatiales tels que les îlots ou autres entités administratives (classe Ilot), le bâti résidentiel (classe Bâti), les points postaux (classe Point Postal) et la voirie (classe Voirie). L'îlot constitue un groupe de maisons ou de bâtiments, c'est pourquoi la classe Ilot est une classe définie comme une composition d'objets de la classe Bâti.
- Le sous-modèle *Réseau* regroupe les classes destinées à la modélisation des trois modes de transports considérés dans le système : la marche à pied (classe Réseau Piéton), le TAD (classe Réseau TAD) et le bus (classe Réseau Bus).

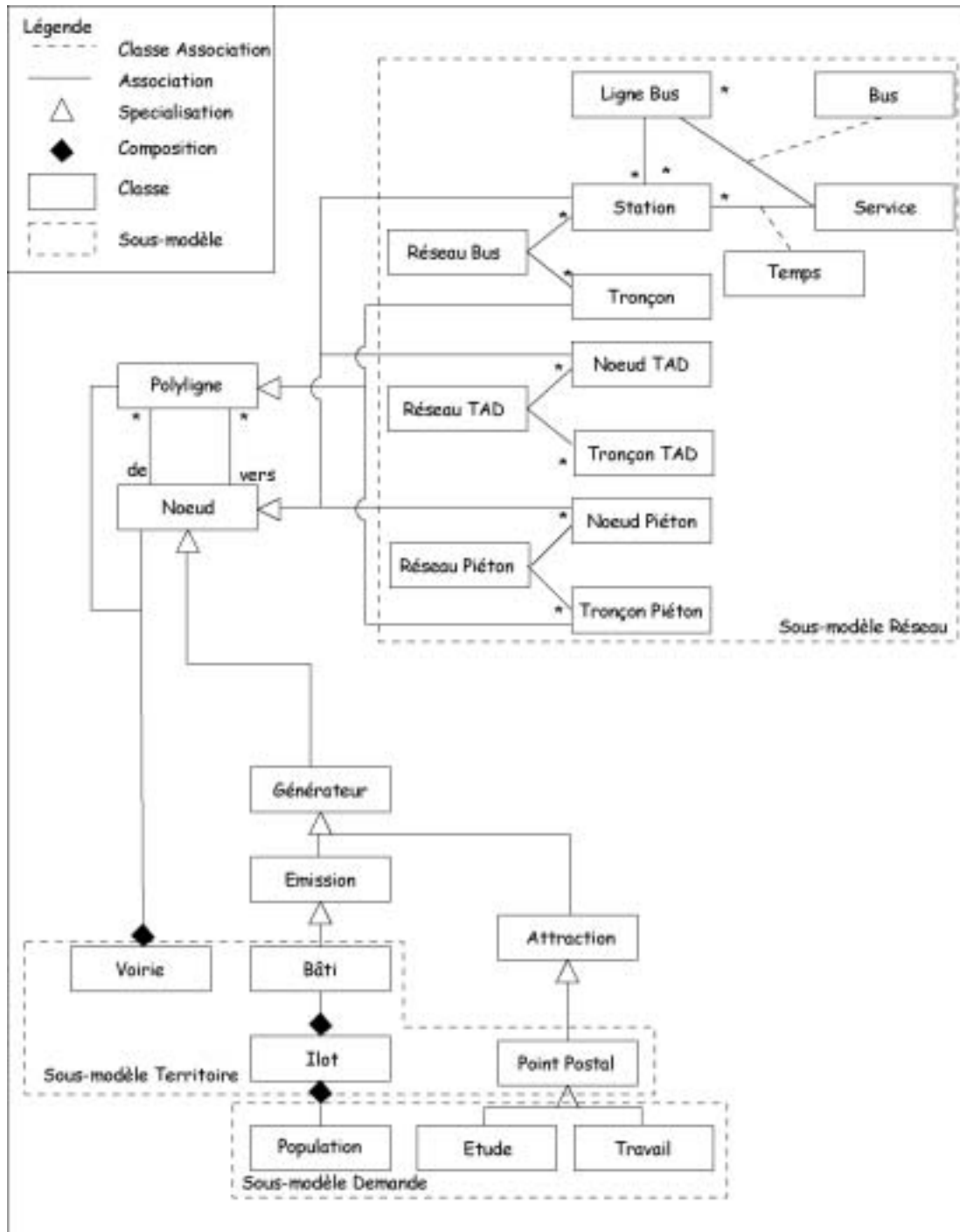
Ces trois sous-modèles ont été mis en relation selon trois procédés distincts. Premièrement, les associations entre les deux sous-modèles Demande et Territoire correspondent aux opérations de localisation de la demande. Ainsi, les classes Travail et Etude héritent de la classe Point Postal. Une association de type composition a été définie entre les classes Ilot et Population afin de rassembler la population résidente à l'échelle de l'unité administrative "îlot". La composition d'objets Bâti en un objet Ilot est définie par des règles de redistribution de la population détaillées à la section suivante.

Deuxièmement, les associations entre les sous-modèle Réseau et Territoire se rapportent à la classe Voirie. Cette dernière constitue le support de l'ensemble des modes de transport ici considérés. La classe Voirie est composée de nœuds et de polygones (classes Polygone et Nœud), et les relations topologiques du réseau sont modélisées par les associations *de* et *vers*. L'intermodalité entre les réseaux est assurée par le fait qu'un nœud du réseau de voirie peut être à la fois un nœud de TAD et une station de Bus ou encore un nœud Piéton. En effet, dans le diagramme proposé Figure 4, les classes Station (du réseau Bus), Nœud TAD (du réseau TAD) et Nœud Piéton (du réseau Piéton) héritent de la classe Nœud (du réseau Voirie). De même, les classes Tronçon (du réseau Bus), Tronçon TAD (du réseau TAD) et Tronçon Piéton (du réseau Piéton) héritent de la classe Polygone. Considérant ces spécialisations comme non disjointes, un objet de la classe générique Nœud peut appartenir à plusieurs des sous-classes. Par exemple, un objet appartenant aux deux classes Nœud TAD et Station représente un point de correspondance entre les modes de transport Bus et TAD.

Troisièmement, des classes additionnelles ont été introduites. La classe Emission, qui généralise la classe Bâti, permet de modéliser les points de l'espace qui émettent des déplacements comme le domicile. La classe Attraction, qui généralise la classe Point Postal, représente quant à elle les points de l'espace qui attirent des déplacements, plus précisément les lieux de travail ou d'étude (Chapleau et al., 1998). La classe Générateur est finalement introduite comme super-classe intégrant les deux

précédentes. Cette terminologie est couramment employée à la fois chez les transporteurs et les géographes. Le diagramme de classes UML ainsi constitué permet ensuite de définir les méthodes d'intégration des données relatives à la demande et aux différents réseaux de transport présentés dans le modèle.

figure 50 : Le modèle conceptuel pour un SIG-TI



2.2. Intégration de la demande de transport

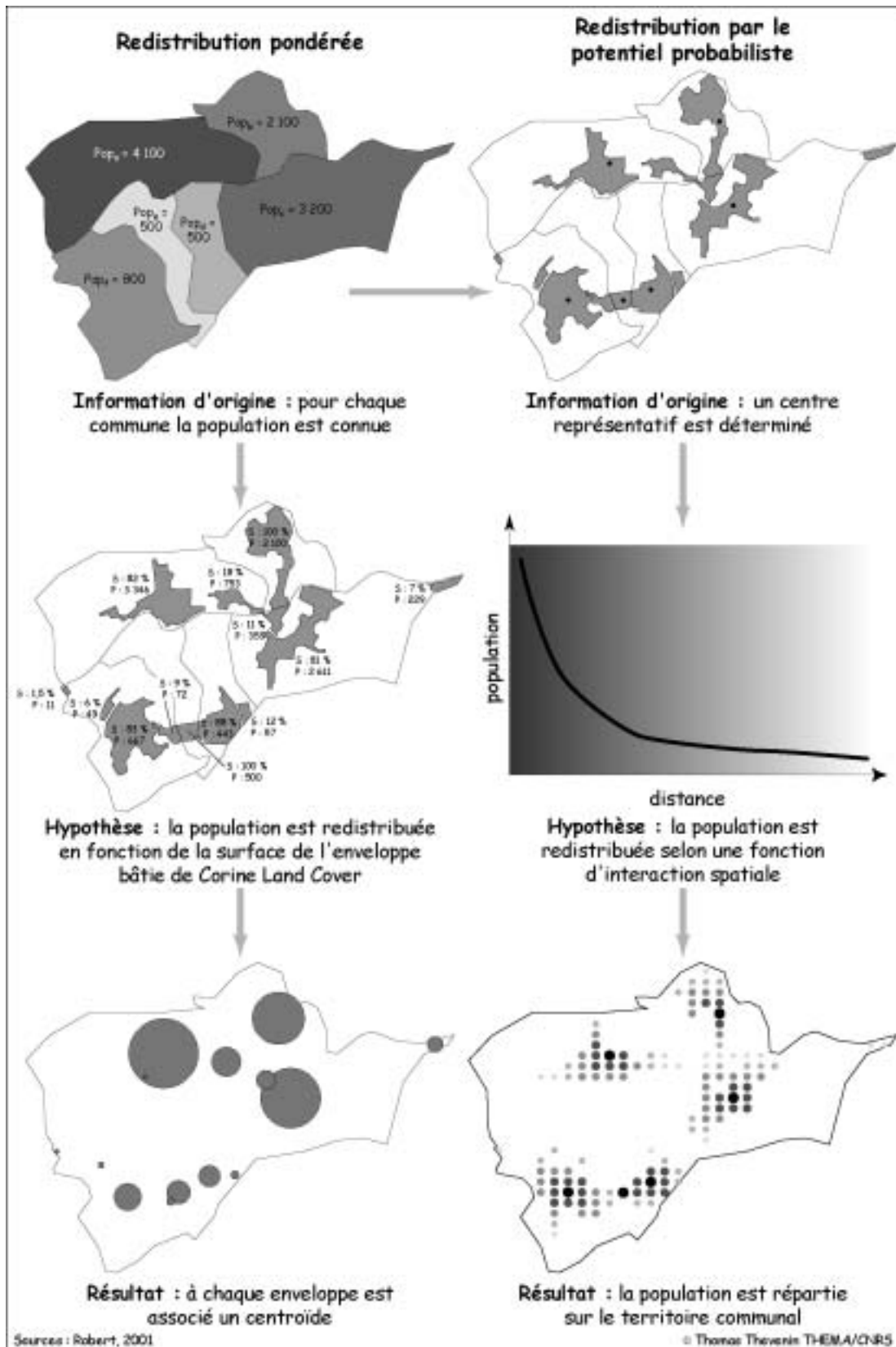
L'intégration des données relatives à l'offre et à la demande pose un problème de fond car celles-ci relèvent de deux types de constructions spatiales. Les informations sur la demande sont collectées selon un maillage administratif, représenté dans le SIG par une surface. En revanche, les données sur l'offre de transport sont représentées par un réseau, symbolisé par des arcs et des nœuds dans le SIG. La difficulté est de mettre en relation ces deux objets géographiques. Pour cela, il faut transformer une surface en un élément propre à l'analyse de la mobilité, le point, en représentant précisément la répartition des personnes recensées au sein de cette surface. C'est à partir de cette localisation précise que l'accessibilité au réseau de transports publics peut être qualifiée.

Pour effectuer ce passage entre la surface et une multitude de points, plusieurs méthodes ont été proposées afin de redistribuer une information en tenant compte de l'occupation de l'espace. Deux procédures de désagrégation seront ici plus particulièrement présentées. La méthode la plus couramment employée est aussi la plus simple à appliquer. Elle consiste à redistribuer une quantité d'informations en fonction d'une variable pondératrice suffisamment significative pour rendre compte du phénomène étudié. L'exemple présenté à la figure 51 montre comment une population collectée à l'échelle d'une commune peut être redistribuée en fonction de la distribution du bâti. La principale critique adressée à cette méthode réside dans le choix de la variable pondératrice. Il est en effet essentiel de déterminer la ou les variables les plus pertinentes pour rendre compte de la localisation du phénomène étudié.

La seconde méthode utilisée pour s'affranchir des découpages territoriaux a été proposée par D. Robert et C. Grasland (2001). Ce procédé, dénommé *redistribution par le potentiel probabiliste*, repose sur l'hypothèse que la probabilité de localisation d'un phénomène décroît à partir d'un lieu jugé central. La redistribution d'une information comme la population d'une commune s'effectue suivant une fonction d'interaction spatiale. L'utilisation de cette méthode pose plusieurs questions. Tout d'abord, comment déterminer le centre représentatif d'une commune ? Ensuite, ce procédé de redistribution de l'information peut-il tenir compte des configurations multipolaires ? C'est pourquoi les auteurs incitent fortement les utilisateurs de la méthode à mener une réflexion critique sur le choix de la fonction d'interaction spatiale.

L'utilisation du potentiel probabiliste pour désagréger une information présente l'avantage d'exiger peu d'informations. Il implique cependant de nombreuses hypothèses, aussi la méthode la plus simple, la redistribution pondérée, sera ici privilégiée. Le recours à des méthodes de redistribution n'est pas nécessaire lorsque l'information est caractérisée par une adresse postale comme les écoles ou les entreprises. Ces lieux ainsi que leurs effectifs peuvent être géocodés précisément par les méthodes d'adressage automatique. La demande une fois localisée peut être rattachée aux différents réseaux de transport.

figure 51 : Deux méthodes de redistribution de l'information

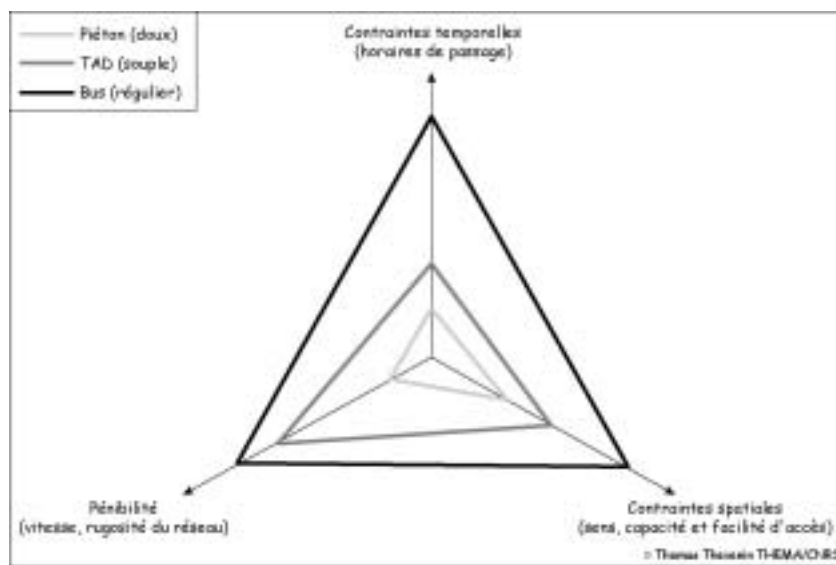


2.3. L'intégration des réseaux de transport

Le réseau, composé d'arcs et de nœuds, a été relié au territoire selon le mode de déplacement préalablement défini en trois types (figure 46 p. 129). Aux modes de transports lourd, doux et souple ont été associés respectivement le réseau de bus, la marche à pied et le transport à la demande. Par ailleurs, trois contraintes ont été identifiées en fonction des modes présentés (figure 52) :

- contraintes temporelles liées à la souplesse des horaires,
- contraintes spatiales déterminées par le sens de circulation et l'accessibilité,
- contraintes de pénibilité définies par la vitesse et la rugosité du tronçon.

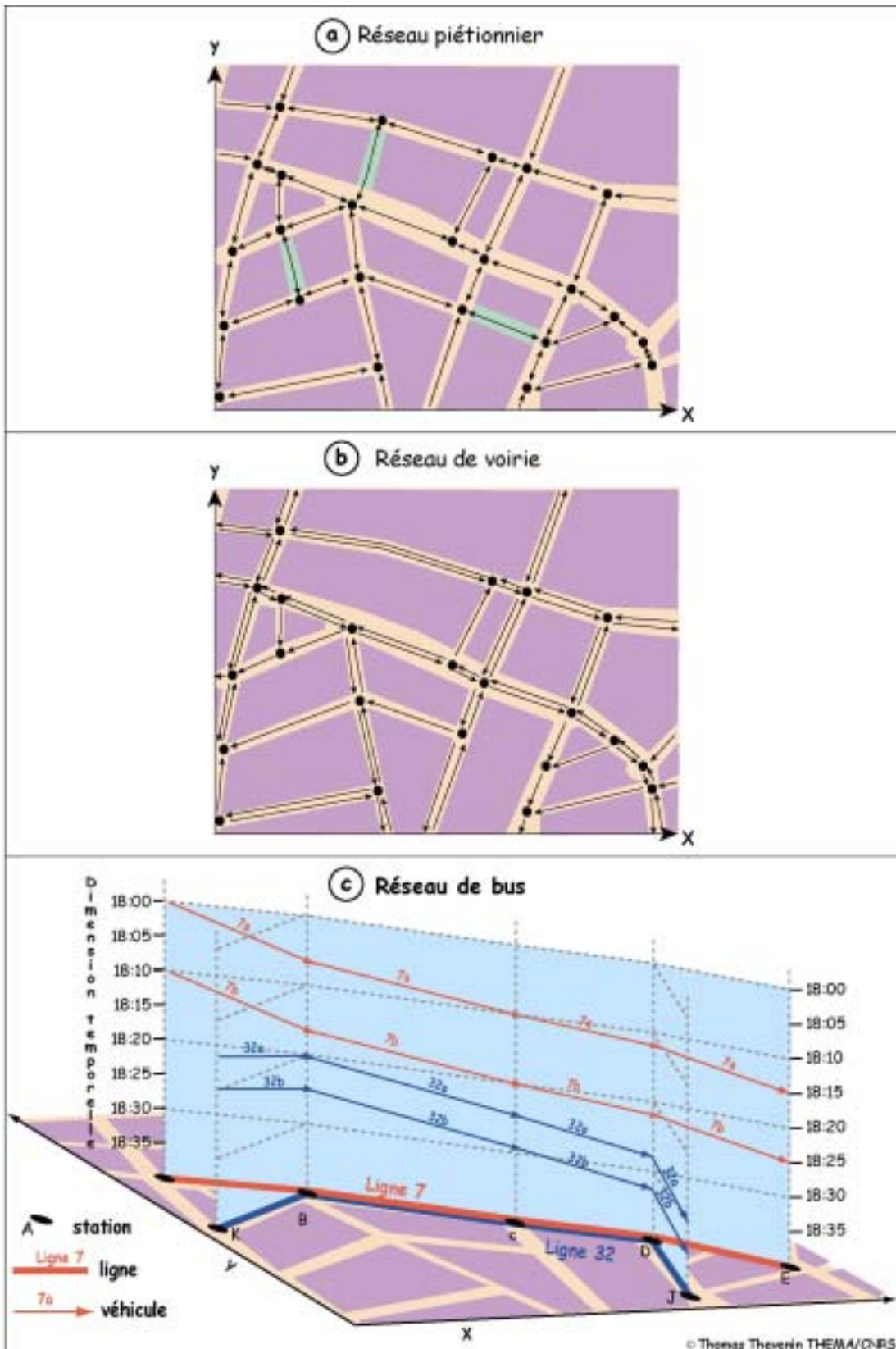
figure 52 : Les contraintes liées aux trois modes de transport



La figure 53 illustre les trois modes de transport considérés. Le premier mode, la marche à pied, constitue le réseau le plus simple à mettre en place (figure 53a). L'accessibilité des sites urbains est forte, puisque d'une part, l'ensemble du réseau viaire est praticable, et que d'autre part, les piétons ne subissent aucune contrainte horaire liée au mode de transport. Ensuite, les vitesses de déplacement varient suivant les personnes et la topographie du terrain mais dans un intervalle de faible amplitude, c'est pourquoi une vitesse constante a été affectée au mode piéton. Puis, les chemins piétonniers ainsi que les passerelles ont été ajoutées à la voirie. Le graphe ainsi construit est planaire, les arcs qui le composent sont tous bidirectionnels et non valués.

Le second mode, le transport à la demande, est un service réalisé par des automobiles. Outre la possibilité de parcourir le réseau viaire selon les contraintes liées au sens de circulation, le TAD est caractérisé par des horaires flexibles. En théorie les vitesses assignées à chaque tronçon de route sont déterminées par la classe administrative de la voie. En pratique, les vitesses dépendent fortement des heures de pointe et de contraintes plus ou moins aléatoires comme les travaux ou les accidents.

figure 53 : La structure des trois réseaux urbains



La structure est donc plus complexe puisque le graphe comporte des sens uniques, valué par des vitesses et des coefficients de pénibilité. Ces derniers intègrent la rugosité du réseau, la pente voire dans certains cas les conditions de trafic.

Troisièmement, le réseau de transport lourd (BUS) est le plus rigide et le plus complexe à mettre en place. Les dimensions spatiale et temporelle sont en effet explicitement intégrées selon des horaires et des lignes prédéfinies. De plus, la vitesse de circulation des bus est fortement ralentie par leurs arrêts fréquents et de leur vocation à desservir des zones densément peuplées. Ces différentes contraintes ont été représentées par un graphe en trois dimensions. Dans le plan défini par les axes x et y figurent les lignes et les stations de bus, tandis que la troisième dimension est associée au temps. Dans la figure 53c, quatre véhicules différents desservant deux lignes de bus et passant par cinq stations de bus sont représentés. Un arc est affecté à chaque véhicule circulant entre deux stations en fonction de sa direction. Cette structure du réseau permet d'intégrer les temps de passage des véhicules (par exemple le bus 32a est à l'arrêt k à 18:20) et les durées (le bus roule pendant 15 minutes). Le principe d'unité de temps est ainsi respecté puisque la dimension absolue et relative du temps est représentée dans ce modèle topologique.

Le modèle conceptuel présenté a permis de définir les différentes règles d'intégration des données. La diversité ainsi que la précision des informations sur l'offre et la demande de transport permettent de reconstituer au sein du SIG-TI une sorte de représentation virtuelle de la ville, autorisant une grande diversité d'hypothèses pour analyser et simuler le fonctionnement du système de transport.

3. Une analyse du système de transport dans l'espace-temps

Après avoir posé le modèle de données à travers les multiples relations potentielles qui existent entre les composantes du système, l'objectif est maintenant d'explicitier ces relations à l'aide d'outils d'analyse adéquats. Nous précisons le langage utilisé pour formuler les requêtes spatio-temporelles avant d'évoquer la technique utilisée pour effectuer les calculs d'accessibilité.

3.1. Des requêtes spatio-temporelles

L'exploitation de la base de données requiert un langage de requête capable de faire ressortir le comportement du réseau au cours de la journée. Le graphe en trois dimensions permet d'appréhender le temps comme un vecteur où vient se positionner tantôt l'heure de passage d'un bus (représentation discrète), tantôt un ensemble d'intervalles exprimant la durée d'un parcours (conception continue). S. Lardon (Lardon et al., 1999) rappelle que *"ces ensembles doivent être munis de relations et*

de propriétés dans un langage mathématique cohérent afin de décrire des événements complexes".

Nous avons choisi d'utiliser le formalisme le plus répandu pour considérer des séries temporelles : l'algèbre de Allen. Fondé sur une vision linéaire du temps, ce langage est ainsi très adapté à l'analyse des événements au cours d'une journée. Les périodes peuvent ici se chevaucher, se succéder, s'exclure ou s'inclure dans un ensemble fini de treize relations binaires entre intervalles temporels (Allen, 1989).

tableau 15 : Les treize relations entre intervalles temporels

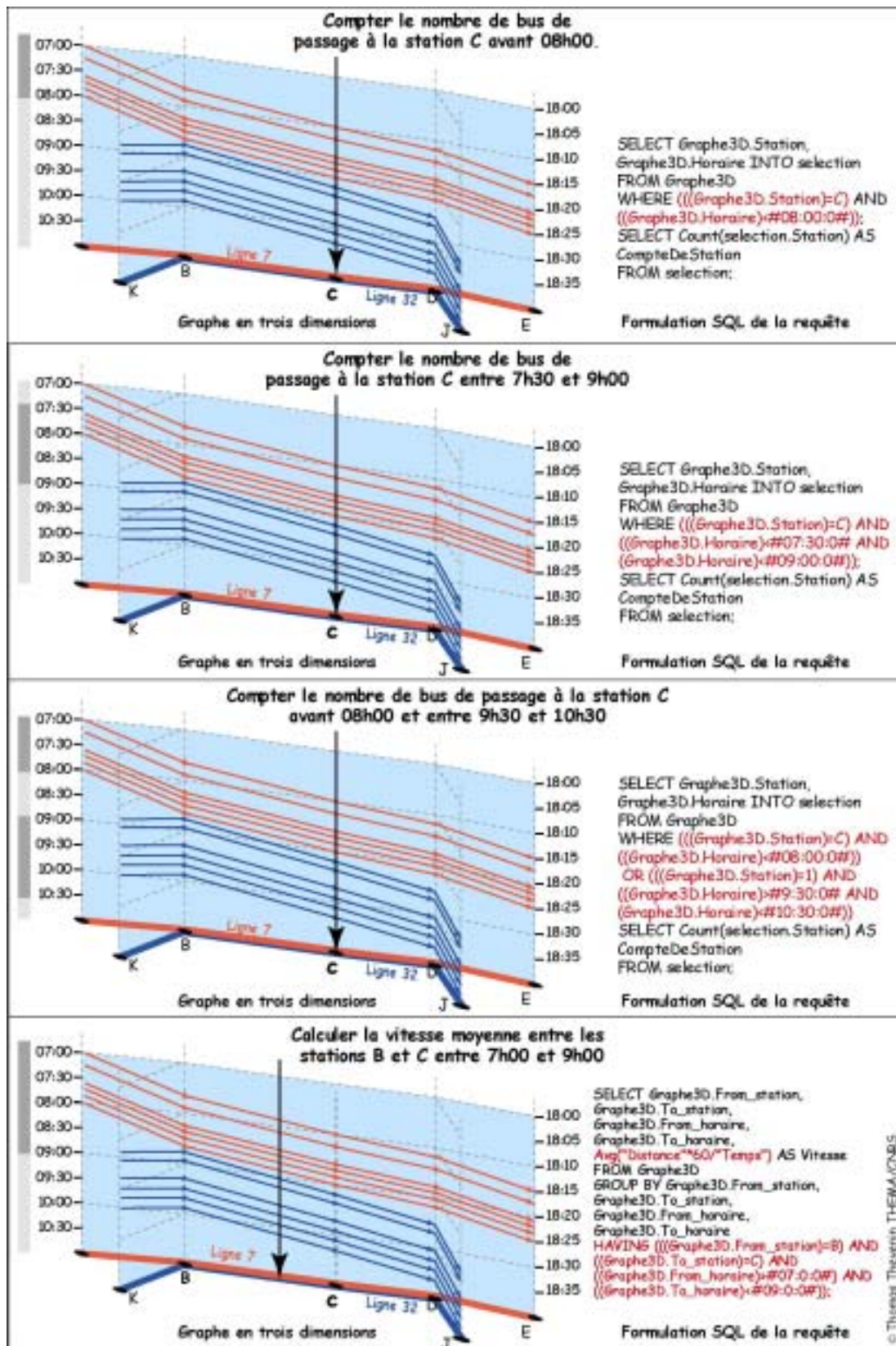
| Relation de base | Exemple | Opérateurs logiques SQL |
|--------------------------------|--------------------|--|
| x avant y y après x | xxx yyy | $x^+ < y^-$ |
| x rencontre y y rencontre x | xxxx yyyy | $x^+ = y^-$ |
| x chevauche y y chevauche x | xxxx yyyy | $x^- < y^-$ and $y^- < x^+$ $x^+ < y^+$ |
| x recouvre y y recouvre x | xxxx yyyyyyyyyy | $x^- > y^-$ $x^+ < y^+$ |
| x débute y y débute x | xxxx yyyyyyyyyy | $x^- = y^-$ $x^+ < y^+$ |
| x termine y y termine x | xxxx yyyyyyyyyy | $x^+ = y^+$ $x^- > y^-$ |
| x égal y | xxxx yyyy | $x^- = y^-$ $x^+ = y^+$ |

Sources : d'après Drakengren, 1997

Le tableau 15 montre que ces relations temporelles peuvent aisément être exprimées à l'aide des opérateurs logiques du langage de requête SQL, couramment proposé dans les SIG. Dans cette optique, il est possible de formuler les requêtes spatio-temporelles les plus complexes, pour tirer parti de toutes les informations coordonnées dans le graphe à trois dimensions. La figure 54 montre que les requêtes peuvent porter d'une part sur les stations, pour connaître par exemple la fréquence de passage des bus, et d'autre part sur le réseau, afin de calculer la vitesse moyenne sur le réseau pour une période donnée.

Ces requêtes apportent des informations très utiles sur l'état d'un système de transport dans l'espace et le temps. Elles ne fournissent toutefois qu'une vision partielle du réseau, aussi est-il nécessaire d'assortir ces informations de calculs d'accessibilité.

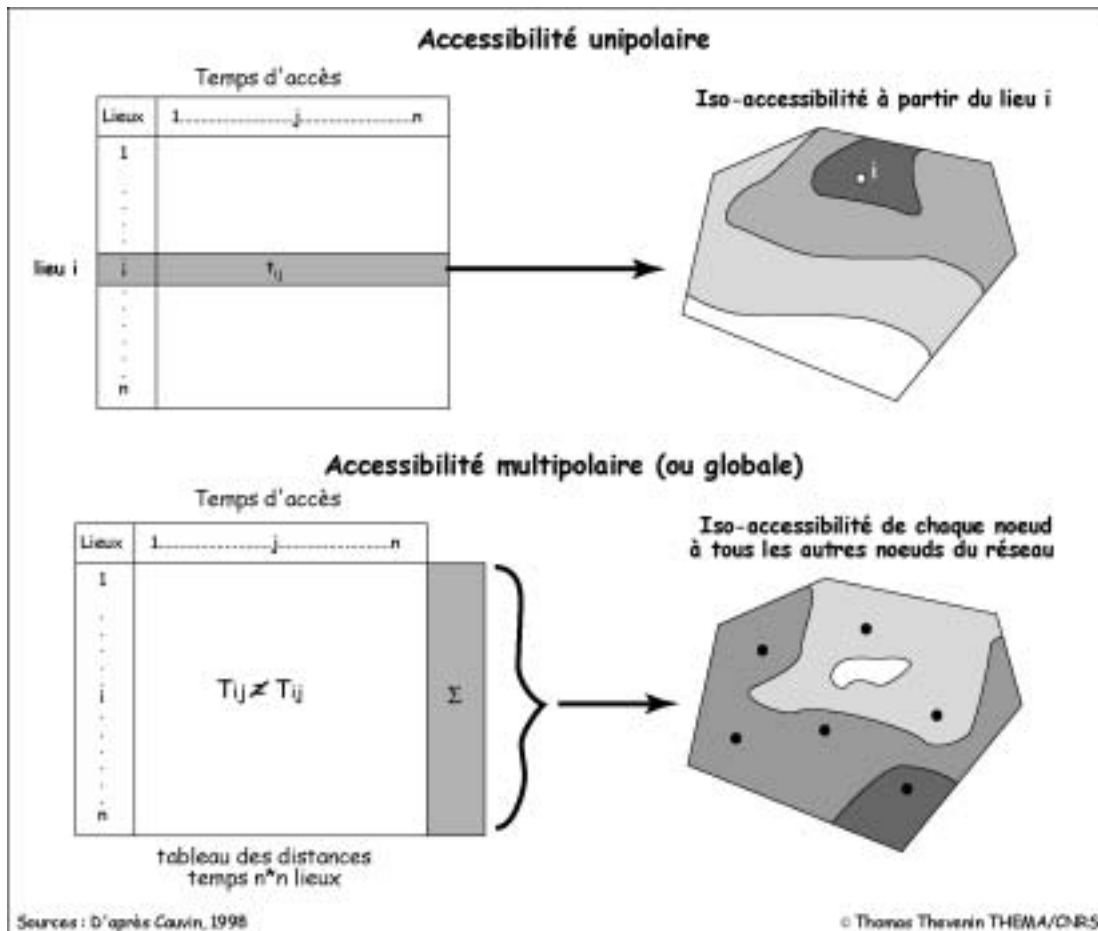
figure 54 : Exemples de requête spatio-temporelle à partir du graphe en trois dimensions



3.2. Calculs d'accessibilité

L'accessibilité est une notion essentielle dans toute analyse d'un système de transport. J.M. Hurriot et J. Perreur (1994) proposent la définition suivante : "l'accessibilité d'un lieu, depuis un autre lieu, ou depuis un ensemble d'autres lieux, mesure la facilité du déplacement qui permet d'atteindre ce lieu". Cette mesure dépend directement de la qualité de liaison entre ces lieux, c'est à dire de la topologie du réseau, mais aussi de caractéristiques fonctionnelles comme la vitesse autorisée, la largeur des voies ou les perturbations du trafic.

figure 55 : Deux représentations de l'accessibilité



Plusieurs indicateurs d'accessibilité peuvent être dérivés par le calcul. L'accessibilité unipolaire tout d'abord permet de mesurer la qualité d'accès entre un lieu et un autre lieu ou un lieu et un ensemble de lieux. Parallèlement à cette conception unipolaire, locale, qui considère uniquement les liaisons permises par le réseau à partir d'un point donné, l'accessibilité peut s'évaluer globalement, de façon multipolaire, pour déterminer la facilité d'accès de tous les lieux à tous les autres (figure 55) (Cauvin, 1998). A ces deux composantes très classiques de l'accessibilité s'ajoute la dimension cognitive. La perception est ici au cœur de l'évaluation de la qualité du réseau. Cette

vision subjective se matérialise par l'élaboration de cartes mentales traduisant l'espace-temps vécu (Cauvin, 1984).

Ces différents indicateurs d'accessibilité peuvent être calculés à partir d'algorithmes, fondés sur la théorie des graphes, capables de déterminer le chemin optimal entre un ou plusieurs couples de nœuds. Les SIG disposent pour la plupart d'un module dédié à l'analyse des réseaux. Notre choix s'est porté sur le logiciel Chronovia. Directement intégré à MapInfo, ce module permet de déterminer la distance kilométrique, le temps de parcours ou le coût d'un trajet en fonction des vitesses moyennes affectées aux différents tronçons d'un réseau de transport. Il est possible d'ajouter des contraintes comme la congestion des axes routiers, la rugosité des routes ou encore le sens de circulation et les interdictions de tourner. Ces différents éléments permettent ainsi de calculer aisément les temps d'accès pour un déplacement effectué en marche à pied ou en voiture et dans notre cas en transport à la demande. Pour déterminer les temps de parcours en bus, il convient de définir préalablement les vitesses moyennes sur chaque tronçon du réseau à l'aide de la requête précédemment détaillée. Les distances temps, une fois estimées pour les trois modes (piéton, TAD, Bus), peuvent être combinées pour construire un indicateur d'accessibilité multimodal.

Cette analyse du réseau de transports publics sur la base des vitesses moyennes doit être nécessairement complétée par un examen des horaires de passage précis des véhicules (Chapelon, 1998 ; Thorlacius, 1998). Un projet de recherche est actuellement en cours dans le cadre de l'ISTI (Institut des Sciences et Techniques de l'Industrie) afin de constituer un algorithme du plus court chemin capable de considérer les horaires des services de transport. Ce travail étant en cours de réalisation, les analyses proposées dans cette recherche seront basées sur des calculs de distance en vitesse moyenne.

Les requêtes présentées ainsi que les calculs d'accessibilité nécessitent un enchaînement de procédures complexes. Une des perspectives envisagées dans un prochain travail est de construire au sein du SIG-TI une interface graphique conçue pour faciliter la formulation des requêtes spatio-temporelles. Les travaux réalisés par les équipes de D. Peuquet (Qian, et al., 1997 ; 1998) aux Etats-Unis ou C. Claramunt en Europe (Claramunt et al., 2000) constituent une source d'inspiration intéressante pour mener de futures recherches dans ce domaine.

Conclusion

Le corps méthodologique proposé au cours de ce chapitre entend répondre aux principes de l'approche systématiquement désagrégée développée précédemment. Dans un premier temps, nous avons défini les caractéristiques des informations à collecter et à structurer. Puis, la normalisation sémantique de ces informations, dans un modèle de données fondé sur le formalisme UML, a permis de lever un certain nombre de problèmes liés aux échanges entre SIG et applications périphériques. Enfin, la phase d'analyse a montré d'une part comment l'algèbre temporelle de Allen peut être exploitée au sein d'un SIG pour formuler des requêtes spatio-temporelles, d'autre part comment l'accessibilité sera appréhendée au cours de cette recherche. Le parcours méthodologique proposé ne règle certes pas le problème de modélisation et de collecte des données spécifiques à un contexte géographique particulier mais propose une structure suffisamment cohérente pour avoir une valeur générale.

CONCLUSION DE LA SECONDE PARTIE

Les outils et des méthodes adéquats pour intégrer les caractéristiques multimodales d'un système de transport dans l'espace et le temps sont maintenant en place. Un état de l'art a permis de repérer trois grands types d'approche. Premièrement, la vision technicienne du transporteur est axée sur les impératifs liés à la gestion d'une flotte de véhicules. Deuxièmement, la conception planificatrice de l'aménageur est destinée en partie au dimensionnement des infrastructures. Enfin, la troisième approche est davantage destinée aux chercheurs et s'inscrit dans le paradigme Espace-Temps-Activité. Les termes d'explication des comportements de mobilité à travers une analyse très fine de la chaîne de déplacements ont été fixés.

L'approche Espace-Temps-Activité implique la constitution d'une base de données exhaustive pour appréhender l'offre et la demande de transport dans l'espace et le temps au sein d'un système d'information adéquat. A cette fin, notre choix s'est porté sur les SIG et plus particulièrement sur les SIG-T en raison de leurs capacités de stockage et de traitement de volumes d'informations conséquents et hétérogènes. Dans un premier temps, les Systèmes d'Information Géographique dédiés aux transports ont été conçus pour répondre à des besoins de planification. Dans un second temps, avec la précision des bases de données, cette technologie s'est diffusée progressivement pour répondre à des impératifs opérationnels. Cette aptitude à concilier les besoins opérationnels et de planification nous a conduit à définir les bases de ce que nous avons appelé le Système d'Information Géographique dédié au Transport Intermodal. Une approche systématiquement désagrégée de l'information et l'intégration d'outils périphériques constituent les fondements du SIG-TI.

La mise en œuvre du système implique un enchaînement d'étapes complexes. Un protocole méthodologique a ainsi été établi pour faciliter la conception du SIG-TI. La démarche ici adoptée s'inscrit parfaitement dans le cadre fonctionnel des SIG et repose sur une modélisation des informations d'un système de transports publics dans l'espace et le temps. L'objectif encore maintenant est double : il s'agit d'une part, de tester l'efficacité de ce corps méthodologique sur le terrain d'étude de la Communauté d'agglomération de Besançon et, d'autre part, de mettre à l'épreuve la capacité expérimentale du SIG-TI. Ce sera l'objectif de la partie suivante.

TROISIEME PARTIE

LE SIG-TI DE BESANÇON : DE LA CONSTRUCTION A L'ANALYSE

INTRODUCTION DE LA TROISIEME PARTIE

Le passage à l'application pose deux questions. Tout d'abord, le protocole de construction du SIG-TI est-il approprié au site choisi de Besançon ? Ensuite, la capacité d'analyse de cet outil est-elle adaptée aux besoins exprimés par les professionnels du transport ? La réponse à ces questions sera fournie à travers trois expériences.

Nous verrons tout d'abord comment la mise en place d'un tel système d'information peut contribuer à renouveler les critères d'évaluation habituellement utilisés pour définir les politiques de transport. Le but de cette opération est de compléter les indicateurs économiques du diagnostic de l'offre de transport, par des indicateurs d'accessibilité.

Le second chapitre proposera, après formalisation, une représentation spatio-temporelle de la mobilité à Besançon à partir des données issues d'une enquête ménage. Une analyse critique sur les informations de ce recensement sera effectuée avant de proposer des pistes pour améliorer la connaissance de la mobilité urbaine dans l'espace et le temps.

Le dernier chapitre exposera enfin l'expérience la plus aboutie de cette recherche. Les ambitions opérationnelle et de planification du SIG-TI se sont en effet concrétisées à travers la mise en place d'un service de transport à la demande sur le site de Besançon. Nous verrons le rôle décisif de l'information géographique dans ce projet, puis nous nous livrerons à un exercice de prospective sur le devenir du projet.

Chapitre 1

Le SIG-TI : vers un renouvellement des critères d'évaluation des politiques de transport

Les mutations de la mobilité, exposées dans la première partie, exigent un renouvellement des critères d'évaluation des politiques de transport. L'accélération des vitesses de déplacement et l'imbrication de multiples vitesses au sein des villes imposent de relativiser certains indicateurs comme la proximité physique ou la centralité géographique d'une agglomération (Ascher, 1999). Dans ces circonstances, le critère d'accessibilité tend à jouer un rôle fondamental dans l'organisation d'un réseau de transport.

L'objectif de ce chapitre est de poser les bases concrètes du SIG-TI sur la ville de Besançon, et par là même de proposer de nouveaux critères d'accessibilité utiles aux transports publics. Le manque d'informations disponibles sur les communes périphériques de l'agglomération nous a conduit à réaliser ce diagnostic non pas à l'échelle de la communauté d'agglomération de Besançon, comme nous le souhaitions au départ, mais sur le territoire communal bisontin. Nous verrons ainsi comment structurer les bases de données disponibles dans l'objectif de reconstituer une "véritable ville numérique". Ces informations permettront ensuite de procéder à une analyse de l'accessibilité multimodale à la fois à l'échelle globale et locale. Cette opération sera ensuite complétée par une analyse multicritère du réseau de transports publics de Besançon.

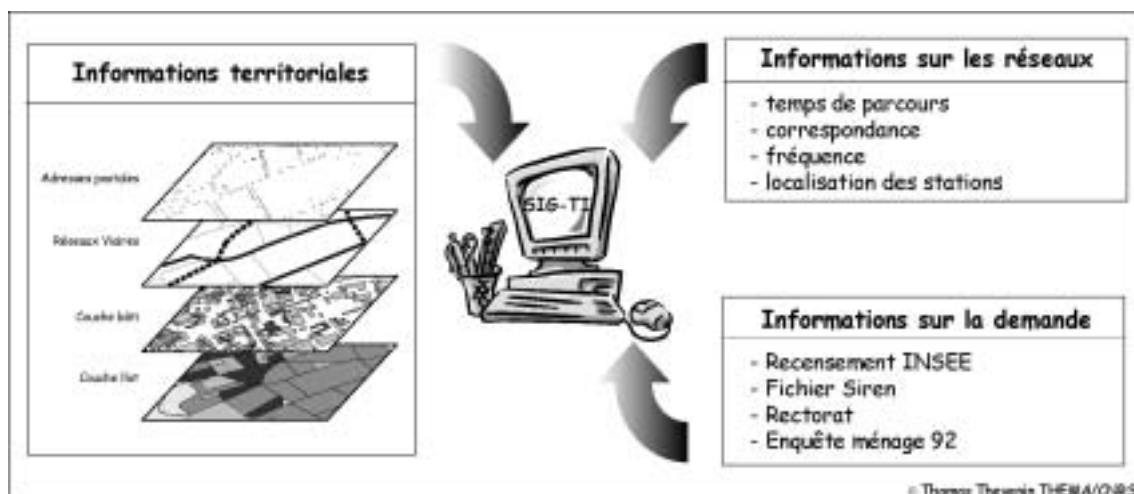
1. Reconstituer une ville numérique

L'information désagrégée est l'ingrédient fondamental de cette recherche. Nous verrons ainsi comment les différentes étapes proposées dans le protocole établi lors de la deuxième partie ont permis de reconstituer la ville numérique en question au sein du SIG-TI.

1.1. Collecter les informations : une stratégie participative

La collecte des informations s'est déroulée en deux phases, conformément au protocole. La mise en place d'un SIG-TI étant fondée sur une stratégie participative, la première étape fut de constituer un groupe de travail avec des acteurs des transports publics. Des membres de l'équipe marketing et du service exploitation de la Compagnie des Transports de Besançon (CTB) ont tout d'abord accepté de participer à ce projet. Puis, les aménageurs chargés des transports sur la ville de Besançon ont rejoint le groupe. Notre rôle de géographe était de cerner les besoins de ces différents acteurs afin d'y ajouter les objectifs du SIG-TI. Les attentes de l'équipe marketing portaient essentiellement sur la clientèle des transports publics, tandis que le service exploitation voulait mesurer l'efficacité du réseau. La vision des aménageurs était en revanche plus globale et demandait de concilier le système de transport avec les impératifs de l'urbanisme. Ces trois objectifs nous ont amené à centrer la conception du SIG-TI sur la question de l'accessibilité. En rapprochant cette notion de celle de la densité, l'estimation du potentiel de la clientèle des transports urbains a pu être améliorée. Ensuite, la confrontation entre les indicateurs d'accessibilité des transports publics pour évaluer la qualité du réseau et les indicateurs relatifs à la voiture particulière constitue une piste intéressante. Enfin, l'accessibilité peut être utilisée par les aménageurs pour déterminer la qualité d'accès aux fonctions urbaines, ces indicateurs pouvant être intégrés dans la délimitation des Plans d'Occupation des Sols.

figure 56 : Les données utilisées dans le SIG-TI de Besançon



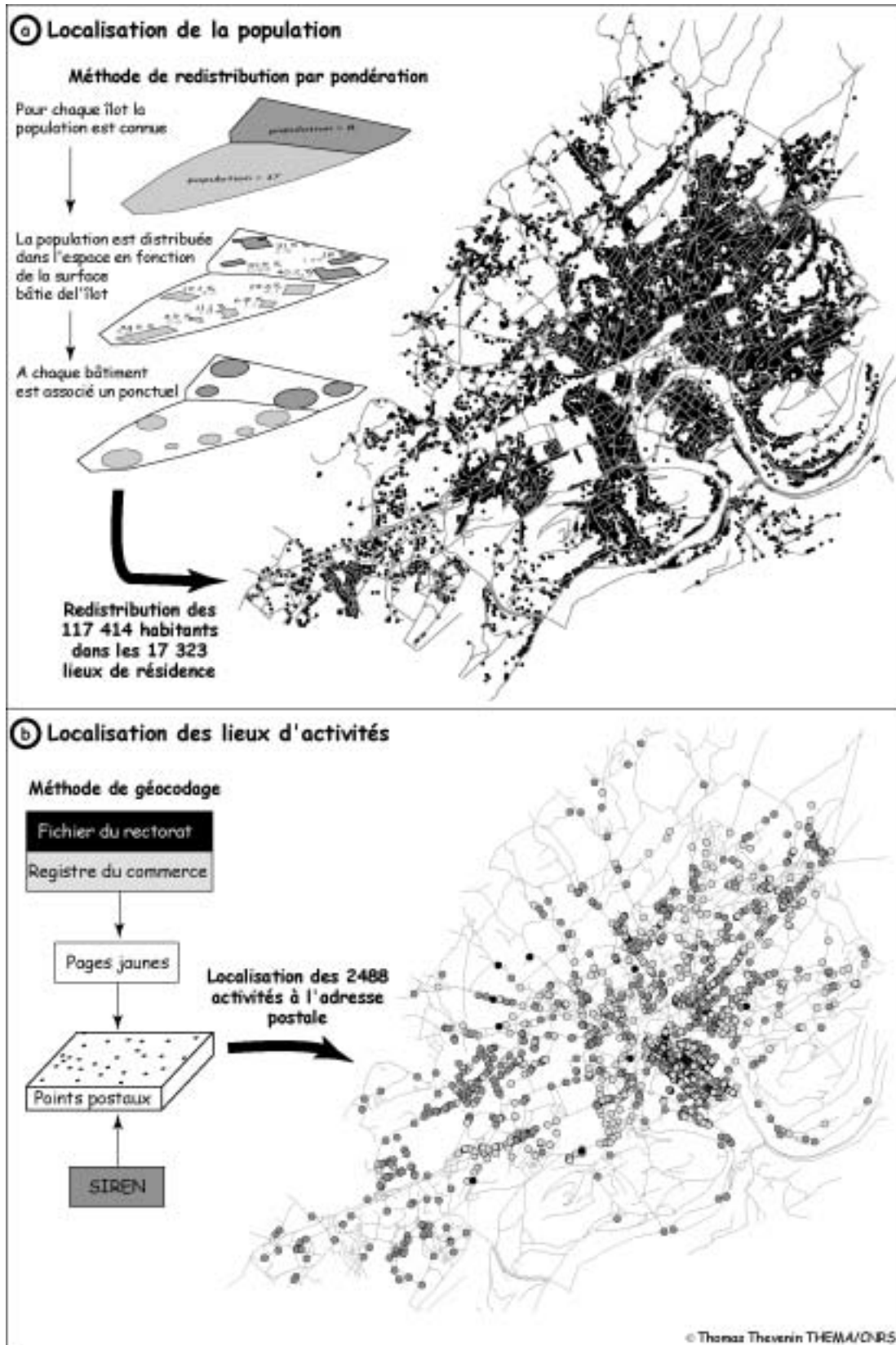
Une fois constitué, ce groupe de travail a permis de collecter de façon efficace les informations nécessaires au fonctionnement du SIG-TI. Les trois grandes catégories de données figurant au protocole peuvent être retrouvées à la figure 56. Les informations territoriales proviennent du SIG de la municipalité et concernent les limites administratives (îlots, quartiers), la localisation précise du bâti, ainsi que les adresses postales des 17 000 foyers bisontins. Les données sur le réseau de transports publics ont été communiquées par la Compagnie des Transports de Besançon. Cette dernière a mis à notre disposition sa base de données qui donne les horaires de passage des véhicules issus du Système Automatique d'Information (SAI) et la position exacte des stations déterminée à partir d'un GPS. Les renseignements sur la demande de transport ont été dérivés des fichiers INSEE. Le fichier SIREN a notamment été utilisé afin de connaître les effectifs des entreprises de plus de dix salariés. Les informations sur les établissements de plus petites tailles ont été complétées grâce au registre du commerce. Enfin, les effectifs des établissements scolaires et universitaires ont été communiqués par le rectorat. La diversité des informations collectées nécessite la mise en place de mécanismes d'intégration des données au sein du SIG-TI.

1.2. Structurer la demande de transport : une localisation désagrégée des générateurs de déplacements

Les générateurs de déplacements sont assimilables à des moteurs de la vie urbaine les lieux de travail, les centres commerciaux ou encore les espaces de loisirs attirent et génèrent quotidiennement des déplacements. La règle de l'unité de lieu a ainsi été proposée dans la deuxième partie de ce travail, afin de localiser et de caractériser le plus précisément possible tous les lieux de la ville associés à une activité humaine impliquée dans le système de mobilité.

La population au lieu de résidence étant une information indisponible, l'unité spatiale de référence la plus fine, l'îlot, a été désagrégée en une information ponctuelle approchant au mieux la distribution de cette population. La méthode de redistribution par pondération a été appliquée de manière à répartir la population d'un îlot, en fonction de la surface de chaque bâtiment appartenant à ce même îlot (figure 57a). Il eût été certes intéressant de prendre en compte la hauteur des bâtiments dans le coefficient de pondération mais cette information est actuellement indisponible dans le SIG. Ainsi, la population des 700 îlots a été redistribuée dans les 17 323 constructions résidentielles de la ville de Besançon.

figure 57 : Localisation désagrégée de la population et des activités



Les lieux d'activité ont été localisés par géocodage automatique (figure 57b). Le fichier SIREN de l'INSEE recense les effectifs salariés des entreprises de plus de 10 employés à l'adresse postale. En associant ces données à la couche thématique des points postaux, chaque entreprise a été précisément localisée sur le territoire communal de la ville. Cette base de données souffre toutefois d'une imprécision car le nombre de salariés est représenté sous la forme de classes. Nous avons ainsi été contraint de choisir la moyenne de chaque classe pour déterminer les effectifs salariés. Ensuite, les lieux d'étude et les commerces ont fait l'objet d'un traitement intermédiaire, puisque les adresses ont été extraites des pages jaunes du site web de France Télécom avant de réaliser le géocodage. Bien que cette technique soit automatisée, elle nécessite un travail de correction conséquent. Les informations textuelles sont en effet saisies de façon très variable, la présence de majuscules, des traits d'union ou la position des articles définis sont autant de cas de figure qui rendent indispensable un contrôle manuel.

1.3. Structurer l'offre de transport

Le réseau viaire est utilisé ici comme le support des trois moyens de transport représentés dans le SIG-TI. Conformément à la méthodologie précédemment proposée, on admet que la marche à pied n'est soumise à aucune contrainte de circulation. D'après une étude du SETRA (1992), un piéton se déplace à une vitesse moyenne de 5 km/h, cette valeur a donc été retenue pour calculer les temps d'accès. Le codage relatif au mode automobile (ou transport à la demande) est en revanche beaucoup plus complexe à mettre en œuvre. Les sens de circulation et les interdictions de tourner à droite ou à gauche ont été intégrés dans le SIG-TI d'après des fonds de plan fournis par les services municipaux (figure 58). A ces informations ont été ajoutées, sur les arcs du réseau, les vitesses moyennes de circulation. Celles-ci furent déterminées en fonction des vitesses autorisées selon la classe administrative de la voie et la sinuosité du tracé. Le calcul de la vitesse moyenne a été réalisé ainsi :

$$VM = VA \times \frac{LV}{LR}$$

VR : vitesse moyenne

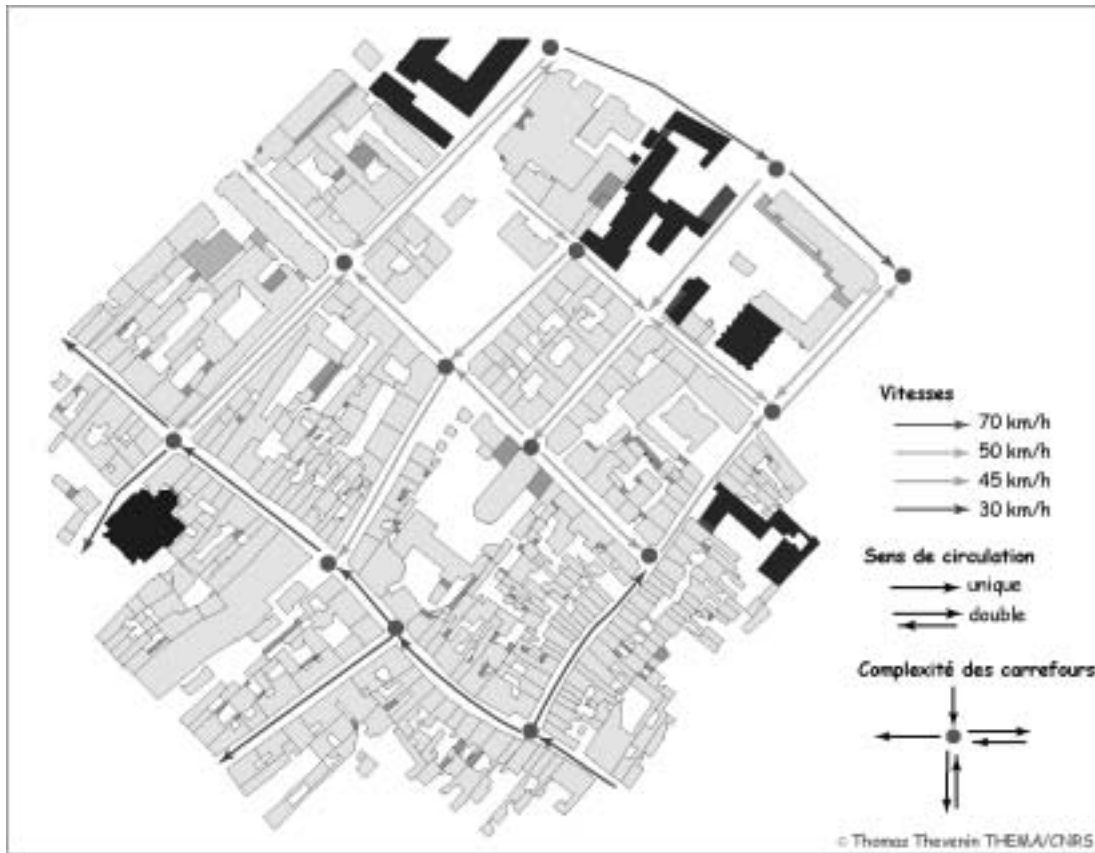
VA : vitesse autorisée

LV : longueur à vol d'oiseau

LR : longueur réelle

Dans l'objectif d'améliorer l'estimation de la vitesse moyenne de circulation, il est envisagé, pour la suite de nos travaux, d'ajouter de nouvelles contraintes comme l'attente au feu de circulation ou la congestion de trafic à différentes heures de la journée. Il faut toutefois se dégager de cette course aux paramètres sans cesse plus précis car l'entreprise semble bien vaine face aux multiples contraintes et aléas qui surviennent chaque jour sur un réseau de transport urbain. Partant du principe que l'œil de l'expert vaut parfois une kyrielle de paramètres, le codage du réseau a fait l'objet d'une validation auprès des techniciens du service voirie de la ville de Besançon.

figure 58 : La complexité du codage du réseau automobile

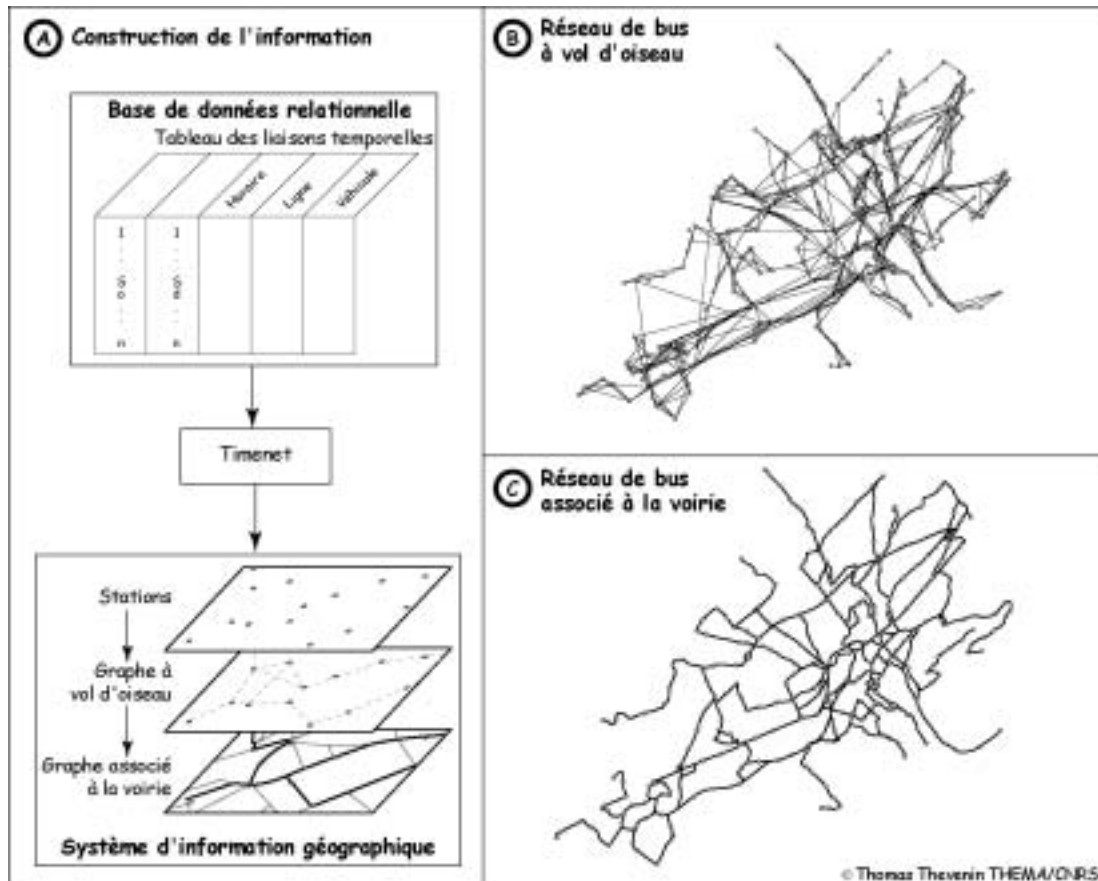


L'intégration du réseau de transports publics atteint un degré de complexité important car il s'agit de restituer les dimensions spatiales et temporelles dans le SIG-TI. Les données d'origine sont issues du Système Automatique d'Information (SAI), dénommé OBITI, utilisé par la Compagnie des Transports de Besançon pour renseigner les voyageurs sur les services proposés. Ce logiciel centralise la totalité des horaires pour tous les modes de transports publics et sur toute l'agglomération. L'objectif recherché était d'ajouter à cette base de données strictement temporelle une dimension spatiale afin de reproduire le graphe en trois dimensions proposé dans le dernier chapitre de la partie précédente.

Un module spécifique, baptisé TimeNet, fut développé directement au sein de Map Info pour réaliser cette opération. Le fonctionnement de TimeNet se décompose en trois étapes. Une mise en forme de la base de données issue de OBITI était tout d'abord nécessaire, afin d'obtenir le tableau représenté à la figure 59a. Ce tableau décrit, en ligne, chaque passage de véhicule entre une station d'origine et une station de destination ; ensuite ces liaisons sont caractérisées, en colonne, par les horaires de passage, la ligne ainsi que le numéro du véhicule qui assure la desserte. Dans une deuxième phase, ce "tableau des liaisons temporelles" est associé à la couche thématique des stations de bus afin de construire ce que nous avons appelé le graphe spatio-temporel. Le résultat de cette première opération (figure 59b) donne lieu à une

représentation des liaisons entre station par "un graphe à vol d'oiseau", puisque les arcs ne suivent pas la géométrie réelle de la voirie. Cette structure est suffisante pour calculer des temps de parcours, mais ne convient pas au calculs des distances kilométriques qui doit intégrer toutes les caractéristiques du réseau viaire. La troisième étape a consisté à faire correspondre les liaisons à vol d'oiseau avec la géométrie du réseau (figure 59c). Les bus roulant quotidiennement sur le territoire bisontin sont ainsi représentés dans l'espace et le temps au sein du SIG-TI.

figure 59 : Construction du réseau de transports publics



La stratégie mise en œuvre dans TimeNet répond aux exigences de l'interopérabilité. Ce mécanisme de transformation des données supporte les mises à jour, puisque cette opération a été réalisée pour actualiser le réseau entre la saison 2000-2001 et 2001-2002. Ensuite, le logiciel OBITI tendant à se diffuser plus largement dans les filiales du groupe Kéolis, TimeNet pourrait ainsi être testé sur d'autres réseaux de transports publics. Les modalités de transfert de cette méthode vers un champ d'application étendu permettraient une certaine fluidité.

L'application du protocole méthodologique sur le site de Besançon a permis de rassembler toutes les connaissances nécessaires sur l'offre et la demande de transport à une échelle fine. Plus qu'une simple base de données, cette sorte de ville numérique

s'offre à une grande variété d'hypothèses et de tests destinés à connaître et à simuler le comportement du réseau de transports publics.

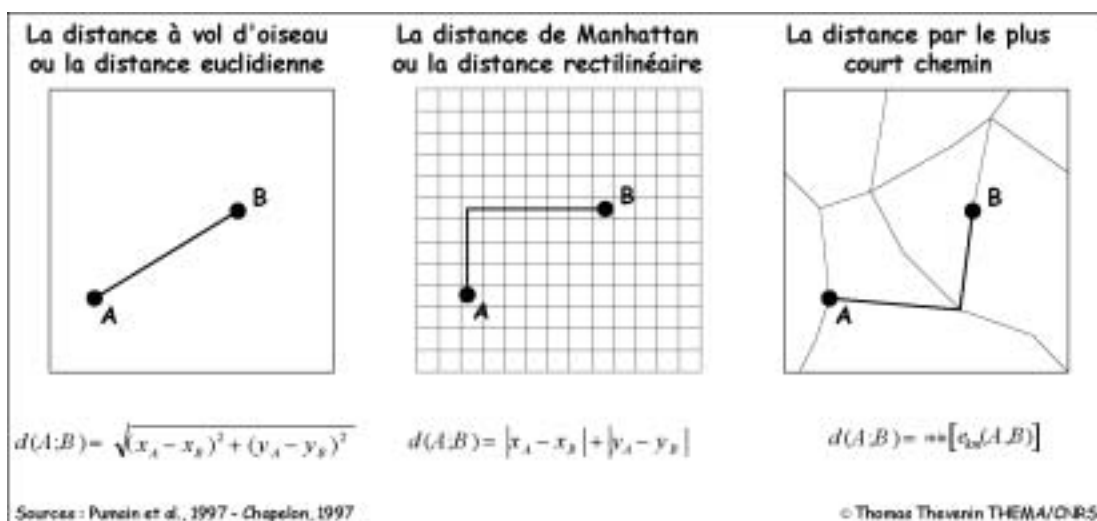
2. Du local au global : vers une analyse de l'accessibilité

La construction de ces bases de données à une échelle fine implique de nombreuses manipulations parfois lourdes à mettre en œuvre. Se pose alors la question suivante : comment tirer parti d'une information aussi riche sans trop réduire et altérer son contenu ? Trois indicateurs sont présentés dans l'objectif de fournir une évaluation multiscalaire de l'efficacité du réseau de transports publics de Besançon.

2.1. Une analyse locale : l'accessibilité aux stations

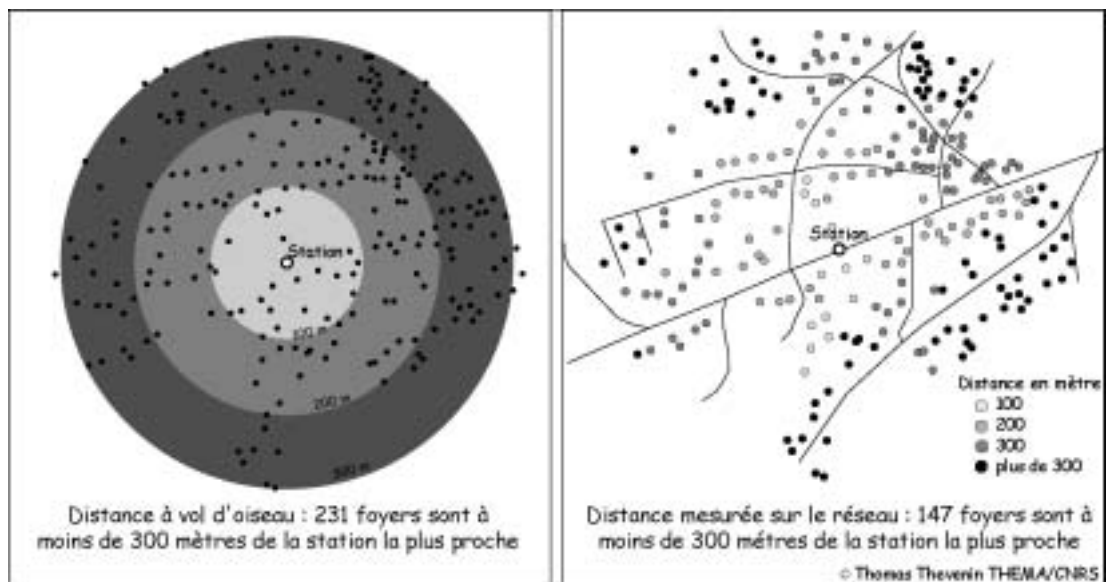
Mesurer l'accessibilité d'une station revient, de notre point de vue, à estimer le nombre de foyers ou d'individus situés à une distance donnée d'un lieu d'activité. Il s'agit ainsi dans un premier temps de déterminer la distance adéquate, au sens géographique du terme, pour décrire ce phénomène. La distance euclidienne ou à vol d'oiseau est la mesure la plus simple et la plus utilisée par les transporteurs (Cancallon et Gargailot, 1991). Elle peut être calculée à partir des coordonnées géographiques des deux extrémités d'un segment (figure 60). D'autres mesures mathématiques permettent de mieux prendre en compte la réalité des possibilités de déplacement. La distance de Manhattan est particulièrement adaptée pour déterminer les distances dans des configurations urbaines orthogonales. Elle mesure non plus la distance en ligne droite mais la somme des différences entre les coordonnées géographiques des deux points considérés.

figure 60 : Trois mesures de la distance



Ces deux mesures de l'éloignement sont simples à calculer, mais elles ne permettent cependant pas de rendre compte de la capillarité et des contraintes imposées par le tracé de la voirie. Les algorithmes de recherche du plus court chemin, précédemment évoqués, sont très adaptés pour rendre compte de ces configurations géométriques en calculant une distance directement sur le réseau. Ces techniques sont disponibles dans les SIG à travers des modules spécifiques, comme le logiciel Chronovia ici utilisé. Cet outil est capable à la fois de déterminer le parcours optimal entre deux points et de calculer la distance kilométrique ou le temps et le coût d'un parcours. Ce procédé permet ainsi d'évaluer précisément la distance qui sépare chaque foyer de la station de bus la plus proche.

figure 61 : Deux méthodes pour mesurer la qualité d'accès à une station



En pratique, un transporteur considère qu'un foyer est desservi par les transports publics lorsqu'il se situe à moins de 300 mètres d'une station. La figure 61 compare les résultats obtenus avec la distance à vol d'oiseau et la distance mesurée sur le réseau pour une station de Besançon. La différence est significative : la distance à vol d'oiseau tend à maximiser la clientèle potentielle de la station par rapport aux résultats obtenus avec une distance réelle.

Lorsque cette méthode est appliquée sur l'ensemble de la ville, il est alors possible de calculer le taux de couverture du réseau. Cet indicateur détermine pour un Périmètre de Transport Urbain (PTU) donné le pourcentage de la population totale située à moins de 300 mètres d'une station de bus. La CTB qui calcule le taux de couverture à partir de la distance à vol d'oiseau annonce un taux de couverture de 95 %, notre analyse aboutit au résultat identique de 97 %. Mais la mesure que nous proposons permet de réaliser un travail qualitatif à l'échelle de la station. Les informations désagrégées sur la population associées aux techniques d'analyse des réseaux ont ainsi permis d'améliorer la précision de certains indicateurs employés fréquemment

en matière de transport. L'utilité des données représentées à une échelle fine sera démontrée au cours des analyses suivantes.

2.2. Une analyse des fréquences en station

Cette analyse part de l'hypothèse suivante : "la qualité de la desserte d'une station varie dans l'espace et au cours de la journée suivant les heures de pointe et les heures creuses". Le phénomène mesuré en termes de fréquence. Cet indicateur mesure le nombre de passage de bus à une station durant un laps de temps donné. Les transporteurs utilisent habituellement la fréquence pour observer les périodes de pointe (Bailly, 2001). Il est ici proposé de considérer la journée complète en laissant l'analyste libre de choisir les tranches horaires qu'il souhaite examiner.

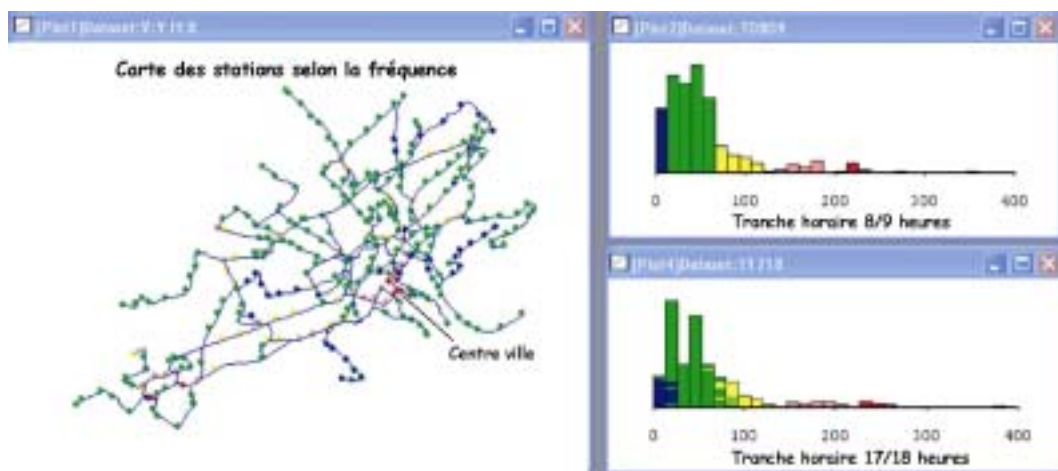
La méthode mise au point pour effectuer ce travail consiste à dresser un tableau des fréquences dérivé du tableau des liaisons temporelles. Le nombre de bus de passage à chaque station est compté par tranche horaire préalablement définie. Le tableau résultant représente toujours en ligne les stations mais les colonnes correspondent cette fois aux tranches horaires, tandis que dans les cases se trouvent les fréquences. L'agrégation des informations spatiales et temporelles nécessite un enchaînement de requêtes temporelles complexe (Peuquet, 1994 ; Mac Eachren, 1994 ; Qian, 1997 ; Claramunt, 2000). Un module destiné à la formulation de requêtes spatio-temporelles a été développé dans l'objectif d'automatiser ces procédures. Cette interface n'a pas été directement construite sous MapInfo mais à partir du SGBD Access. En effet, ce logiciel facilite d'une part, la conception de l'interface grâce à de multiples fonctions graphiques directement exploitables et d'autre part, la gestion des informations temporelles est beaucoup plus adaptée pour effectuer des requêtes.

figure 62 : L'environnement graphique d'une requête spatio-temporelle



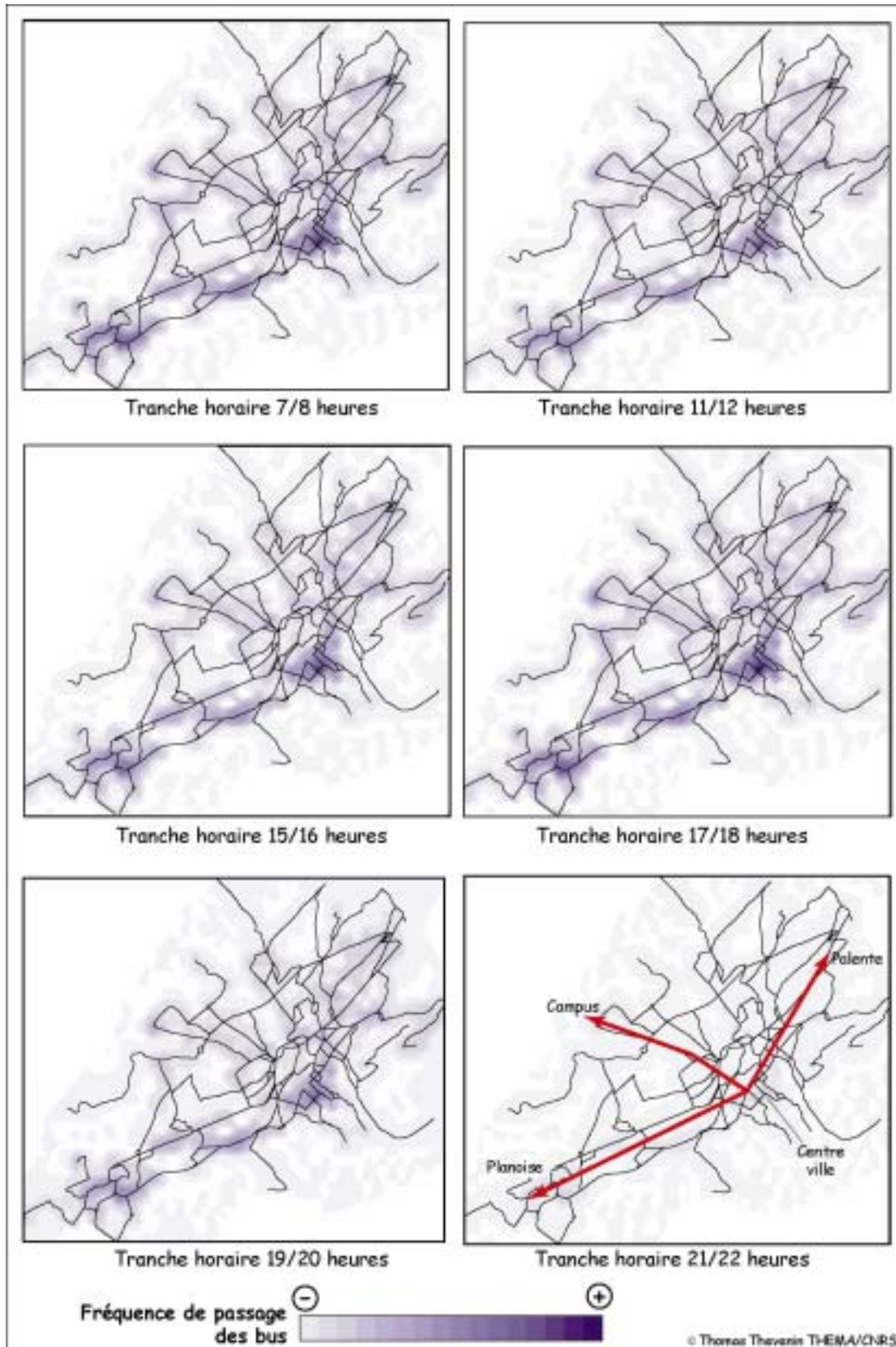
L'environnement de requête spatio-temporelle, présenté à la figure 62, peut être utilisé soit de façon automatique, sur les heures de pointe ou les heures creuses de la journée, soit manuellement en choisissant une période spécifique. La boîte de dialogue suivante permet de sélectionner les lignes de bus étudiées. De simples indicateurs sont ensuite proposés pour mesurer la fréquence. Le résultat de la requête peut enfin être exploité dans le SIG afin de réaliser des travaux cartographiques. Un format d'exportation a aussi été prévu vers le logiciel d'analyse exploratoire Xlisp Stat afin d'effectuer les traitements complémentaires les plus spécifiques.

figure 63 : Une exploration des fréquences pour la tranche horaire 8/9 heures



La figure 63 décrit l'environnement graphique utilisé pour l'examen interactif des fréquences pendant les périodes de pointe du matin (8/9 heures) et du soir (17/18 heures). La figure 63 représente la localisation des stations sur le réseau de bus et les couleurs correspondent aux fréquences pour la tranche horaire 8/9 heures. Les histogrammes indiquent en abscisse les fréquences moyennes de passage des bus et en ordonnée le nombre de stations pour les deux tranches horaires considérées. Cette analyse fait ressortir l'organisation hiérarchique du réseau de transports publics, avec au centre-ville les stations principales à hautes fréquences (symboles rouges) tandis que les pôles à basses fréquences se situent essentiellement à la périphérie (symboles verts et bleus). La représentation des stations sous forme ponctuelle restitue précisément la réalité, mais elle complique son interprétation. Afin d'améliorer la lisibilité de ces cartes et de dégager les structures spatiales de ce semis de points, la technique du lissage spatial par la méthode des noyaux a été employée (Brunsdon, 1991). Cette procédure a été développée sous le logiciel Xlisp Stat par des membres du laboratoire THEMA (Banos, 2001a ; Banos et al., 2001 ; Huguenin-Richard, 2000). Le parcours méthodologique emprunté par cette équipe est détaillé dans l'annexe 4.

figure 64 : Cartographie des fréquences par tranches horaires



A partir de cette méthode, seules les cartes suffisamment significatives pour observer la qualité de la desserte des stations au cours de la journée ont été retenues (figure 64). Cette juxtaposition de cartes confirme l'hypothèse de la variabilité spatiale et temporelle de la desserte en fonction des heures creuses et des heures de pointes. Les fluctuations sont cependant peu flagrantes, les fréquences restent en effet relativement constantes et élevées au cours de la journée. Ces bons résultats se répartissent de façon inégale dans la ville. Deux axes caractérisés par des fréquences fortes ressortent particulièrement. Le plus marqué relie le centre-ville à Planoise, le quartier le plus important de la ville, tandis qu'un axe secondaire connecte le campus au centre-ville. Les secteurs les moins favorisés se situent essentiellement aux marges de la ville, en particulier sur la colline de Bregille et sur la zone industrielle de Trépillot. La fréquence est un indicateur indispensable pour effectuer un diagnostic sur la desserte de réseau de transports publics. Cette mesure doit cependant être mise en relation avec d'autres descripteurs de la chaîne de déplacements.

2.3. Une analyse globale : le potentiel d'accessibilité

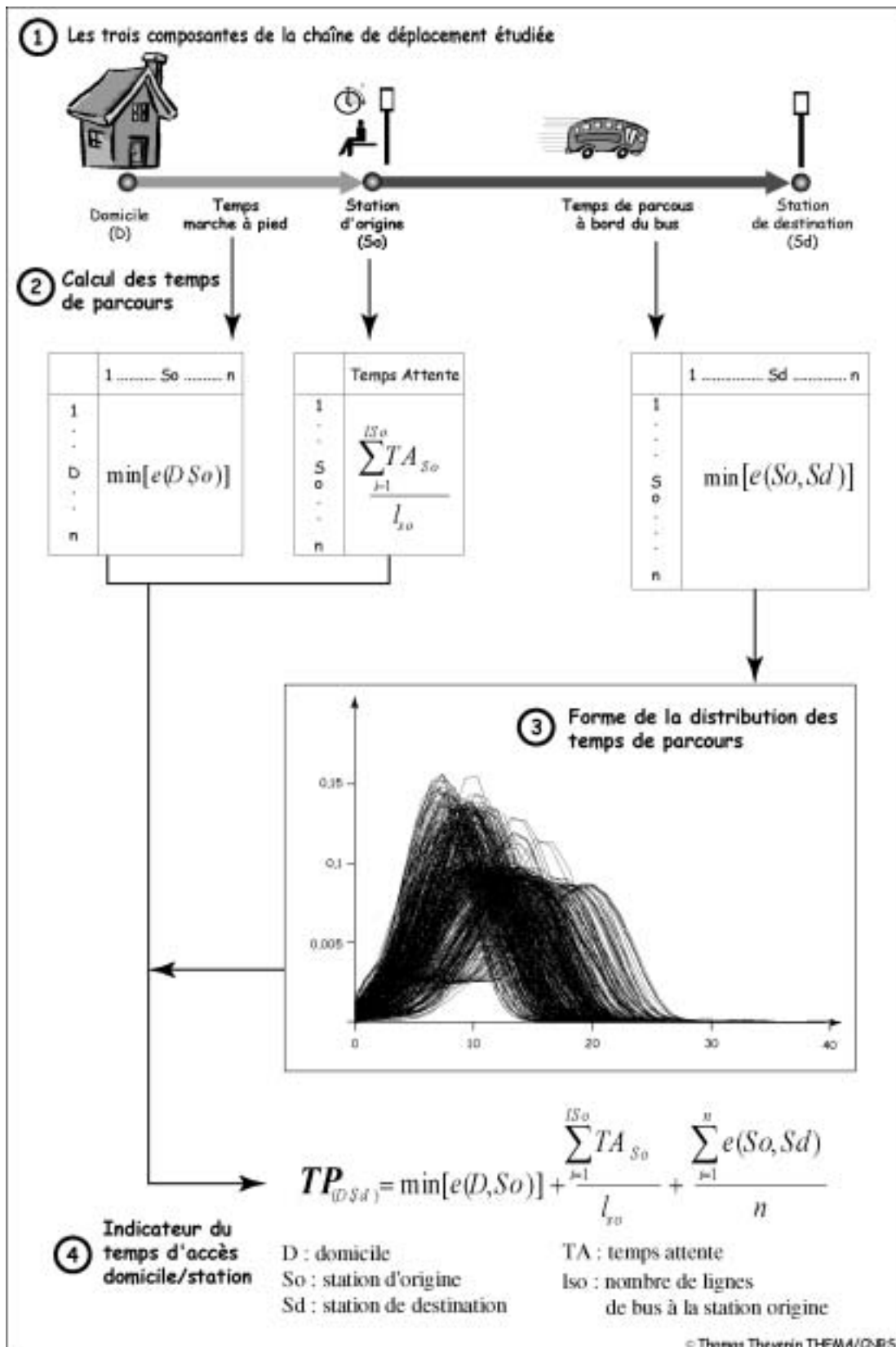
Les deux indicateurs précédemment présentés nous amènent à aborder l'accessibilité de façon globale, à travers ce que nous avons appelé le potentiel d'accessibilité. Cette idée repose sur l'hypothèse que la qualité de la desserte d'un territoire est variable en fonction du mode de déplacement à une heure donnée. L'objet de cette troisième démarche vise ainsi à déterminer le potentiel d'accessibilité au réseau de transport urbain et à repérer les éventuelles inégalités d'accès sur le territoire communal de Besançon.

Pour mettre en évidence ces disparités, la méthode proposée ici est basée sur la confrontation entre l'accessibilité offerte par les bus et le mode qui offre *le potentiel d'interaction le plus riche* (Bordreuil, 2001) : l'automobile. Une définition opérationnelle de l'accessibilité pour ces deux modes, proposée par Diederich (1998), a été retenue :

- *Pour l'automobile, l'accessibilité est le résultat d'une "minimisation" d'une distance, la distance-temps, entre une localisation spécifique i et un lieu donné j au moyen d'un véhicule privé empruntant un itinéraire libre.*
- *Quant à l'accessibilité par autobus, elle est également le résultat d'une minimisation d'une distance-temps, entre une localisation spécifique i et un lieu donné j mais au moyen de bus municipal empruntant un itinéraire imposé permettant cette "minimisation" dans le cadre du fonctionnement régulier de lignes du réseau.*

Deux termes ont complété cette définition. Sur le plan spatial tout d'abord, il ne s'agit pas de retenir un générateur de trafic plutôt qu'un autre, mais l'ensemble des lieux susceptibles de produire un déplacement. Du point de vue temporel ensuite, la période observée se déroule sur la journée complète. L'accessibilité est mesurée en terme de temps mais la méthode de calcul diffère en fonction du mode de déplacements.

figure 65 : Parcours méthodologique employé pour calculer l'accessibilité en transports publics



L'analyse de l'accessibilité nécessite de décomposer toute la chaîne de déplacement. La première étape de la figure 65 représente les trois composantes retenues pour décrire un cheminement théorique entre un domicile et une station de destination. Chacun de ces trois éléments a fait l'objet de calculs spécifiques (étape 2). Dans un premier temps, la station la plus proche de chacun des 17 000 foyers bisontins étudiés a été déterminée en fonction de la distance-temps. Un second tableau a ensuite été constitué afin de mesurer le temps d'attente moyen en station. Enfin, les temps de parcours station/station ont été déterminés en fonction des vitesses moyennes sur le réseau de bus dans un troisième tableau. La mise en relation de ces trois valeurs permet ainsi de mesurer l'accessibilité multimodale, de la porte d'un usager jusqu'à sa station de destination. Le potentiel d'accessibilité permet de synthétiser cette mesure à travers une opération d'agrégation. Compte tenu de la distribution symétrique des temps de parcours (étape 3), l'agrégation des informations a été effectuée en calculant l'accessibilité généralisée, autrement dit, le temps d'accès moyen d'un lieu à toutes les stations du territoire communal. Le potentiel d'accessibilité en Transports publics (TP) entre un domicile et une station de destination est défini dans la quatrième étape du parcours méthodologique.

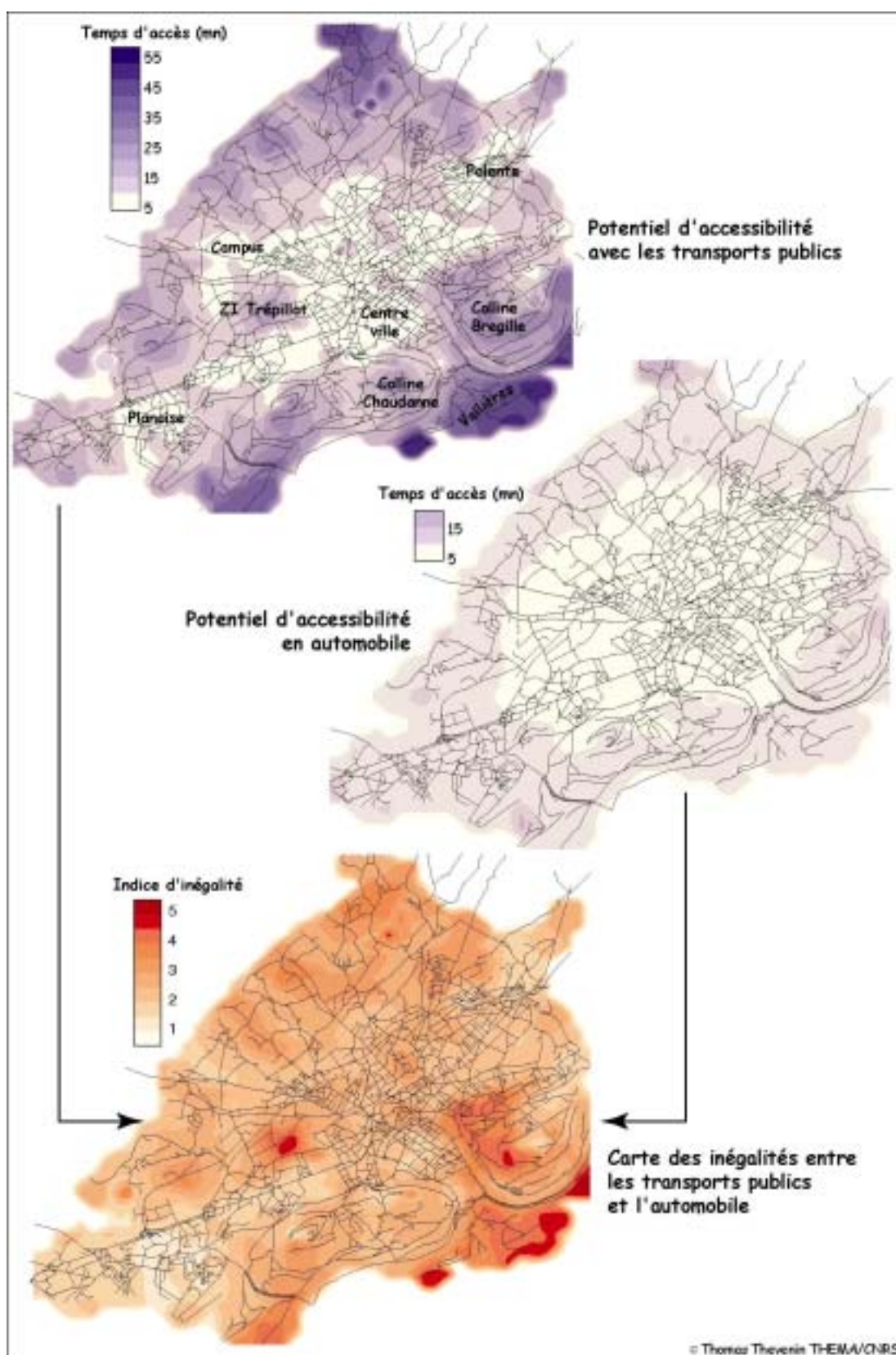
Cet indicateur permet de restituer une image du potentiel d'accessibilité qui appréhende les difficultés posées par chaque maillon de la chaîne de déplacement. La méthode de lissage spatial précédemment évoquée a été utilisée pour construire la carte en isolignes. Cette représentation (figure 66) fait apparaître dans les couleurs claires les zones de bonne accessibilité. Ces lieux sont potentiellement accessibles en dix minutes en tout point de l'espace communal. Aux marges de la ville ressortent les secteurs de mauvaise accessibilité, situés environ à 40 minutes de tous les autres lieux. Les zones représentées dans les couleurs sombres correspondent aux quartiers les moins denses de Besançon. Il s'agit d'une part des collines situées au Sud de la ville et d'autre part de la forêt communale de Chailluz située au Nord.

Le calcul d'accessibilité en automobile est plus simple à mettre en œuvre car il n'implique pas une représentation complète de la chaîne de déplacement. Par souci de comparaison, le cheminement théorique considère toujours les trajets domicile/station mais cette fois sans aucune étape intermédiaire. Un "distancié" a ainsi été réalisé en fonction des vitesses moyennes sur la voirie, en tenant compte des contraintes évoquées dans la première section de ce chapitre. Le potentiel d'accessibilité en automobile entre un domicile et une station a été établi ainsi :

$$A(D, Sd) = \sum_{i=1}^n \frac{e(D, Sd)}{n}$$

D : domicile
Sd : station de destination

figure 66 : Les inégalités de l'accessibilité entre les transports publics et l'automobile



La figure 66 montre que le potentiel d'accessibilité atteint un maximum de 15 minutes sur la majeure partie de la ville. Afin de répondre à notre objectif qui consiste à repérer les distorsions d'accessibilité entre transports publics et mode privé, une troisième carte a été réalisée à partir de ce simple ratio :

$$R_{(D,Sd)} = \frac{TP_{(H,Sd)}}{A_{(H,Sd)}}$$

La carte en question fait tout d'abord ressortir les zones de fortes distorsions (représentées en rouge foncé), avec des temps d'accès en bus 5 fois supérieurs à ceux de l'automobile. Ces secteurs sont toutefois très circonscrits ; il s'agit d'une part des collines peu denses situées au Sud de la ville et d'autre part la zone industrielle de Trepillot. L'écart le moins fort concerne bien évidemment les quartiers les plus densément peuplés, ceux du centre-ville ainsi que ceux de Planoise. La carte de l'inégalité d'accessibilité met certes en évidence la faible vitesse des transports publics comparée à celle de l'automobile. Il faut cependant souligner que l'intégration du temps de marche à pied dans cet indicateur amplifie certainement le déséquilibre entre les deux modes.

Les trois indicateurs ici présentés montrent à quel point une information désagrégée est indispensable pour parvenir à une vision à la fois globale et locale des réalités du transport. Cette approche permet de mesurer précisément l'accessibilité en tout point de l'espace considéré. Ensuite, l'outil d'analyse exploratoire s'est révélé particulièrement efficace pour étudier de façon exhaustive la fréquence de passage des bus à toutes les stations de Besançon. Le recours à une information désagrégée permet enfin de maîtriser tout le processus d'agrégation pour la construction d'indicateurs composites comme le potentiel d'accessibilité. On pressent l'intérêt d'enrichir la palette des critères d'accessibilité de manière à donner tout son sens à cette mesure synthétique.

3. Pour une lecture multicritère de l'accessibilité

Pour F. Ascher (1998), les transformations de la ville, telles que nous les avons décrites dans la première partie, imposent de renouveler les méthodes et les critères d'évaluation en intégrant, dans les réflexions sur l'urbanisme, le construit et le mobile, les stocks et les flux, les densités et les vitesses. Dans cette perspective, l'accessibilité sera ici abordée non pas à travers une mesure composite mais par une analyse multivariée. Une mesure plus apte à répondre aux préoccupations des urbanistes sera ensuite proposée.

3.1. Hiérarchiser les générateurs de déplacements

Le potentiel d'accessibilité, évoqué précédemment, se traduit par une surface caractérisée par un temps de desserte. Cette mesure ne met toutefois pas en évidence la hiérarchie des générateurs de déplacements. Aussi, comment dresser une typologie à partir d'une distribution de plus de 17 000 individus ? Une analyse multivariée associée à une technique de classification automatique a été utilisée pour effectuer cette synthèse. D'après N. Stathopoulos (1997), il est essentiel de considérer l'accessibilité *"en prenant en compte un ensemble de caractéristiques structurelles du réseau en un point déterminé du territoire"*. Par conséquent, les trois indices utilisés pour déterminer le potentiel d'accessibilité ont été complétés par deux critères, afin de caractériser les 17 000 générateurs de déplacements :

- Le temps d'accès en marche à pied à la station la plus proche du générateur de déplacement (MAP)
- Le temps d'attente moyen en station (TAM)
- Le temps d'accès moyen pour un parcours effectué en bus (TBUS)
- Le nombre de stations accessibles en 10 minutes pour un parcours effectué en bus ($S < 10$)
- Le nombre de lignes disponibles à la station la plus proche du générateur de déplacements (NB_ligne)

Ces variables quantitatives étant exprimées dans des unités de mesures différentes, à savoir des temps et des quantités, l'analyse en composantes principales (ACP) est apparue comme la méthode la plus adaptée (Sanders, 1989). La taille importante de ce tableau de données (17323 individus * 5 facteurs) nous a conduit à adopter une méthode de classification non hiérarchique, de type nuées dynamiques (Diday, 1972, 1974). Cette typologie a ensuite fait l'objet d'une cartographie. L'interprétation des 17 000 symboles étant peu aisée, nous avons adopté ce que l'on pourrait appeler une méthode de lissage qualitatif (Thevenin, 2001). Ce procédé consiste à appliquer la technique du lissage spatial, précédemment évoquée (annexe 4), pour représenter ces informations qualitatives et ponctuelles sous la forme de surface. La figure 67 retrace le parcours méthodologique pour aboutir au lissage qualitatif.

Un examen des résultats obtenus (figure 68) montre que les deux premiers facteurs expriment près de 60 % de l'inertie totale. Sur le premier axe ressortent les indicateurs relatifs à l'accessibilité en transports publics proprement dite, c'est à dire la fréquence et le temps de parcours moyen effectué en bus. Le second axe se rapporte à l'accessibilité aux stations en marche à pied. Les résultats de la classification révèlent tout d'abord une nette opposition entre le groupe 1 qui bénéficie d'une bonne desserte et le groupe 5 dont l'accessibilité en mode piéton et bus laisse à désirer. Ce déséquilibre se manifeste sur la carte par une opposition entre le centre-ville et la périphérie. Le groupe 2 fait ressortir les zones où l'accès aux stations est aisé mais la desserte en transport collectif de moins bonne qualité.

figure 67 : Parcours méthodologique du "lissage qualitatif"

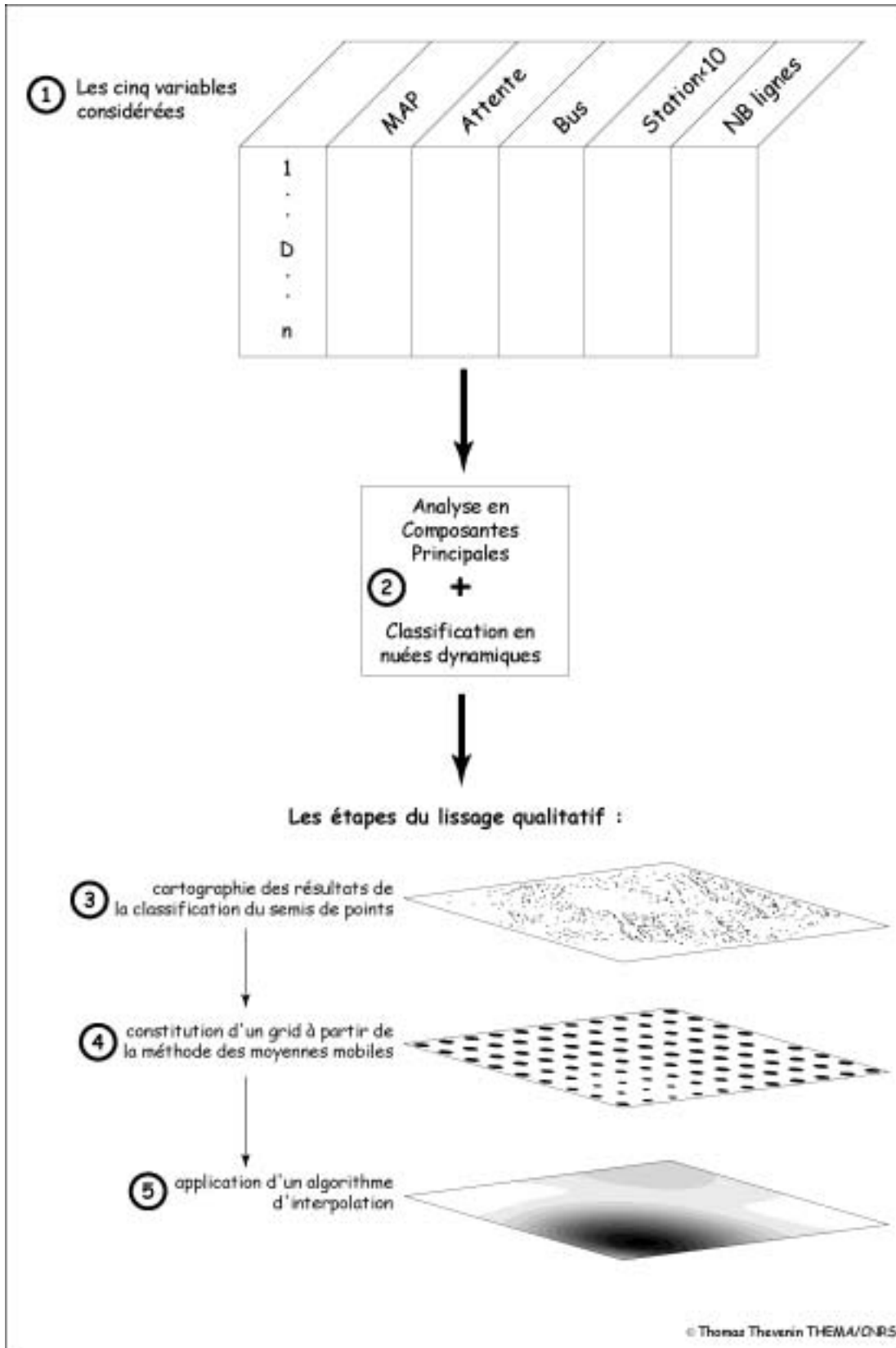
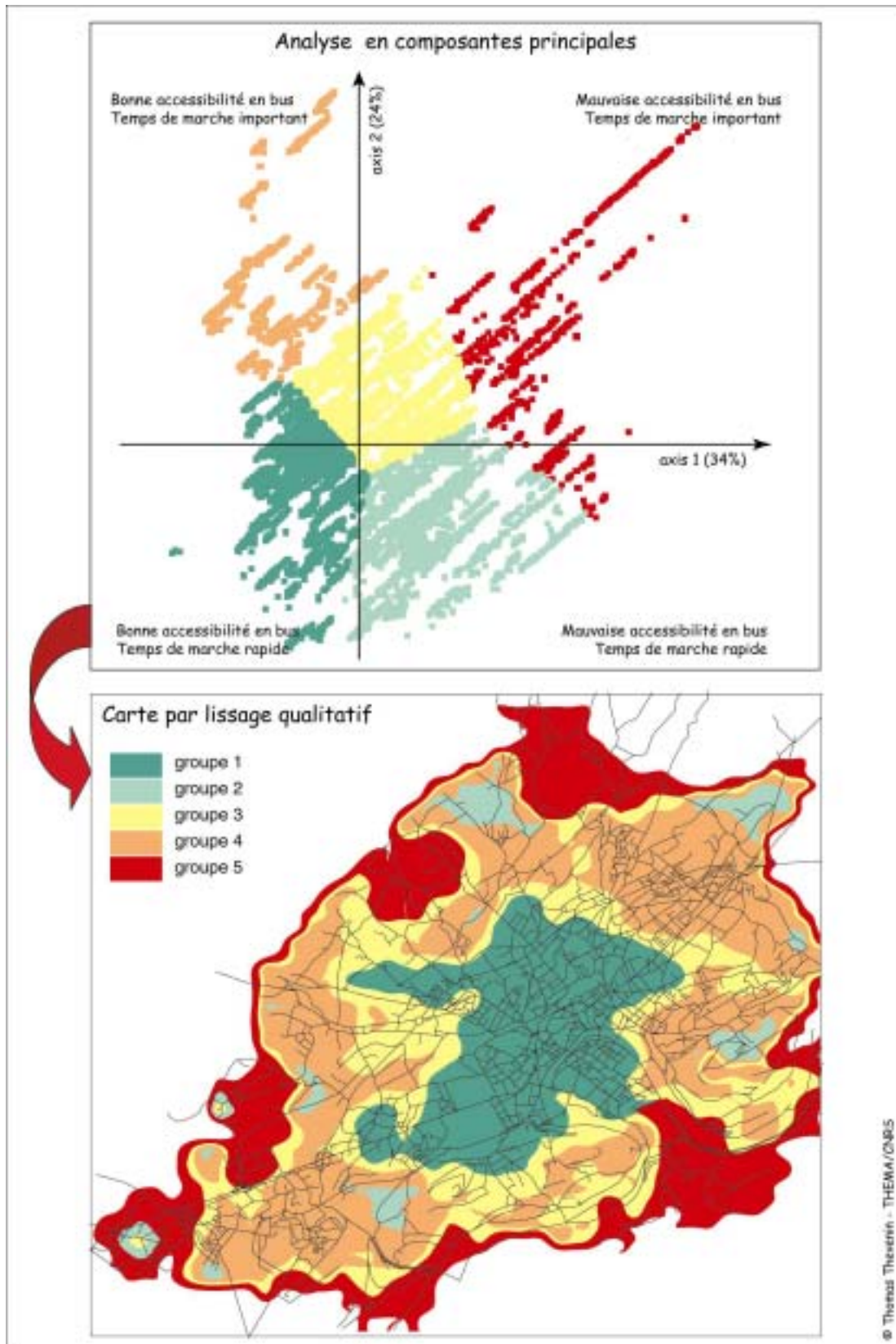


figure 68 : Résultats de l'Analyse en Composante Principale



Ces secteurs étant situés aux extrémités du réseau de transports publics, ils disposent des fréquences faibles comparée au centre-ville. Le groupe 4 bénéficie d'une bonne desserte en bus mais la position des stations est diffuse. Le groupe 3 enfin correspond à la catégorie moyenne et à un secteur intermédiaire sur la carte. Il existe donc une hiérarchie de la desserte des générateurs de trafic, marquée par l'organisation radiale du réseau de transports publics bisontin qui oppose le centre-ville et les quartiers contigus, très accessibles, à la périphérie où les services sont de moindre qualité.

3.2. Vers une mesure d'un potentiel urbain

L'analyse multivariée constitue la première tentative d'une conception élargie de l'évaluation d'un réseau de transports publics. Cependant la notion d'accessibilité "*présente l'inconvénient d'exprimer surtout les possibilités de réception d'un lieu*" rappelle F. Ascher (1998). Le même auteur propose ainsi de compléter la notion d'accessibilité par l'idée du potentiel urbain. Cet indicateur repose sur une mesure composite qui associe l'habitat, les équipements urbains et les activités. Afin de poursuivre notre réflexion sur l'évaluation de l'efficacité du réseau de transports publics, il est ici proposé une mesure du potentiel urbain sur la commune de Besançon. De notre point de vue, cette mesure se rapproche de l'indice mis au point par R. Davies (Davies et al. 1978). Cet indicateur tient compte à la fois du nombre d'établissements d'un centre i dans une catégorie de services j et de la rareté de ce type d'établissements mesurée par l'inverse de leur nombre total N_j pour l'unité spatiale i :

$$C_i = \sum_j \frac{N_{ij}}{N_j}$$

Cet indice a été utilisé dans notre travail en considérant pour chaque générateur de déplacements le nombre d'emplois et de commerces, ainsi que le nombre de places disponibles dans les lieux d'étude. L'indicateur du potentiel urbain se distingue de l'indice de centralité par un critère supplémentaire, puisque ces trois critères ont été déterminés pour un déplacement effectué en transports publics sur un temps donné.

La figure 69 reprend le parcours méthodologique suivi pour mener à bien la construction de cet indicateur. Il faut dans un premier temps préciser que la chaîne de déplacement est considérée ici dans sa totalité. Le trajet est en effet appréhendé du lieu de résidence jusqu'aux lieux d'activités. Ainsi, aux trois tableaux précédemment constitués pour déterminer le potentiel d'accessibilité a été ajouté un quatrième qui mesure le temps d'accès entre la station d'arrivée et le lieu d'activité final. La somme de ces quatre mesures permet par conséquent d'estimer les temps de parcours pour chaque lieu d'origine et de destination. La taille des tableaux de données étant conséquente, les limites de la capacité de traitement et de stockage des systèmes de gestion de base de données ont été rapidement atteintes. Dans ces circonstances, le tableau de données attendu a été généré à partir d'une interface spécifiquement développée pour faciliter l'enchaînement des calculs. Les résultats ont ensuite permis de déterminer pour les 17 323 domiciles le potentiel urbain (P_d).

figure 69 : Parcours méthodologique pour le calcul du potentiel urbain

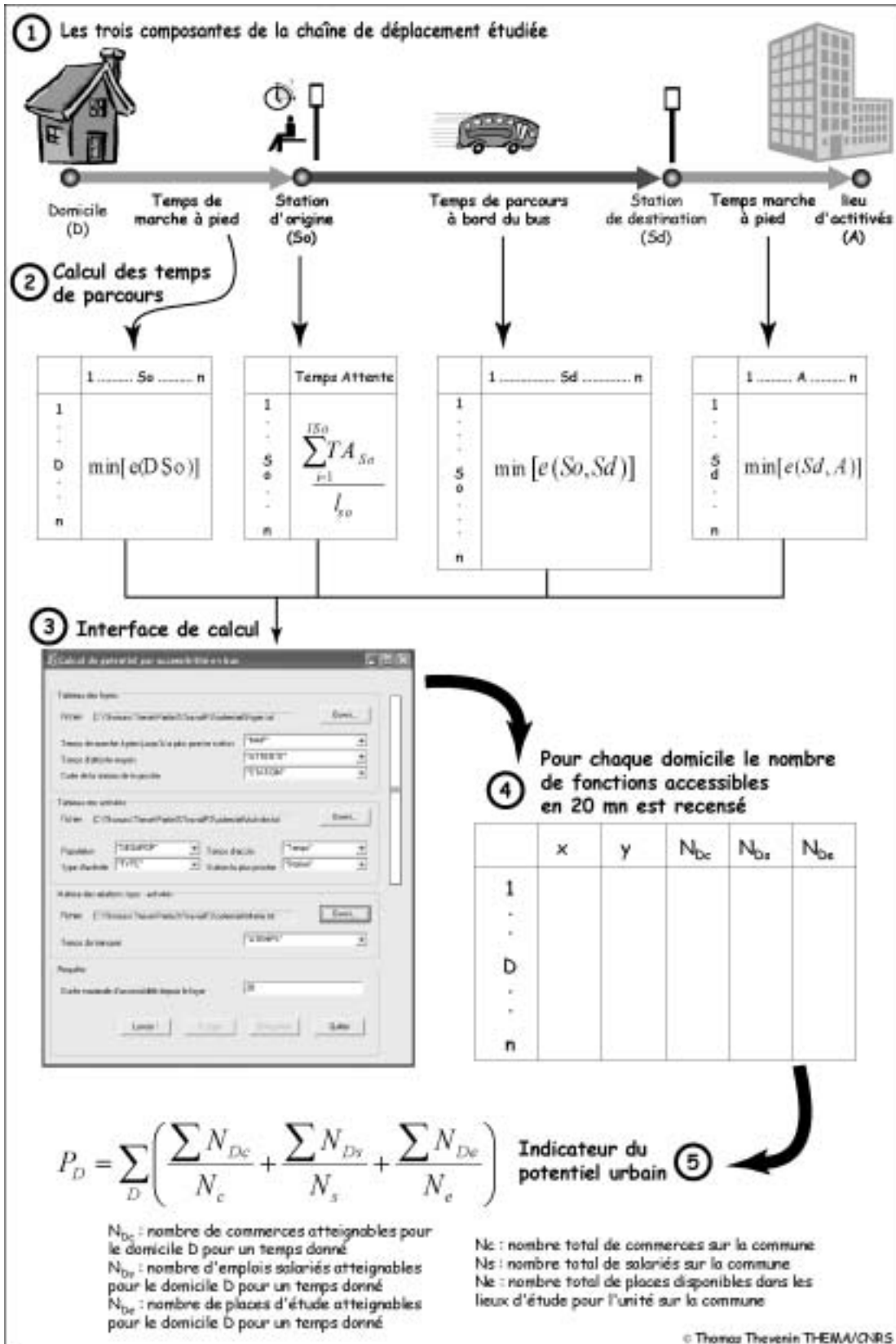
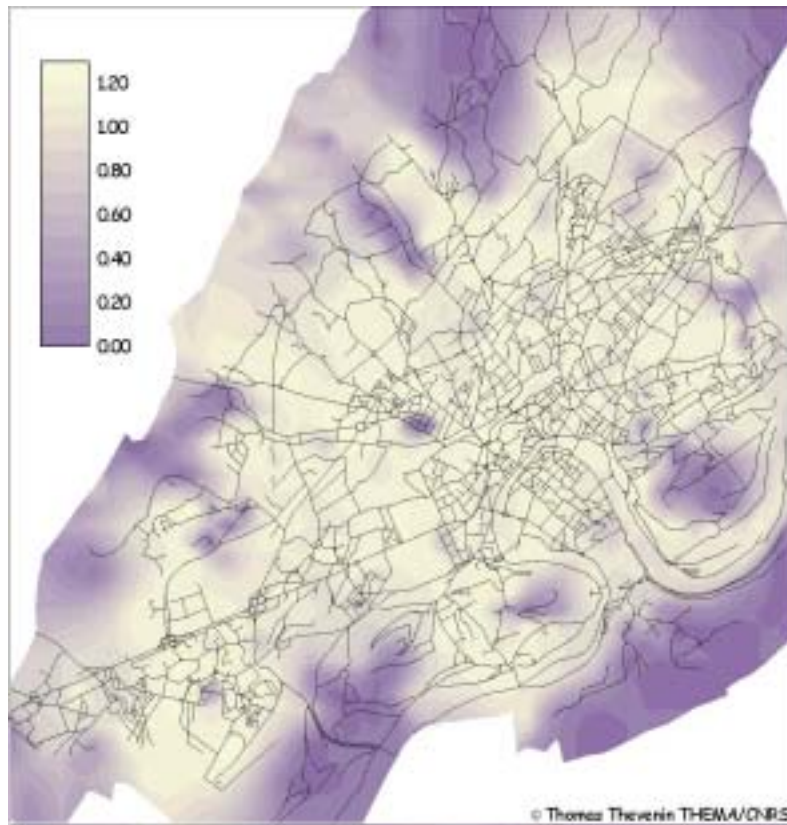


figure 70 : L'indice du potentiel urbain



La procédure de lissage spatial a été utilisée pour construire une carte du potentiel urbain de Besançon (figure 70). Ont été mesurés ici, pour chaque lieu de résidence, les secteurs accessibles en 20 minutes en bus. Le potentiel urbain fait apparaître une carte plus complexe que les précédentes avec un indice qui varie entre 0,1 et 1,2. Le plus fort potentiel se situe le long des principaux axes desservis par les transports publics. Le niveau intermédiaire concerne les interstices du réseau. Certains secteurs fortement spécialisés appartiennent à cette catégorie. La zone d'activité de Chateaufarine notamment, située à l'Ouest de la ville, concentre de nombreux commerces sans avoir d'école ou de lycée. Les secteurs à faible potentiel urbain se situent à la périphérie, ainsi que sur les collines au Sud de la ville. Seules les trois grandes catégories d'activité (travail, commerce, étude) ont été considérées dans cette analyse, un examen approfondi exigerait de nouveaux critères moins exclusivement liés au travail, comme le nombre d'habitants accessibles ou le nombre de centres de loisir.

L'approche multicritère de l'accessibilité fait ressortir l'organisation hiérarchique du réseau de transports publics avec une opposition centre/périphérie très marquée. Cette analyse peut être affinée par le calcul du potentiel urbain, afin de resituer l'accessibilité dans un contexte élargi d'activités. Cette vision intégrée du système urbain est particulièrement adaptée pour repérer des spécificités au sein même des quartiers.

Conclusion

L'application du guide méthodologique au site de Besançon a facilité l'enchaînement des étapes de construction du SIG-TI. La stratégie mise en œuvre pour recueillir et structurer l'information spatiale et temporelle d'un réseau de transports publics à une échelle très fine a débouché sur la construction d'une ville numérique. Cette référence à l'abstraction des nombres nous amène à proposer le terme imagé de "ville virtuelle". Ces informations désagrégées se sont révélées particulièrement utiles pour construire des indicateurs capables de fournir une représentation et une compréhension à plusieurs échelles du système de transport. Les analyses présentées dans ce chapitre ont été en effet réalisées depuis la station de bus jusqu'à l'ensemble de la ville. Cette vision multiscalaire a ensuite été complétée par une approche multicritère afin de mettre en évidence certaines composantes des inégalités d'accès aux transports publics. L'accessibilité est certes fondamentale pour l'organisation du système de déplacement, mais cette notion ne doit cependant pas occulter le besoin de critères d'évaluation liés à l'urbanisme. Le potentiel urbain permet de lever cette critique car cet indicateur enrichit la notion d'accessibilité en mettant en relation l'ensemble des activités disponibles dans la ville. Au cours de ce chapitre, seules les activités liées aux achats, études et travail ont été abordées. Cet indicateur pourrait être élargi en ajoutant d'autres critères, comme la sociabilité, afin de déterminer par exemple le nombre de personnes que l'on peut rencontrer dans un temps donné. On le voit, c'est un domaine très vaste qui s'ouvre à l'expérimentation.

Derrière la simplicité de ces mesures se cache un enchaînement complexe d'opérations qui exige la mise en œuvre d'outils spécifiques. Quelques propositions ont été faites ici, avec notamment l'ébauche d'un module de requêtes spatio-temporelles. Cette interface encore très perfectible doit bien évidemment être complétée sur deux points. D'une part, il est nécessaire de fournir à l'utilisateur des indicateurs plus riches que la simple moyenne des temps de parcours. D'autre part, l'ergonomie de l'interface est à améliorer pour intégrer toute la complexité des objets spatiaux et temporels. L'analyse doit être facilitée par un outil de visualisation capable de faire ressortir les processus et les dynamiques qui régissent la mobilité quotidienne.

Chapitre 2

Comment mettre les territoires urbains en mouvement : vers une animation des rythmes de la mobilité quotidienne

Après avoir examiné le système des déplacements à partir de l'infrastructure, la seconde expérience concerne les rythmes de la mobilité. La première partie a montré à quel point les transformations globales des sociétés industrialisées façonnent les temps de la vie quotidienne. Ces évolutions affectent particulièrement les déplacements des personnes et posent de nouveaux problèmes en terme de gestion urbaine. Or, un récent ouvrage, publié par le Conseil National des Transports, révèle une méconnaissance des caractéristiques des déplacements et de leur répartition dans l'espace-temps (Bailly 2001, Ascher, 1997). Les auteurs préconisent ainsi une adaptation des outils de représentation et de modélisation afin "*d'appréhender, plus précisément et en dynamique, l'ampleur et le rythme de diffusion des phénomènes observés, selon les populations et les contextes urbains*".

La problématique posée dans ce chapitre s'inscrit dans cette perspective, puisqu'il s'agit de mettre à profit les connaissances existantes sur la mobilité quotidienne et de produire une image animée des rythmes urbains. L'objectif final est d'élaborer un outil de visualisation capable de révéler toute la complexité des déplacements et d'assister les aménageurs dans l'organisation des temporalités de la ville. Ce

questionnement est le fruit d'une réflexion menée conjointement avec A. Banos et présenté dans un article en cours. Pour des raisons de disponibilité d'information, ce travail a été effectué uniquement sur le territoire communal de Besançon.

L'intégration et l'analyse des informations sur la mobilité urbaine des Bisontins dans le SIG-TI nous invite à enrichir le corps méthodologique précédemment défini à travers trois questions. Quelles sont tout d'abord les méthodes et les données disponibles pour appréhender ces phénomènes dynamiques ? Comment ensuite adapter ces informations existantes pour réaliser une cartographie animée des rythmes urbains ? Et enfin comment utiliser le potentiel de cette technique de visualisation en analyse spatiale ?

1. Connaître les mouvements de la ville

Depuis quelques années, l'analyse dynamique des rythmes urbains fait l'objet d'une attention particulière et constitue même l'un des thèmes majeurs du groupe opérationnel « Mobilité, territoires et développement durable » du troisième PREDIT. Les enquêtes ménages telles qu'elles sont construites en France permettent de rendre compte des déplacements des personnes dans les villes ; mais il conviendrait de les compléter pour arriver à une appréhension des dynamiques de la mobilité.

1.1. L'animation des rythmes de la mobilité urbaine : un état de l'art

Le potentiel de la cartographie animée et de la visualisation a été révélé dès la fin des années 1950 avec les travaux précurseurs entrepris par Norman J. W. Thrower (1959). Il faudra attendre les années 1970 pour que Waldo Tobler expérimente ses investigations sur la ville de Détroit à travers une simulation des dynamiques urbaines (Tobler, 1970, 1973). Moellering a entrepris peu de temps après des travaux similaires afin d'analyser des cartes animées sur les accidents en milieu urbain (Moellering, 1973, 1976). Avec les progrès de l'informatique, les travaux dans le domaine de l'animation se sont considérablement développés suscitant une littérature en constante évolution (DiBiase et al., 1992 ; Gould et al., 1990 ; MacEachern et al., 1992 ; Szego, 1987 ; Tobler, 1970). Ces techniques ont été appliquées plus récemment pour étudier les rythmes de la mobilité urbaine. De manière à asseoir notre propos, nous évoquerons trois exemples qui nous paraissent particulièrement significatifs de ce domaine de recherche.

Les travaux entrepris à l'école polytechnique de Milan sur l'analyse dynamique des rythmes urbains ont abouti à la construction des cartes chronotopiques dont le concept est développé à l'encart 14 (Masboungi, 2001 ; Guez et al., 2000 ; Bonfiglioli, 1997). Ces cartes animées permettent de saisir les variations de différents phénomènes dans l'espace et le temps. Ce dernier est représenté ici dans une troisième dimension pour compléter les représentations planes de l'espace géographique. Cette méthode a notamment été utilisée à partir d'une enquête sur la population d'une zone d'activité de la commune de Bolzano. Les cartes chronotopiques, à travers l'analyse des mouvements de concentration/déconcentration, se sont révélées très utiles à l'élaboration de la politique temporelle de la ville. Les recherches en cours concernent principalement l'accessibilité des services publics, la fréquentation d'un territoire ou la distribution spatiale et temporelle de l'offre commerciale.

encart 14 : Le concept de chronotope

Le concept de chronotope propose une approche des territoires comme ensemble de lieux urbanisés au cours de l'histoire. Ces territoires sont peuplés par des populations résidentes ou de passage, qui les pratiquent selon des cycles traçant des architectures temporelles caractéristiques. L'un des enjeux de la cartographie est de construire une vision partagée de phénomènes temporels qui animent le territoire occupé et généré par ces acteurs. Des cartes classiques, sur papier, permettent de décrire l'organisation des chronotopes composant un territoire ; des cartes cinématiques, sur support informatique, permettent de saisir les variations dans le temps de différents phénomènes. Les recherches actuelles vont dans le sens d'une identification des informations adaptées à une problématique définie : par exemple, l'accessibilité des services publics, la fréquentation d'un territoire, la distribution spatiale et temporelle de l'offre commerciale. Les outils de mesures spatio-temporelles ouvrent un champ nouveau au projet urbain avec un point de vue original de l'organisation du territoire.

Source : Guez et al., 2000

Les cartes en trois dimensions ont aussi été employées pour identifier les trajectoires de la mobilité sur la ville de Portland (Etats-Unis) (Kwan, 2000b ; 1998). Cette démarche analyse les rythmes urbains à travers les concepts développés par l'école suédoise de la Time geography. Une enquête spécifique a été construite afin de collecter des informations sur la fréquentation des lieux et la chaîne de déplacement des individus au cours de la journée. Ces données ont ensuite été intégrées dans un SIG, puis analysées dans un logiciel d'analyse exploratoire afin de mettre en évidence des trajectoires de mobilité dans l'espace et le temps.

Plus récemment, les comportements de mobilité ont été étudiés sur la communauté urbaine de Québec à partir d'une enquête origine/destination (Thériault et al, 1999b). Dans cette recherche la collecte d'information a été effectuée à une échelle désagrégée. Les individus enquêtés ont ainsi été invités à désigner la position et le moment où ils sont à leur domicile, sur leur lieu de travail et/ou d'activités. Les itinéraires pour relier ces lieux ont ensuite été décrits précisément. Une fois consignée dans un SIG, la répartition des déplacements et des activités a été analysée à partir d'une ellipse de variabilité. Cette méthode a notamment été utilisée pour

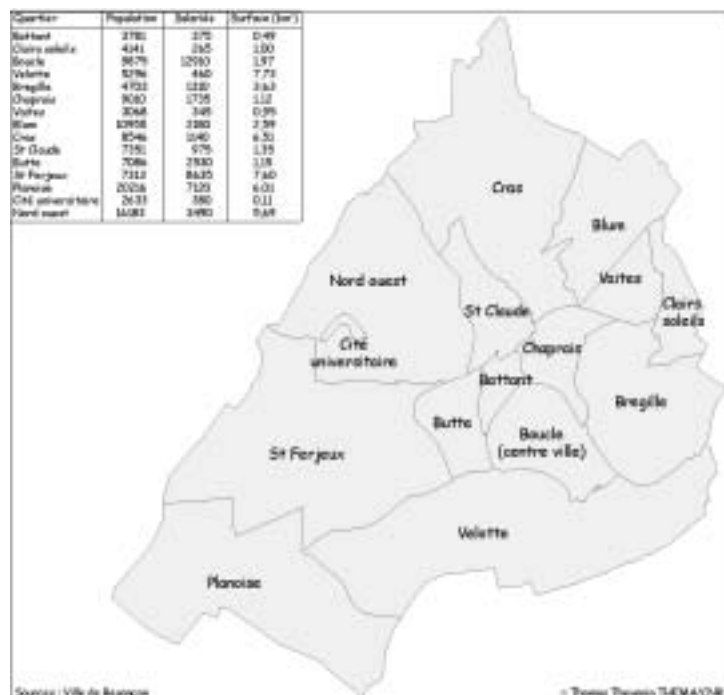
étudier la répartition des mères de familles monoparentales salariées dans la ville et au cours de la journée. Les auteurs envisagent l'animation des ellipses de variabilité pour mieux rendre compte des phénomènes dynamiques. Les résultats de cette enquête ont fait l'objet d'un travail d'animation lié à un module de requêtes spatio-temporelles (Frihida, 2001).

Ces travaux permettent d'analyser précisément les rythmes urbains. Toutefois, ils nécessitent des enquêtes spécifiques, souvent très coûteuses. L'équipe italienne de l'école polytechnique de Milan insiste en effet sur la rareté des données relatives à ces distributions dans le temps et l'espace. Dans les villes françaises, des sondages sont régulièrement effectués pour rendre compte de la mobilité des ménages. On peut alors s'interroger sur la possibilité de restituer les rythmes de vie et leur signification géographique par l'animation.

1.2. L'enquête ménage : une source d'information riche mais à adapter

L'enquête ménage constitue la seule source d'information disponible pour analyser les déplacements de toutes les catégories de personnes et l'ensemble des modes de transport à l'échelle de la ville. Mis en place dans les années 1970, ces sondages se sont révélés très adaptés pour répondre aux exigences des méthodes quantitatives, notamment dans l'élaboration des modèles de trafic. Ils présentent en revanche certaines limites pour produire des analyses qualitatives telles que les cartes animées. L'enquête ménage de Besançon, réalisée en 1992, constitue à cet égard un bon exemple et suscite deux remarques.

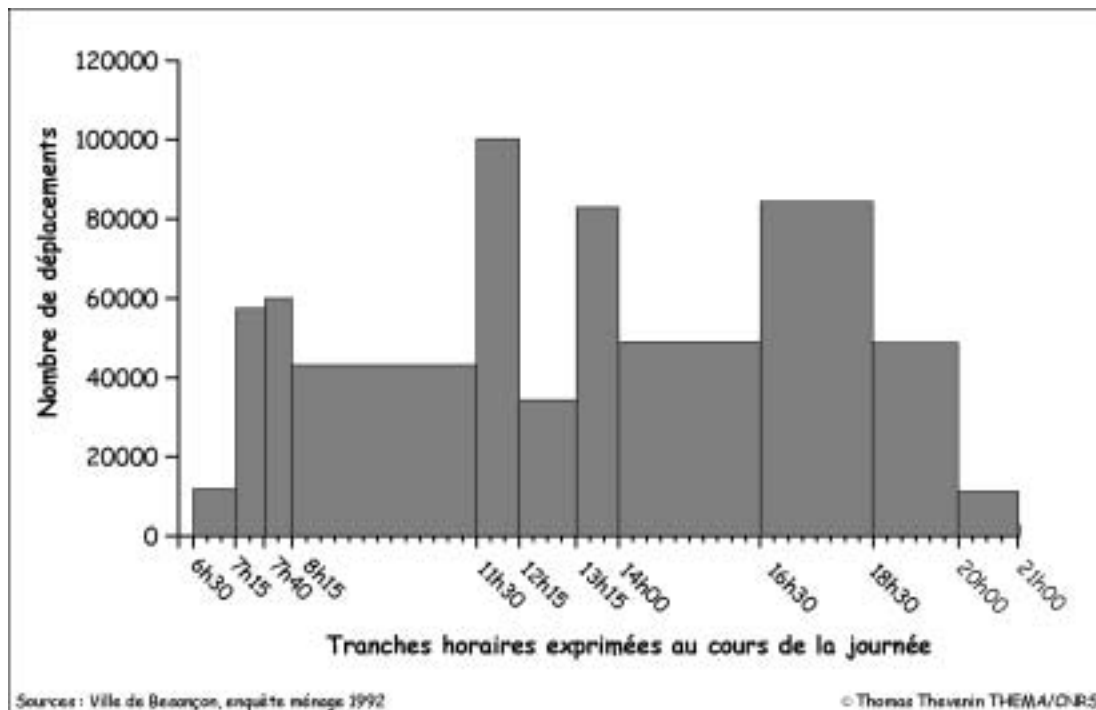
figure 71 : Le zonage de l'enquête ménage de Besançon



La première difficulté qui ressort de ce sondage, tient à la simplification systématique de l'espace géographique. Les informations collectées sont en effet agrégées dans un système zonal où la taille des unités spatiales en termes de surface et de population varie très fortement (figure 71). La perte d'informations occasionnée par ce procédé interdit l'étude de certaines composantes de la mobilité, comme l'analyse de la chaîne de déplacements ou encore l'observation des flux situés à l'intérieur des zones. De plus cette approche agrégée fait l'hypothèse que la répartition de la population est homogène ce qui n'est évidemment pas le cas.

La seconde critique concerne davantage la prise en compte du temps dans les enquêtes ménages. La discrétisation des informations temporelles est souvent effectuée en fonction des heures de pointe. Dans le cas précis de l'enquête bisontine, les tranches horaires proposées peuvent être très longues, parfois 3 heures, et irrégulières, de 30 minutes à 3 heures. Cette variabilité du découpage temporel interdit ainsi toute comparaison entre les différentes périodes de la journée. En outre, cette conception du temps ne permet pas de considérer l'heure de départ d'un déplacement ou la durée d'une activité, informations pourtant essentielles à l'analyse de la mobilité.

figure 72 : Distribution horaire des déplacements de l'enquête ménage de Besançon



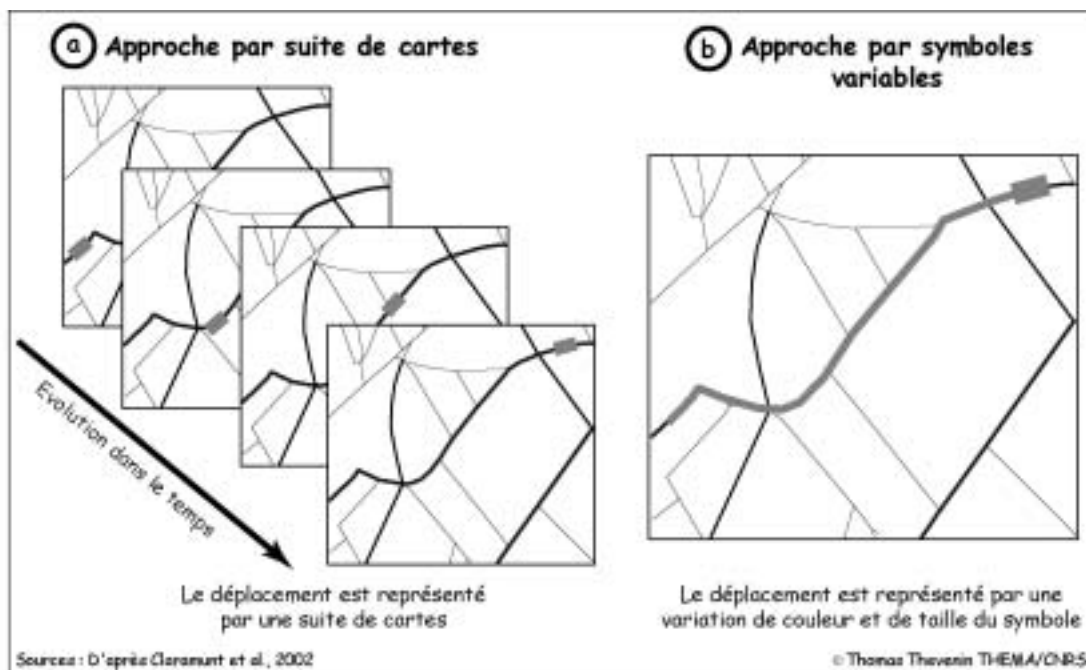
Ce dispositif d'observation de la mobilité dans les villes françaises a été actualisé en 1998 par le Centre d'Etude sur les Réseaux de Transports Urbains (CERTU). Cet organisme d'Etat a en effet défini une méthodologie standard, afin de faciliter la réalisation d'études comparatives au niveau national. Malgré cette réforme, le caractère agrégé des enquêtes ménages reste une référence. Les imprécisions

inhérentes à cette approche soulèvent une question récurrente dans cette recherche et d'une manière générale dans le domaine des représentations spatio-temporelles : comment adapter des informations discrètes pour restituer un phénomène continu (Peuquet, 2001 ; Zang et al., 2000) ?

1.3. Quelques clés techniques pour animer les rythmes urbains

Rapporté à l'espace, l'enquête ménage dont nous disposons rassemble des informations sur les déplacements selon un zonage intermédiaire entre le quartier INSEE et le découpage par îlots. Or, cette unité spatiale reste trop imprécise pour considérer les rythmes urbains. La désagrégation des informations a été une fois encore privilégiée, afin de considérer l'ensemble des lieux diffus qui émettent des déplacements, comme le domicile ou au contraire les "reçoivent" comme les lieux de travail, d'étude ou d'achat. Le second terme à considérer est le temps. Il s'agit ici de s'affranchir du découpage en tranche horaire à l'aide de méthodes d'interpolation appropriées permettant d'appréhender le temps dans sa continuité.

figure 73 : Les deux principales méthodes de visualisation



Un autre ensemble technique à maîtriser concerne les outils d'animation. A l'image du réseau de transports publics, les informations sur le temps ont été modélisées au sein du SIG-TI dans une troisième dimension, le plan étant réservé aux objets spatiaux. Du point de vue de la visualisation deux démarches sont couramment utilisées pour représenter les phénomènes dynamiques à partir du SIG (Sezgo, 1987 ; MacEachren, 1994). Une première solution consiste à appliquer une séquence de cartes ordonnée par le temps (figure 73a). Cette technique commode à mettre en œuvre révèle les caractéristiques globale d'un phénomène dynamique. Elle reste en

revanche très limitée pour repérer les évolutions locales et les interactions entre l'espace et le temps. La seconde approche repose sur des symboles de taille, de couleur ou de position variables sur un fond de carte fixe (figure 73b). Ce mode de représentation apporte une vision locale et considère le changement au niveau individuel de l'objet (Claramunt et al. 2000). Ces deux approches complémentaires ont été mises en œuvre ici de manière à restituer la complexité des rythmes urbains de l'échelle globale à l'échelle locale.

Si la visualisation de cartes animée n'est pas un sujet de recherche récent, les logiciels pour la mettre en œuvre restent encore très confidentiels (Openshaw et al., 1994 ; Gahegan, 2000). Le développement d'outils spécifiques fondés sur deux techniques de visualisation a ainsi été nécessaire pour arriver à nos fins. L'animation de cartes en séquence implique des procédures de défilement automatisées. Ces opérations ont été reproduites au sein du SIG-TI dans un module spécifique. L'analyse à l'échelle locale a été réalisée à l'aide d'une seconde technique de visualisation basée sur l'analyse exploratoire des données spatiales. De récents travaux ont en effet abouti à des outils de "géovisualisation" très adaptés pour étudier la mobilité (Anselin, 1998 ; Kwan, 2000b). Nous avons ainsi opté pour le développement d'un module spécifique au sein du logiciel d'analyse exploratoire Xlisp Stat, afin de permettre une lecture cartographique des rythmes urbains à une échelle fine.

Malgré leur intérêt, toutes ces expériences sont limitées par la faible abondance des informations disponibles sur la mobilité. En France, si les enquêtes ménages constituent la seule source d'information utilisable, encore, nécessitent-elles un important effort d'adaptation, comme nous venons de le montrer.

2. Vers une animation des rythmes urbains

Les techniques de visualisation précédemment évoquées ont été mises en œuvre sur la commune de Besançon à partir des résultats de l'enquête ménage. A cette fin, deux grandes étapes ont été suivies, la désagrégation des données dans l'espace et le temps puis l'animation proprement dite.

2.1. Du protocole de désagrégation spatio-temporelle...

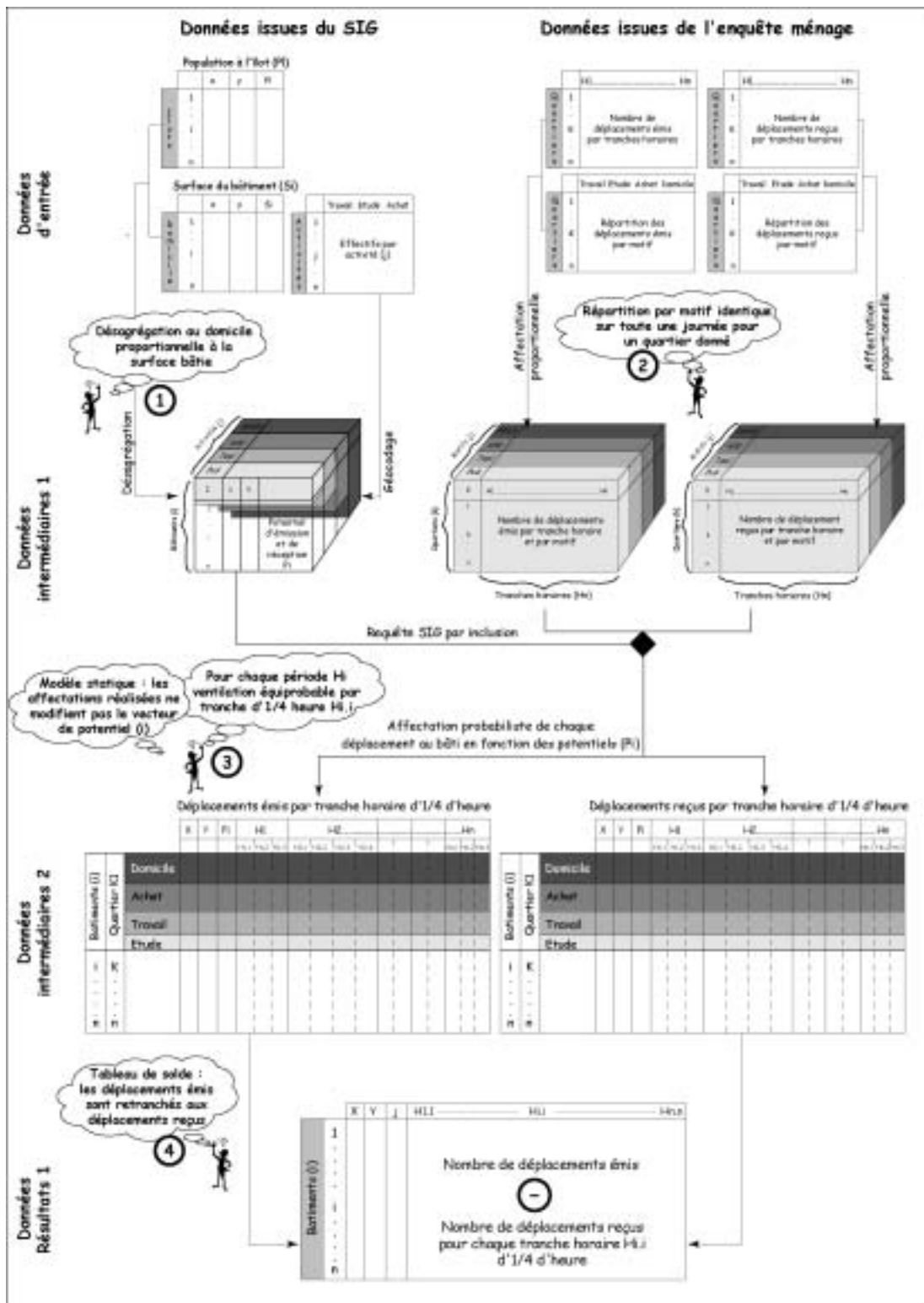
Nous avons largement insisté dans la section précédente sur le caractère agrégé des informations livrées par les enquêtes ménages. L'exemple du sondage de Besançon est révélateur à cet égard, puisque les déplacements ont été collectés à l'échelle des quartiers et en mettant l'accent sur les périodes de pointe. Or, l'exploitation de ces informations en l'état ne permet pas de mettre en évidence les rythmes de mobilité dans l'espace et le temps. Un protocole de transformation de l'information, fondé sur l'approche systématiquement désagrégée, a ainsi été mis au point afin de mieux appréhender les variations imposées par le contexte urbain. L'adaptation requise des

données de l'enquête ménage à une échelle fine porte sur deux points. Sur le plan spatial tout d'abord, *l'intensité des rythmes urbains s'effectue en fonction de la répartition individuelle des hommes et de leurs activités dans l'espace*. D'un point de vue temporel ensuite, *la distribution des déplacements est considérée comme un phénomène continu qui se déroule tout au long de la journée et qu'il convient de restituer comme tel*.

Ces deux opérations se subdivisent chacune en deux étapes (figure 74). Les deux premières concernent le processus de désagrégation. Elles consistent à estimer pour chaque type de bâtiment et chaque motif les déplacements potentiellement émis et attirés. Ce potentiel a été déterminé en fonction de la population au lieu de résidence et des effectifs des lieux d'activité. Pour cela, les résultats de la procédure de localisation désagrégée de la population et des activités, présentées à la figure 57 (p.156), ont été repris. La seconde étape vient pallier une imperfection de la base de données de l'enquête ménage. Les informations sur les déplacements pour les quatre motifs (travail, étude, achat et domicile) n'ont pas été reliées aux données sur la distribution horaire des trajets (découpée en 11 tranches horaires). Une affectation proportionnelle a été appliquée pour mettre en relation ces deux informations. Le résultat de cette opération a permis de construire une matrice en quatre dimensions qui recense le nombre de déplacements émis par tranche horaire (H_i) pour chaque quartier (K) en fonction des quatre motifs (j) (travail, étude, achat et domicile). Une matrice identique a été dressée pour les déplacements reçus. Ces trajets ont ensuite été intégrés dans le SIG-TI et mis en relation avec la couche des lieux de résidence et d'activité via une simple requête par inclusion.

La seconde opération concerne la restauration temporelle effectuée aussi en deux temps. Il s'agit ici de ventiler les déplacements de l'enquête ménage dans l'espace et le temps. Pour la première, deux tableaux ont été dressés afin de recenser les déplacements émis et reçus. Chaque ligne correspond à un bâtiment géoréférencé par ses coordonnées géographiques et décrit sa fonction et son quartier d'appartenance. En colonne, les 11 périodes de durées variables définies dans l'enquête ménage sont redécoupées en 58 périodes de 15 minutes chacune afin de couvrir l'ensemble de la journée. Les cellules de ce tableau sont complétées grâce à une règle de répartition équiprobable des déplacements dans les 58 périodes. Dans la dernière étape, une simple soustraction entre les deux tableaux permet de faire le solde des déplacements ; les valeurs positives représentent les déplacements en réception et les valeurs négatives les déplacements en émissions. Cette information une fois structurée, l'animation des rythmes de mobilité peut être envisagée dans une nouvelle démarche.

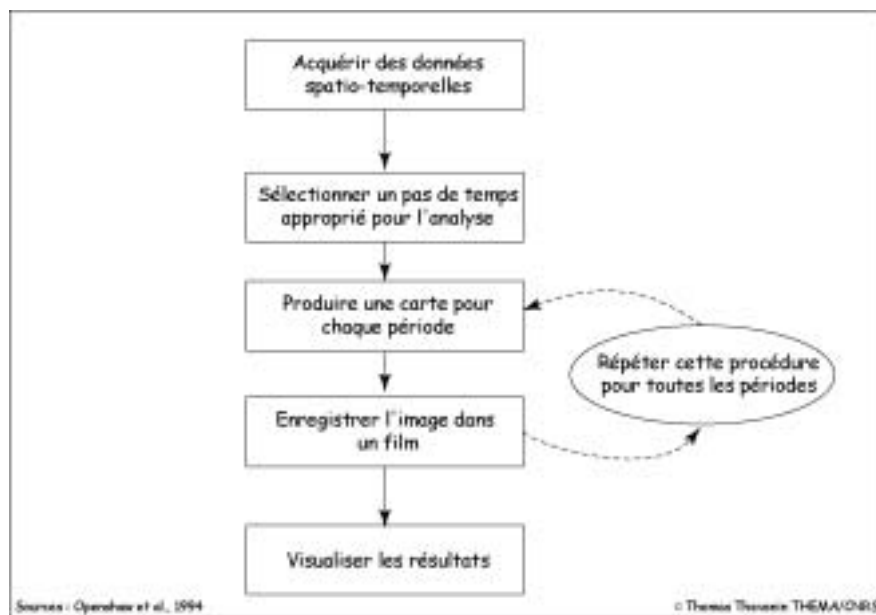
figure 74 : Le protocole de désagrégation spatio-temporelle d'une enquête ménage



2.2. ... au protocole d'animation cartographique

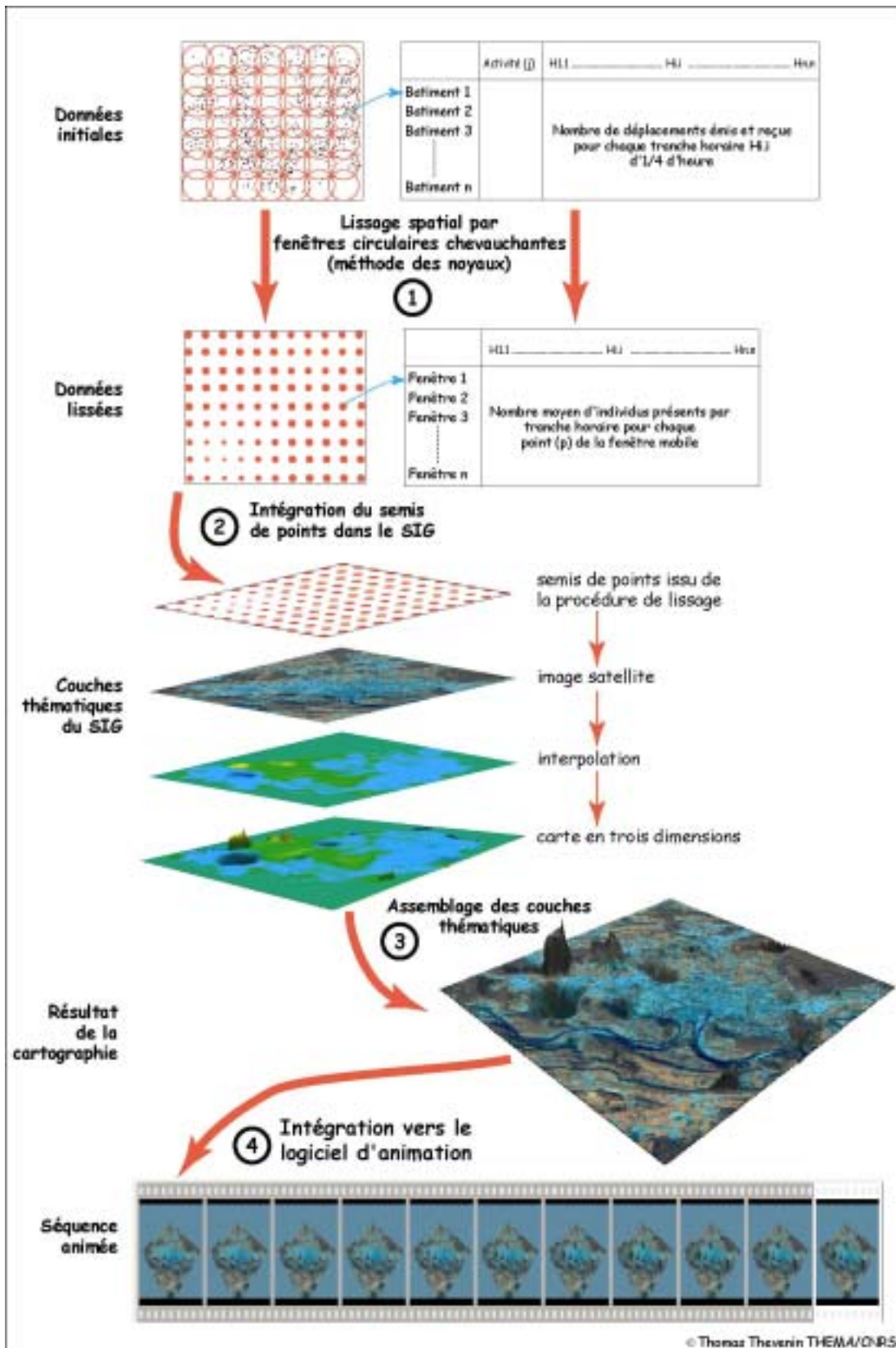
La procédure d'animation proposée par Tobler et Moellering dans les années 1970 est constituée d'un "algorithme d'animation cartographique par vidéo" qui opère en six étapes représentées à la figure 75. La principale difficulté rencontrée par ces deux chercheurs était de réaliser un nombre de cartes important, une centaine environ, puis de les enregistrer sur une vidéocassette. Les lourdes manipulations que cela entraînait expliquent sans doute pourquoi le potentiel des cartes animées par vidéo n'a jamais été totalement utilisé en analyse spatiale (Openshaw et al., 1994).

figure 75 : L'animation cartographique par "l'algorithme" de Tobler et Moellering



L'évolution de la capacité de traitement des ordinateurs a facilité l'animation, en remettant d'actualité l'algorithme de Tobler et Moellering au prix de quelques adaptations. Le recours à la méthode de lissage spatial, précédemment utilisée, permet de faire ressortir les configurations spatio-temporelles associées aux rythmes de mobilité. Ce mode de représentation est ensuite complété par une vue en trois dimensions qui met en relief les "palpitations territoriales" au cours de la journée (Banos, 2001a). Les déformations du territoire provoquées par les mouvements de concentration et de déconcentration liés aux rythmes de la mobilité sont ainsi mis en scène. L'automatisation de ces réalisations cartographiques est nécessaire afin de constituer un nombre de cartes suffisant pour une animation efficace. Enfin, un logiciel d'animation facile d'utilisation et doté d'un algorithme de compression permet de constituer le fichier final et de procéder commodément à toutes les démonstrations voulues.

figure 76 : Le parcours méthodologique d'une carte animée



La figure 76 fournit l'organigramme synthétique de la procédure d'animation en question. Le tableau initial provient du protocole de désagrégation, développé dans la section précédente, dont les informations ont été spatialisées point à point. A chacun de ces points correspond le nombre de déplacements émis ou attirés pour les H périodes horaires. La procédure de lissage spatial a été appliquée dans une première étape. L'espace est ici balayé par des fenêtres mobiles circulaires afin de déterminer le nombre de déplacements moyens en chacune de ces fenêtres. La distance séparant chaque individu du centre de la fenêtre est calculée en vue d'une pondération. Le nombre de déplacements moyens pour chaque fenêtre et chaque catégorie d'horaire est alors stocké dans un tableau individus variables. Le centroïde de chaque fenêtre correspond au nombre moyen de déplacements émis ou attirés en fonction des périodes horaires considérées.

La seconde étape de la démarche consiste à dresser une carte lissée pour chaque tranche horaire H du tableau. Cette procédure a été automatisée dans un prototype spécialement développé pour cette étude, que nous avons appelé 3D Map Engine. Ce module, directement intégré au SIG-TI, compose, à partir du semis de points, une carte lissée en deux dimensions, complétée ensuite par une représentation en 3D. Une couche d'habillage, ici une image satellite, est drapée sur la carte afin d'aider l'utilisateur à se repérer au cours de l'analyse. L'ensemble est enfin exporté vers le logiciel d'animation. L'opération est répétée pour chacune des tranches horaires considérées. Cette application montre à quel point l'algorithme proposé par Tobler et Moellering est encore d'actualité.

3. Visualiser les rythmes urbains

La désagrégation et l'animation telles que nous venons de les présenter conduisent à une élaboration poussée de l'information sur les rythmes urbains produits par la mobilité quotidienne. Il s'agit maintenant de prolonger cet effort de manière à faire de ces techniques de visualisation, de véritables outils d'investigation et de compréhension des déplacements urbains. A travers l'exemple de Besançon, nous verrons comment interpréter une animation pour mieux connaître et décrypter les rythmes urbains. Cet examen sera ensuite complété par une analyse exploratoire des données.

3.1. Découvrir les rythmes urbains dans l'espace-temps par la carte animée

Avant de commenter la cartographie des rythmes urbains sur la commune de Besançon, il est nécessaire de s'interroger sur l'interprétation de tels documents animés. En règle générale, l'interprétation cartographique est toujours suspecte de subjectivité (Brunet, 1993). Cette critique est semble-t-il accentuée lorsqu'il s'agit de cartes animées. Le mouvement, l'ordre et la vitesse de défilement des images

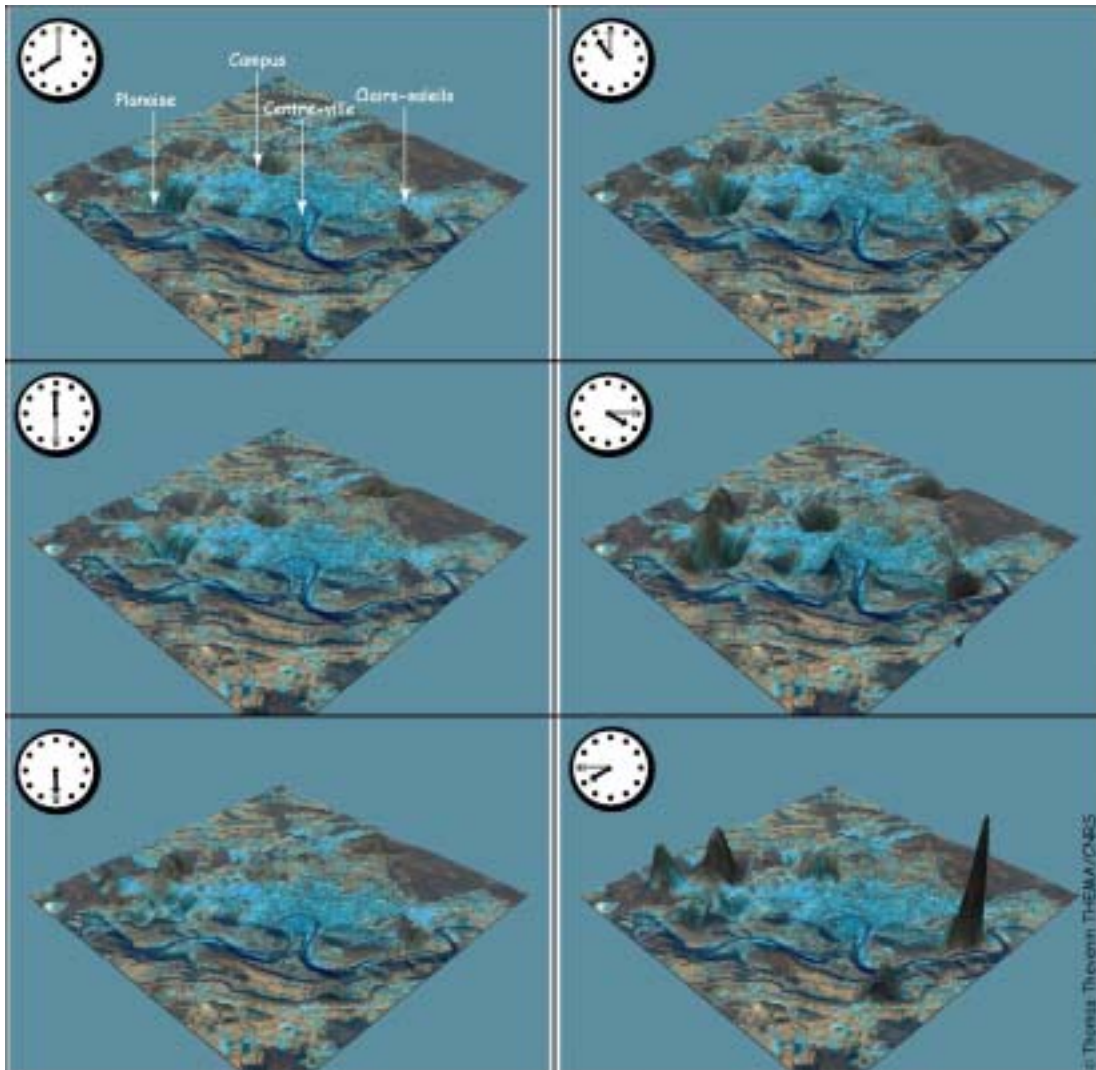
conditionnent largement l'interprétation. D'après H. Hearnshaw (1994), qui se réfère aux apports des sciences cognitives, une même image peut conduire à des interprétations très différentes selon les observateurs. Lorsqu'on étudie une animation, l'œil se concentre sur la partie de l'image qui a capté l'attention. L'interprétation de l'intégralité d'une image est ainsi largement liée à une vision partielle et individuelle. Le problème de la sélection d'une image se pose également à l'échelle d'une séquence complète. L'utilisateur doit en effet choisir des images suffisamment significatives pour étayer son commentaire. Derrière ces "images significatives", c'est à la fois l'expérience de l'analyste et sa capacité à mémoriser les images qui sont mises à contribution. Face à ces différentes attitudes, quelle stratégie adopter pour diminuer la part de subjectivité dans l'interprétation ? Doit-on observer l'animation globalement pour en dégager ensuite les détails ou doit-on au contraire accumuler les détails pour reconstituer une vision globale ?

L'analyse descendante, de l'échelle globale à l'échelle locale, est sans doute la plus appropriée pour examiner les animations en question. L'objectif recherché est de fournir un guide d'interprétation et de donner une signification aux mouvements de concentration/déconcentration qui distinguent l'espace déformé par l'animation et l'espace de référence. Dans notre cas, une lecture en trois étapes est ainsi proposée. Une lecture temporelle est tout d'abord effectuée pour repérer les différentes séquences au cours de la journée. Un second examen consiste à localiser les secteurs qui émettent et reçoivent des déplacements afin de caractériser les séquences précédemment identifiées. Une troisième lecture permet enfin d'observer les phénomènes locaux.

Ce guide d'interprétation a permis de dégager de l'animation une organisation des rythmes de mobilité en six séquences, dont les images les plus significatives ont été représentées à la figure 77 :

- Entre 6h et 8h : les zones résidentielles se vident et les flux se répartissent de façon homogène sur l'espace communal.
- De 8h à 11h15 : les zones résidentielles continuent à émettre des déplacements et les flux tendent à se rassembler au centre-ville. Ce décalage avec la période précédente est sans doute lié à la présence importante des activités de bureau et de commerce, dont les heures d'ouverture débutent majoritairement vers 9 heures.
- De 11h30 à 13h : on observe un retour au domicile aux heures des repas avec les zones résidentielles qui attirent des déplacements.
- De 13h à 16h30 : la reprise des activités de l'après-midi apparaît.
- De 16h30 à 18h45 : le retour au domicile s'effectue progressivement.
- De 18h45 à 20h45 : les zones résidentielles attirent d'une façon définitive la majorité des flux.

figure 77 : L'animation des rythmes urbains en image



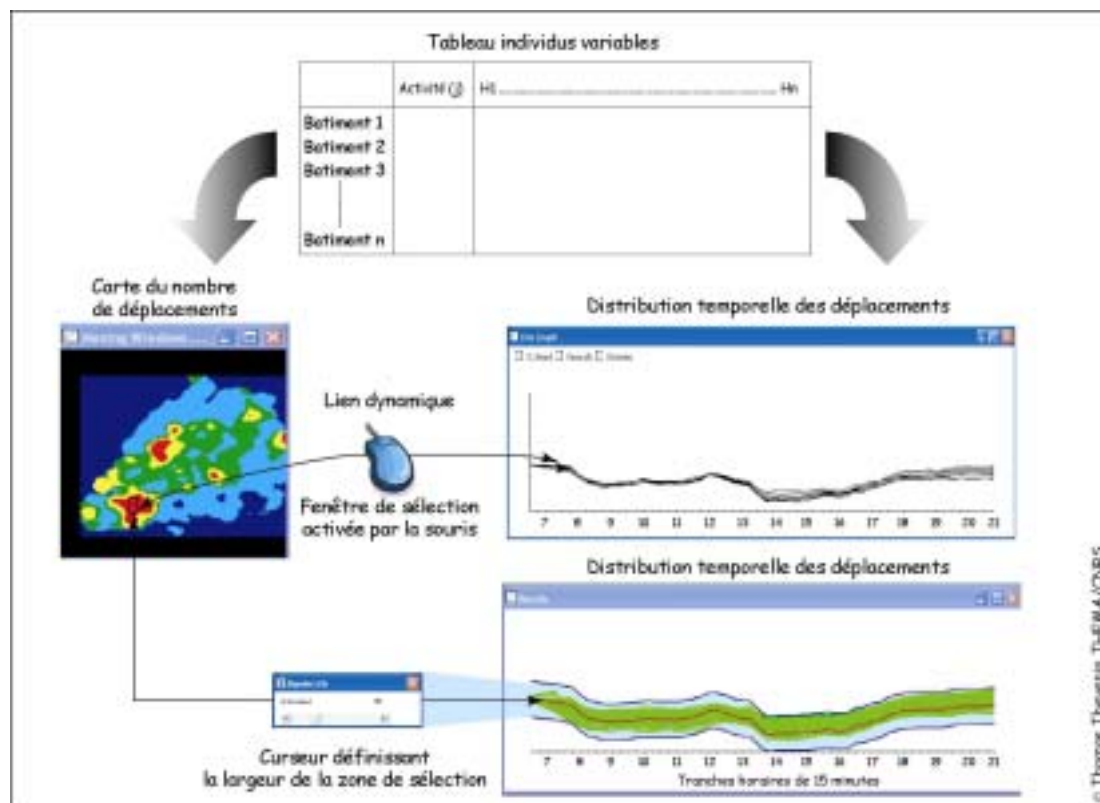
Une analyse plus détaillée a permis de faire ressortir trois secteurs présentant des rythmes de mobilité atypiques. Le quartier des Clairs-soleils, premièrement, est marqué par une forte concentration des déplacements. Cette pointe est liée à la structure de l'habitat, majoritairement constituée de bâtiments collectifs très proches. Planoise, deuxièmement, ressort de prime abord comme le quartier résidentiel qui émet le plus de déplacements. La réalité est cependant plus complexe car ce secteur rassemble des activités regroupant des effectifs importants comme des établissements scolaires ou des administrations. La mixité des activités de ce quartier est masquée par le mode de représentation car les pics de mobilité sont masqués par les creux largement représentés dans ce secteur. Le même constat peut être fait dans le quartier du campus. Ce secteur qui attire près de 8 000 étudiants est paradoxalement représenté comme un lieu émetteur de trafic. Cette contradiction s'explique par les nombreux logements d'étudiants situés dans cette partie de la ville. Ces exemples montrent ainsi les limites de l'animation cartographique. Il apparaît essentiel, pour

remédier à cet écueil, de multiplier les points de vue et de fournir à l'utilisateur un outil capable d'analyser les rythmes urbains à l'échelle locale.

3.2. Au-delà de l'animation, l'exploration des rythmes urbains

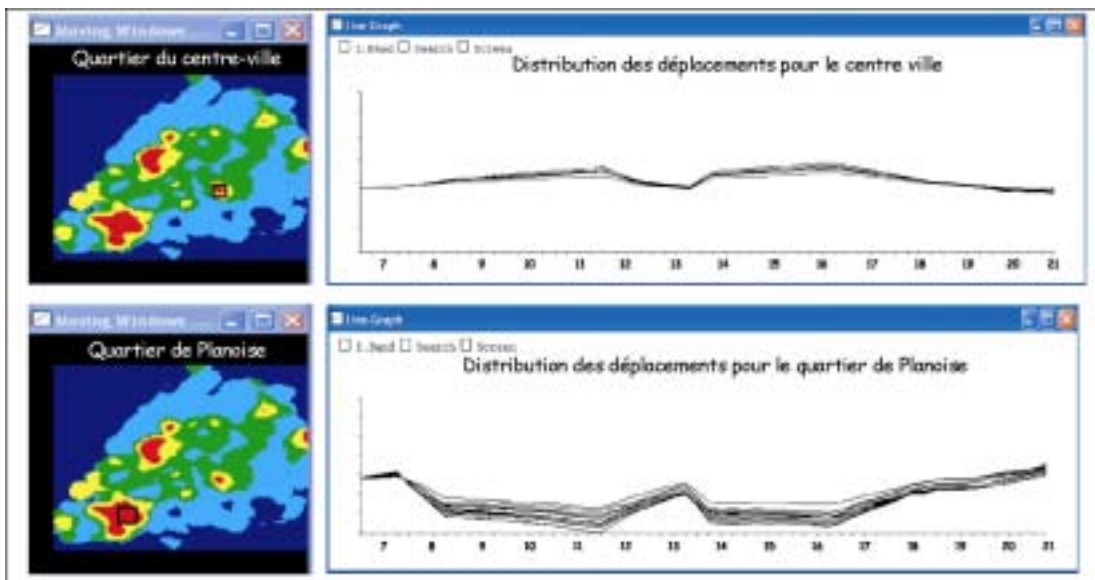
L'animation cartographique permet certes une lecture des rythmes urbains efficace en première approche. Cependant, en dépit des nombreuses fonctions d'arrêt sur image, de retour en arrière ou de curseurs dynamiques, cette technique implique une attitude passive de l'utilisateur. Afin de dépasser cette limite, ne peut-on pas recourir à un outil de visualisation conçu pour associer davantage l'analyste au processus de compréhension des données ? Fondés sur l'idée d'interaction, les outils d'analyse exploratoire semblent tout désignés pour compléter notre dispositif. Les travaux menés au laboratoire THEMA dans le domaine de l'analyse spatiale exploratoire des données ont été mis à profit dans cette recherche. Un prototype de navigation spatio-temporelle, dont l'efficacité a déjà été démontrée au cours de travaux précédents (Banos, 2001a ; 2001b ; Thevenin, 2001), fut utilisé pour analyser les mouvements de la ville. Cet instrument permet d'examiner de façon interactive la distribution d'un événement au cours du temps.

figure 78 : Un outil de navigation spatio-temporelle



La figure 78 récapitule la démarche proposée par cet outil en prenant l'exemple des rythmes urbains. Tout d'abord, les données d'origine proviennent du tableau individus/variables, utilisé précédemment pour l'animation cartographique. L'objectif de ce travail étant de faire ressortir des configurations spatiales, l'information fut une nouvelle fois lissée. Le résultat de cette opération aboutit à la création d'une carte en semis de points réguliers, dont les couleurs expriment le nombre moyen de déplacements. Pour chaque point du semis a été calculé le nombre moyen de déplacements par tranche horaire de quinze minutes sur l'ensemble de la journée. Cette information a ensuite été intégrée dans un graphique lié dynamiquement à la carte. L'interaction directe entre la carte et le graphique permet d'effectuer des requêtes à l'aide de la souris. La technique du brushing autorise notamment une observation continue de la distribution des déplacements en fonction du mouvement de la souris sur la carte. Ce mode d'exploration des données peut être complété par la formulation de requêtes complexes. Cette fonction permet de rechercher automatiquement *des configurations temporelles similaires* sur l'ensemble de l'espace étudié. Ce dispositif consiste tout d'abord à sélectionner une distribution temporelle de référence. Il s'agit ensuite à l'aide d'un curseur de définir une bande de sélection autour de cette distribution. Cette requête complexe permet ainsi de retranscrire de façon *graphique l'idée de configuration spatio-temporelle similaire*.

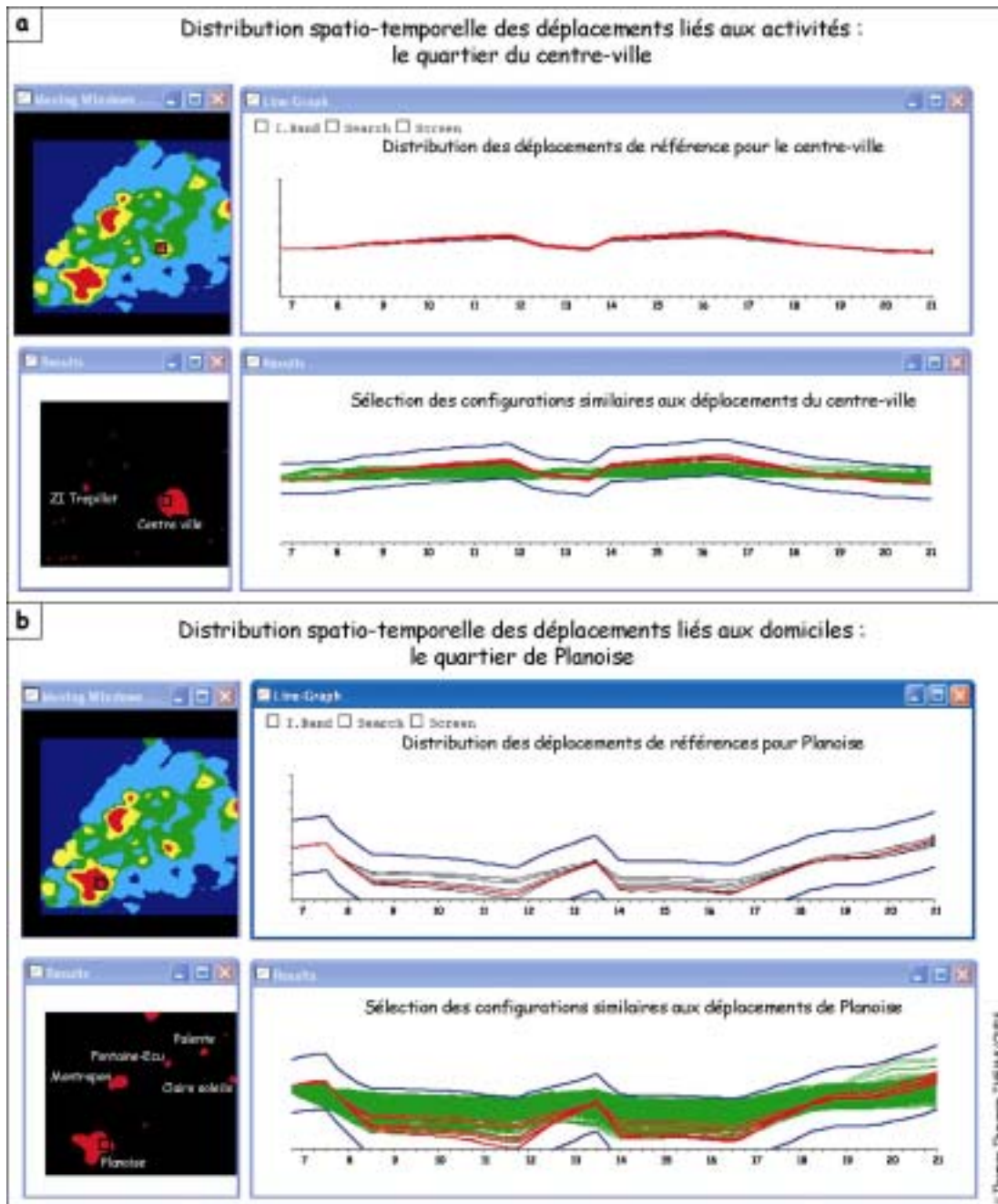
figure 79 : Le centre-ville et Planoise : deux quartiers de référence



La démarche que met en oeuvre cet outil nous conduit maintenant à l'analyse des rythmes urbains. Une première exploration des distributions spatio-temporelles a permis d'identifier deux configurations de référence (figure 79). Les déplacements attirés par les activités de travail, d'étude et d'achat ressortent tout d'abord et concernent plus particulièrement le centre-ville. Cette configuration est caractérisée

par des heures de pointe le matin, avec l'arrivée sur le lieu d'activité et par la reprise l'après midi. Les heures creuses correspondent au retour au domicile pour le repas de midi et la fin de la journée. La seconde configuration spatiale de référence concerne les déplacements émis par les zones résidentielles. Le quartier de Planoise permet d'identifier les quatre séquences précédemment évoquées mais la courbe est cette fois inversée.

figure 80 : Recherche des configurations spatio-temporelles des déplacements



Ces deux situations de référence nous amènent maintenant à observer leur répartition sur l'ensemble du territoire. Pour les déplacements liés aux activités, la requête complexe, dont les résultats sont présentés à la figure 80, fait ressortir principalement le centre-ville et dans une moindre mesure la zone industrielle de Trépillot. Dans le cas des déplacements émis par les zones résidentielles, cette requête rassemble la plupart des cités HLM de la ville.

Il faut enfin préciser que l'analyse des rythmes urbains à partir d'une carte lissée peut être assortie d'un examen identique à l'échelle d'un bâtiment précis. Complétée par une cartographie animée, la démarche ici proposée offre ainsi le moyen d'une véritable lecture multiscalaire des rythmes urbains.

3.3. Quelques propositions pour améliorer l'analyse des rythmes urbains

Les deux outils de visualisation précédemment présentés ont été employés de façon complémentaire pour effectuer une analyse de la mobilité à la fois à l'échelle globale et locale. La démarche mise en œuvre pour constituer ces modes de représentation exige de lourdes étapes de transformation des données. Aussi, on peut se demander comment simplifier ce processus et améliorer de fait l'étude des rythmes urbains. A cette fin on peut faire porter l'amélioration sur deux points. Il s'agit dans un premier temps d'améliorer la connaissance des déplacements et du contexte géographique et d'augmenter dans un second temps la capacité d'analyse des outils de visualisation.

L'acquisition des données sur la mobilité est soumise à des clauses de confidentialité de l'information imposées par la Commission Nationale Informatique et Liberté (CNIL) (CERTU, 1998). Il paraît donc difficile de faire évoluer les enquêtes ménages vers une connaissance très précise des déplacements référencés dans l'espace et le temps. Le recours à des méthodes de désagrégation paraît ainsi inévitable. Le protocole de désagrégation proposé au cours de ce chapitre repose sur des hypothèses parfois trop simplificatrices. L'accès à des informations géographiques plus précises et des modifications minimales de l'enquête ménage permettraient assurément d'optimiser les quatre étapes du processus de ventilation des données. Dans la première phase, la redistribution de la population pondérée par la surface du bâti pourrait être perfectionnée en ajoutant la hauteur des bâtiments, disponible dans le fichier cadastral. L'exploitation de l'enquête ménage de Besançon, dans la seconde phase, nous amène à proposer trois améliorations :

- Il est nécessaire de définir un mode de découpage spatial qui tienne compte des caractéristiques géographiques intrinsèques du territoire, plutôt que des contraintes imposées par les logiciels de modélisation de trafic. Ce premier aménagement permettrait de répartir les données spatiales de façon plus rigoureuses.

- Un découpage temporel basé non pas sur les heures de pointe mais sur des tranches horaires régulières de 15 à 30 minutes éviterait des approximations inhérentes aux méthodes de lissage temporel.
- Les différents fichiers doivent être organisés dans une base de données ad hoc, afin de conserver notamment le lien entre la distribution horaire des déplacements et les motifs de ceux-ci.

La troisième étape du protocole, la ventilation des données dans le temps, peut être améliorée en utilisant des distributions des déplacements issues d'autres enquêtes ménages, notamment l'enquête nationale sur les transports et la communication réalisée par l'INSEE (1996). Il s'agit enfin dans la quatrième et dernière phase de recourir à un mode d'affectation dynamique où les déplacements et les motifs associés sont ventilés en temps réel en fonction des capacités d'émission et de réception des lieux.

Ces propositions visant la qualité des informations nous conduisent à aborder une deuxième série de recommandations concernant les modes de visualisation. Le premier point s'intéresse à la représentation des déplacements. La surface a été privilégiée dans cette recherche par le recours à une procédure de lissage pour rendre compte de la distribution des trajets dans le temps et l'espace. Si cette information était disponible à l'échelle du réseau de transport, une représentation des rythmes de mobilité rapportée au réseau viaire serait tout à fait envisageable. Du côté de l'animation maintenant, l'expérience de Besançon a montré que de nombreux transferts de fichiers entre les logiciels sont nécessaires avant d'aboutir au résultat. Il paraît souhaitable d'intégrer un outil de visualisation animé directement au sein du SIG. Le but recherché n'est pas seulement d'améliorer l'ergonomie du module 3DMAP ENGINE mais de laisser à l'utilisateur la maîtrise totale de l'animation. Il s'agit pour cela de concevoir un environnement informatique suffisamment interactif pour que l'analyste puisse choisir le point de vue, effectuer des rotations et sélectionner la vitesse de défilement des images. Grâce à ces différentes fonctions, l'utilisateur sera en mesure de saisir toute la complexité des rythmes urbains en parcourant la totalité de l'espace virtuel qui lui est proposé.

La cartographie animée, associée à l'exploration des séries spatio-temporelles constituent deux outils d'analyse complémentaires. Le premier permet en effet d'identifier des configurations de référence, tandis que le second se porte vers des situations de détail. La capacité de ces deux techniques de visualisation peut être optimisée à travers d'une part l'amélioration des résultats de l'enquête ménage et d'autre part une intégration des options de visualisation directement exploitable au sein du SIG.

Conclusion

Le recours aux informations issues de l'enquête ménage de Besançon a permis de restituer une image animée des rythmes urbains, apte à révéler toute la complexité de la mobilité à la fois dans l'espace et le temps. Le chemin parcouru pour aboutir à ce résultat n'a pas été exempt de certains détours. Les informations de l'enquête ménage n'étant pas directement exploitables pour effectuer directement une analyse dynamique, un protocole de désagrégation spatio-temporelle a été mis au point. Ces données une fois mises en forme ont été intégrées dans un module spécifique, conçu pour produire des cartes en série. Ces résultats ont finalement été interprétés à partir de deux techniques de visualisation : la cartographie animée et l'analyse exploratoire. Complémentaires, ces deux outils ont conduit à une représentation visuelle facilitant la compréhension de la mobilité à différentes échelles. La puissance de ces techniques semble ouvrir de larges perspectives en matière d'aménagement des temporalités urbaines. On peut en effet envisager de tester de façon purement graphique l'impact de certaines politiques temporelles sur la mobilité, comme le décalage des horaires de cours des étudiants ou l'ouverture de certains services. L'application de cette technique à l'organisation de nouveaux services de transports publics serait certainement utile. Pour mener de telles investigations, une nouvelle enquête ménage étendue à l'ensemble des communes de la Communauté d'Agglomération du Grand Besançon semble indispensable ; en même temps qu'il faudrait simplifier le processus technique que nous avons élaboré et qui constitue en l'état actuel un prototype.

Chapitre 3

De l'information géographique à la mise en place d'un mode de transport souple : expérimentation et prospective du service de transport à la demande Evolis

Jusqu'à présent, les informations désagrégées mises en œuvre dans le SIG-TI ont été utilisées pour répondre à des besoins de planification. L'analyse et la visualisation constituent deux fonctions des SIG-T très adaptées aux investigations sur les transports. Ces outils sont également appropriés pour répondre à des besoins opérationnels (Trépanier, 2002 ; Dueker et al., 2000). Nous verrons comment le modèle de données employé dans le SIG-TI et d'une manière générale l'information géographique ont contribué à l'élaboration, puis à l'expérimentation d'un service de transports publics sur la ville de Besançon.

La conception puis le fonctionnement de ce service de transport, baptisé Evolis, seront tout d'abord présentés. Les perspectives d'évolution seront ensuite envisagées à travers le projet d'extension d'Evolis à l'ensemble de l'agglomération. Un exercice de prospective permettra enfin de réfléchir à la mise en intermodalité du service Evolis avec les transports publics classiques sur le système des axes verts personnalisés, présenté dans la première partie de ce travail.

1. L'expérience du service de transport Evolis-Gare

Depuis le mois d'octobre 2000, le service de transport à la demande "EVOLIS" a été mis en place sur la commune Besançon pour acheminer les voyageurs des TGV du matin à la gare. Ce service expérimental, à vocation intermodale, est le fruit d'une réflexion menée avec l'équipe marketing de la CTB¹, des informaticiens du LIFC² et de l'IMAG³ ainsi que des géographes de l'UMR THEMA⁴, dans le cadre d'un programme de recherche financé par le PREDIT⁵.

figure 81 : La campagne publicitaire d'Evolis



La gestion du service Evolis est assurée par un outil d'aide à l'exploitation, baptisé RESAD^{2@6}, spécialement développé à cet effet (Bolot et al., 2002 ; Banos et al. 2001). L'information géographique, développée dans le SIG-TI, a joué un rôle essentiel dans l'élaboration et le fonctionnement de cette interface. C'est sur ce point qu'a porté notre propre contribution au projet.

1.1. De la définition du service...

Du point de vue du transporteur, Evolis est un système organisé en convergence-divergence unipolaire (figure 82). Pour traduire ces termes techniques dans un langage plus familier au géographe, ce service de transport prend en charge les voyageurs répartis selon un semis de points prédéfinis pour les acheminer ensuite en un seul lieu. Dans le cas d'Evolis, cette situation se produit le matin lorsque les flux convergent des stations de bus vers la gare. Le soir, les flux sont divergents puisque les véhicules partent de la gare pour reconduire les clients vers les stations.

¹ CTB : Compagnie des transports de Besançon.

² LIFC : Laboratoire d'Informatique de Franche-Comté.

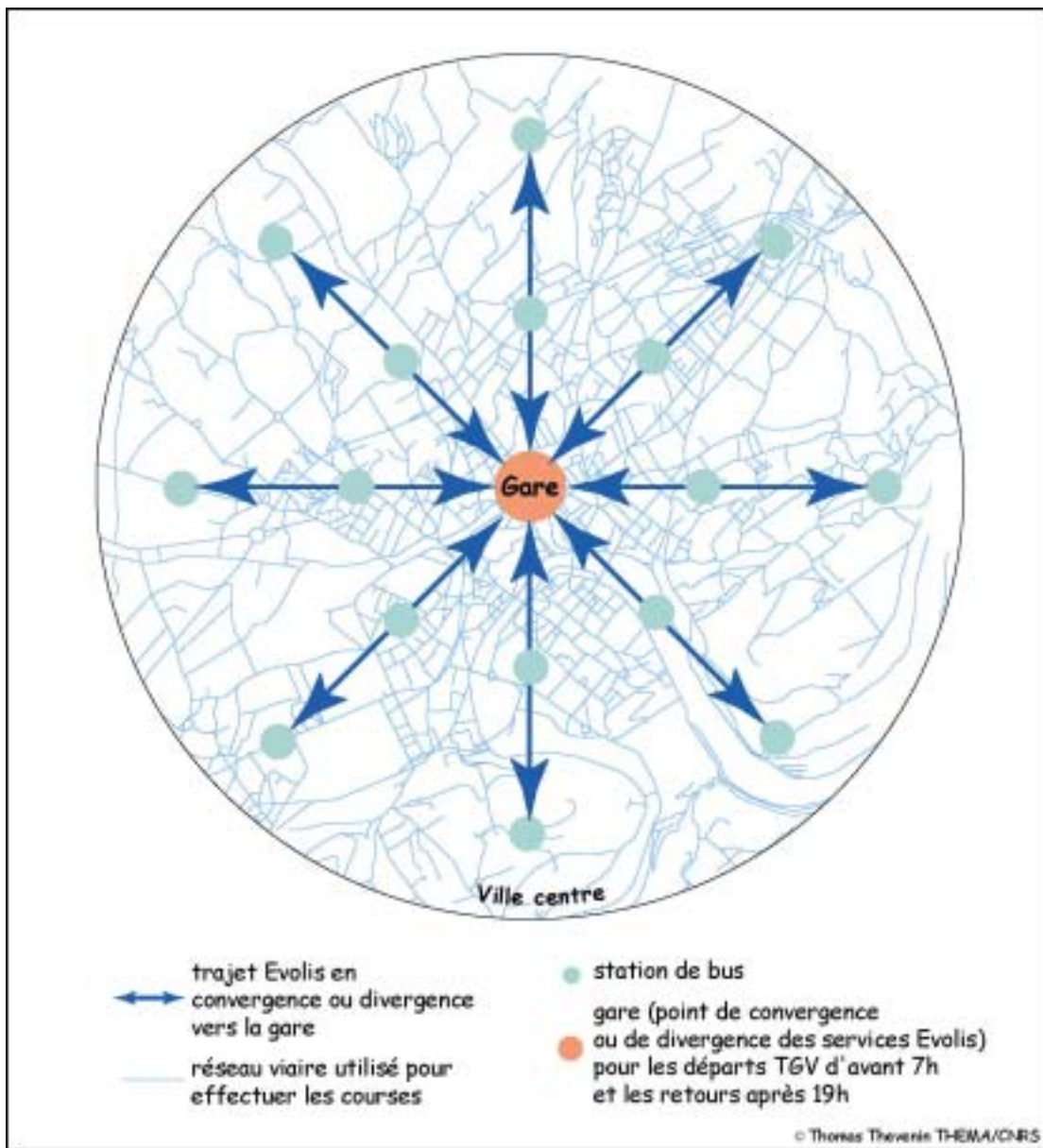
³ IMAG : Institut d'Informatique et de Mathématique Appliqué de Grenoble.

⁴ THEMA : Théoriser et modéliser pour aménager.

⁵ PREDIT : Programme national de Recherche et d'Innovations dans les Transports terrestres.

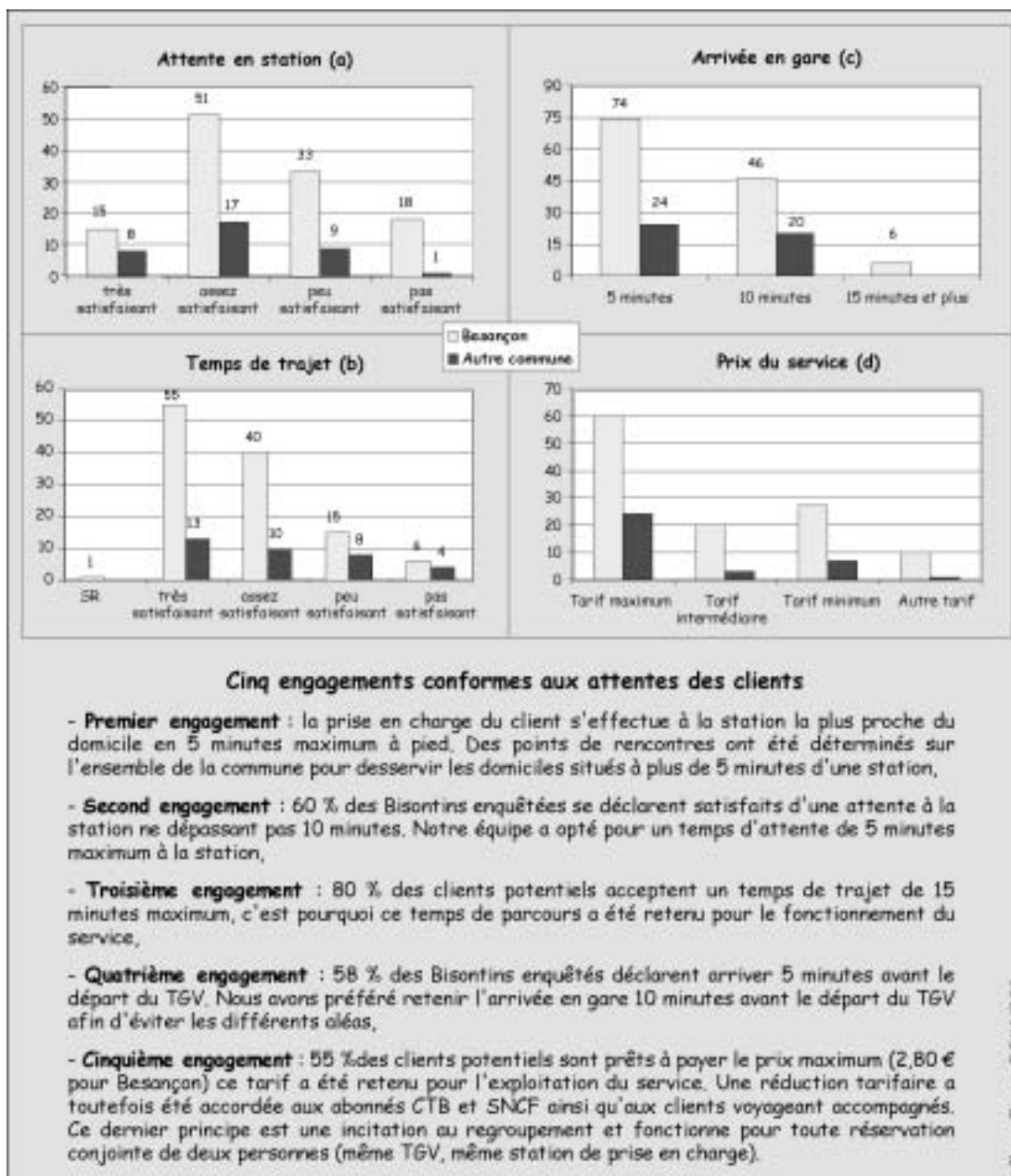
⁶ RESAD^{2@} : Système d'Aide à la Décision et de Réservation d'un Service A la Demande.

figure 82 : Evolis : un service de transport en convergence/divergence unipolaire



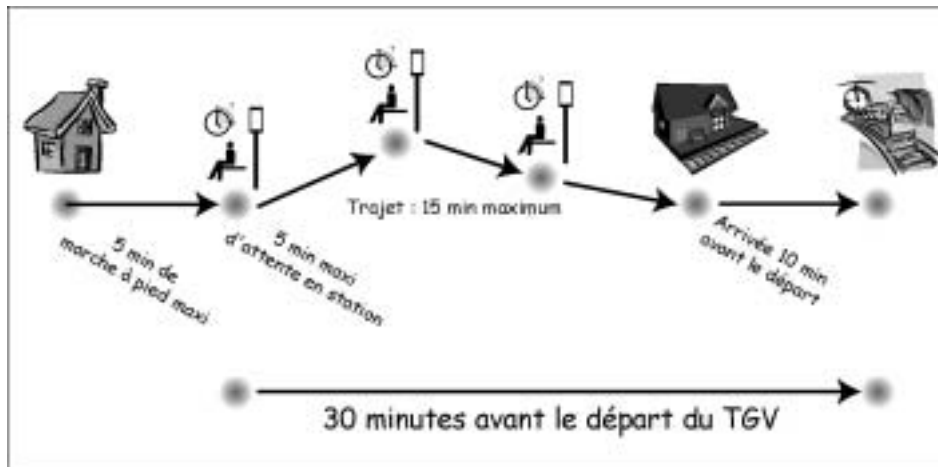
Pour commencer, il fut nécessaire de dresser un état de la situation. A cette fin, les préférences des clients potentiels ont été recensées au cours d'une enquête effectuée à bord des TGV (Banos, 2001a ; Banos et al., 2002). Cette étude a révélé l'importance de la contrainte temporelle, car Evolis constitue le premier maillon d'une chaîne de déplacements multimodale. Par conséquent, le groupe de travail a été particulièrement vigilant sur les réponses relatives au temps. Les résultats de l'enquête ont permis de déterminer les "cinq engagements clients" exposés dans l'encart 15, et qui fondent le service Evolis.

encart 15 : Les attentes des clients potentiels d'après les résultats de l'enquête



Ces engagements ont abouti à la définition d'un service opérationnel original, exploité sur le territoire communal de Besançon depuis maintenant deux ans. Pour le client, le service se présente de la manière suivante : en téléphonant jusqu'à 18h00 la veille du départ, le client peut réserver son service Evolis pour les trois premiers TGV du matin. Il lui suffit pour cela de communiquer l'heure de son TGV et son adresse. L'opérateur lui propose alors le lieu de prise en charge le plus proche de son domicile, ainsi qu'un horaire de passage pré-optimisé. La figure 83 résume le déroulement d'un trajet selon les "5 engagements clients".

figure 83 : Les engagements clients pour un trajet Evolis



Au retour, la réservation est ouverte jusqu'à 18h00 le jour même, avec une assurance de service jusqu'à 30 minutes après l'horaire théorique, en cas de retard du TGV. Il s'agit des TGV du soir pour lesquels les Transports en Commun desservant la gare sont moins fréquents à partir de 19 h.

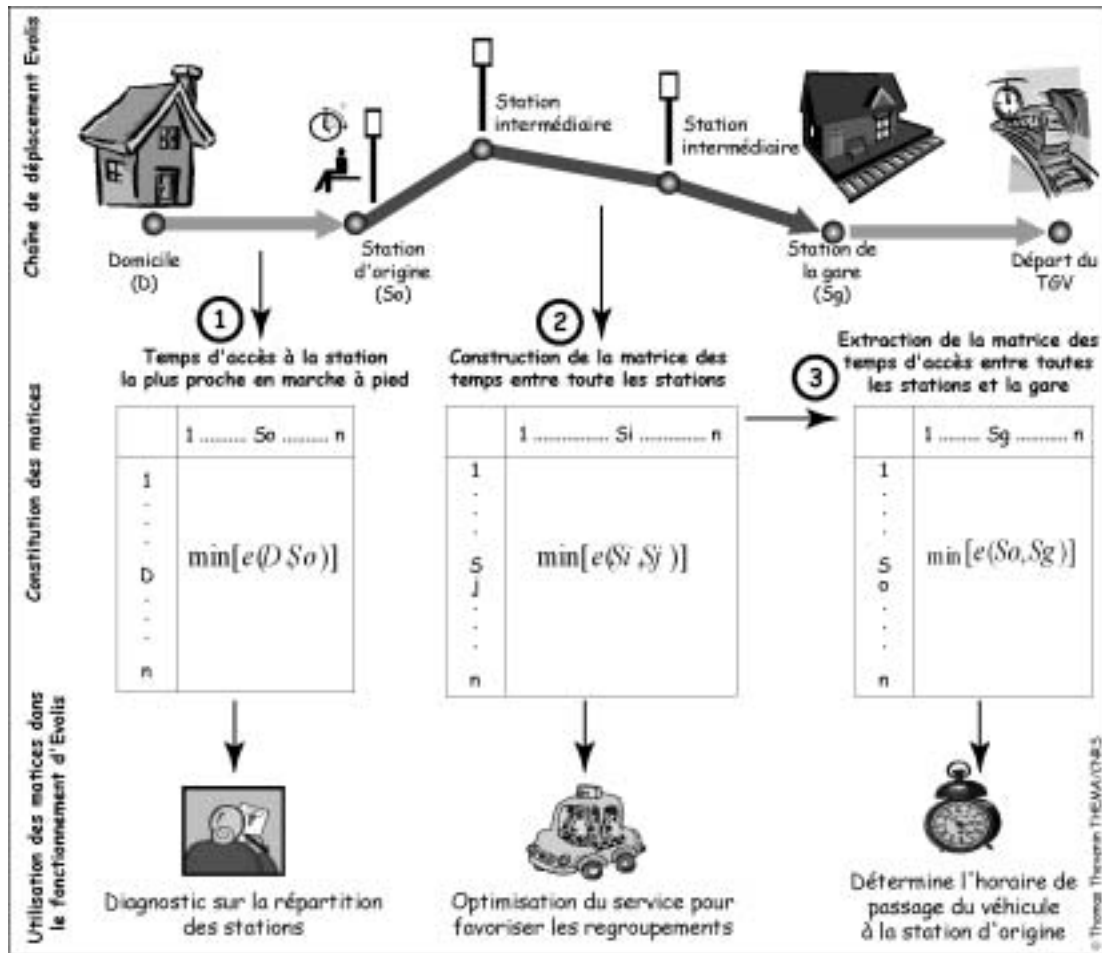
1.2. ... à l'exploitation des informations géographiques...

Les "engagements clients" constituent certes un argument marketing efficace mais ils imposent des contraintes d'exploitation conséquentes. Lorsque l'opérateur téléphonique reçoit la commande d'un client, il doit en effet s'engager au moment de l'appel sur l'heure et le lieu du ramassage. Cela impose de définir un semis de stations, puis de déterminer à l'avance un horaire pour chaque station en fonction de la distance théorique d'accès à la gare. Il s'agit enfin de choisir rapidement l'arrêt le plus approprié pour le client, ainsi que l'horaire de prise en charge associé à cet arrêt.

La structure du SIG-TI, intégrée au sein de Map Info et complétée par le logiciel d'analyse des réseaux Chronovia, a permis de constituer ces informations à travers un parcours méthodologique comportant trois étapes (figure 84). Une première analyse a été effectuée à partir de la matrice domicile/station précédemment calculée, dans le but de dresser un diagnostic de la répartition des arrêts de bus sur la commune de Besançon. Des cartes isochrones ont permis d'identifier les zones résidentielles situées à plus de 5 minutes d'une station de bus et d'ajouter des arrêts dans les zones de faible densité. La seconde partie du travail correspond au calcul de la matrice des temps de parcours entre toutes les stations de bus de la ville pour répondre aux impératifs liés à l'optimisation du service. De cette opération a été déduite, dans une troisième étape, la matrice des temps de parcours station/gare afin de déterminer les horaires de passage des véhicules. Pour réaliser ces deux derniers calculs, les tronçons du réseau ont été pénalisés en fonction du coefficient de pénibilité évoqué dans le premier chapitre de cette dernière partie. Le temps de parcours étant un élément déterminant pour garantir le bon fonctionnement du service, il était impératif de valider les résultats de façon rigoureuse. Ne disposant pas de données observées,

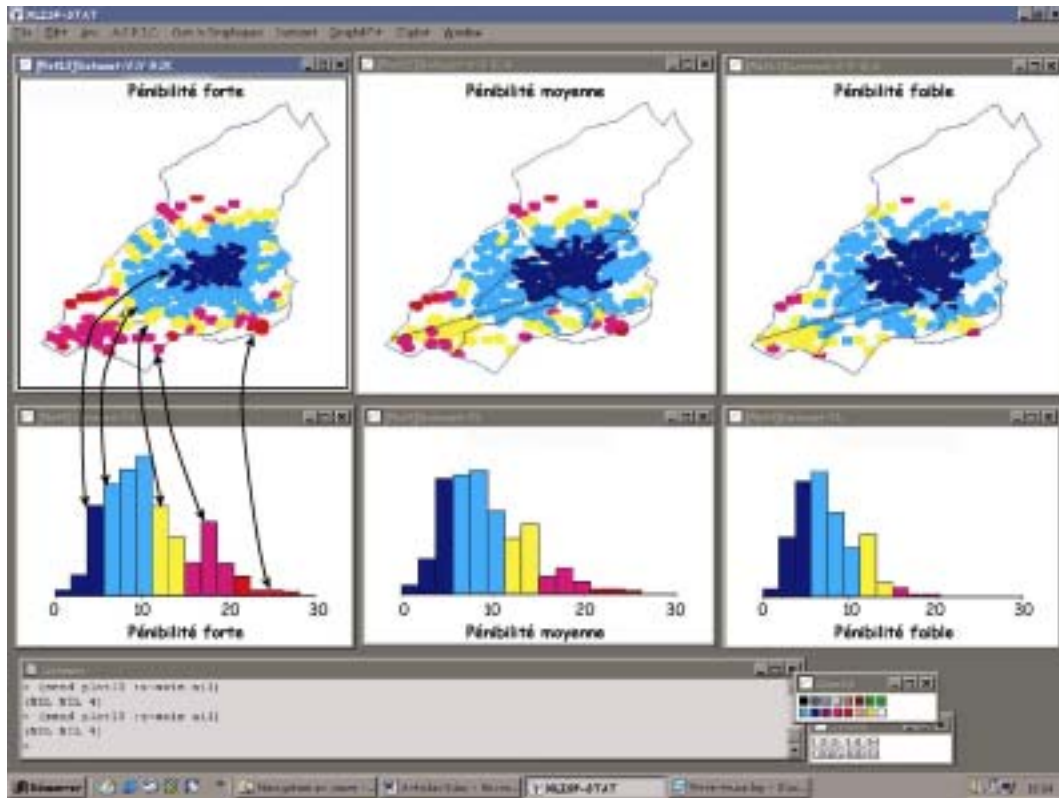
une démarche exploratoire a été entreprise. Pour cela, trois matrices ont été calculées en faisant varier le coefficient de pénibilité. Les résultats ont ensuite fait l'objet d'un examen par le logiciel d'analyse exploratoire Xlisp Stat avec des agents du service voirie de la municipalité, ainsi que des membres du service d'exploitation de la CTB (Banos, 1999). Un extrait de l'environnement informatique (figure 85) montre trois cartes d'accessibilité entre les stations et la gare selon trois types de coefficients de pénibilité : forts, moyens et faibles.

figure 84 : Le parcours méthodologique pour Evolis



Les 550 stations du réseau bisontin ont été "dilatées" pour faciliter la lecture. La méthode du « jittering » a été utilisée (Cook et al., 1985, Cook et al., 1999) après avoir été adaptée aux objectifs géographiques (Banos, 1999). Elle consiste à déplacer aléatoirement les points superposés dans une fenêtre de faible résolution afin d'obtenir une impression de densité plus proche de la réalité, tout en conservant le point comme élément interrogeable graphiquement. Chaque carte a été associée de façon dynamique à un histogramme qui représente la distribution des temps de parcours pour chaque station. L'interactivité de cet outil a permis aux experts de confronter les résultats, d'identifier les temps de parcours les plus réalistes puis enfin de construire la matrice finale.

figure 85 : Une exploration des matrices des temps de parcours



Cette phase préparatoire de l'information géographique et de l'analyse statistique exploratoire s'est avérée très utile pour la mise en place du service. Elle a recouru à diverses composantes du modèle conceptuel du SIG-TI développé à la fin de la seconde partie. La structure topologique des trois modes de transport sous la forme de classes primitives en Polygones et Nœuds a en effet été sollicitée à plusieurs reprises pour effectuer des calculs d'accessibilité. Puis, les informations concernant les usagers ont été référencées au sein des tables Population, Bâti et Ilot. Chacun de ces éléments de la base de données participe ainsi au fonctionnement quotidien d'Evolis.

1.3. ... au fonctionnement d'Evolis

Pour répondre aux attentes opérationnelles, les informations précédemment constituées ont été intégrées dans le logiciel d'aide à l'exploitation RESAD²®, dont l'environnement graphique a été conçu au laboratoire THEMA par Jérôme Bolot. Ce logiciel comporte deux modules, l'un enregistre les réservations des clients, tandis que l'autre optimise les dessertes en fonction de la demande (Bolot, 2001 ; Bolot et al. 2002).

La réservation du service Evolis s'effectue par téléphone auprès d'un téléconseiller. Ce dernier enregistre la commande en suivant les étapes définies dans l'interface présentée à la figure 86. Le client est alors identifié, ainsi que la station la plus proche de son domicile. L'horaire de passage théorique à cette station est ensuite

déterminé grâce aux matrices origine/destination et à un calcul d'accessibilité pré-établi sur le réseau. Puis, des informations complémentaires sont demandées (bagages, personnes accompagnées, abonnement, etc.). Un récapitulatif de la commande est enfin rappelé au client à la fin de la réservation téléphonique. Cet environnement de réservation a récemment été mis en ligne sur le site internet du transporteur¹.

Une fois cette phase de réservation réalisée, il est nécessaire d'appliquer un algorithme d'optimisation qui va construire les lignes virtuelles pour tous les TGV concernés. Ces lignes sont élaborées à partir d'une heuristique qui extrait de la matrice station/station la solution la plus valable, en minimisant les distances totales parcourues par les véhicules et en maximisant le nombre de personnes transportées dans chaque véhicule. Ce dispositif propose ainsi, la veille de la réalisation du service, des alternatives de desserte favorisant le regroupement des clients Evolis en fonction des véhicules disponibles et de leur capacité (annexe 5).

Au terme de cette première expérience, on peut constater que le modèle de données mis en œuvre dans le SIG-TI joue un rôle essentiel dans le fonctionnement du service Evolis. L'information géographique désagrégée implique non seulement de rationaliser le processus de réservation mais participe aussi à l'optimisation du service en favorisant le regroupement des personnes. C'est en cela que le service de transport à la demande Evolis constitue un véritable composant du transport public.

2. Pour un service Evolis à l'échelle de l'agglomération

Evolis est bien un service de transports publics, mais il soulève tout de même une question cruciale quant à l'égalité d'accès qu'il permet. Ce service à la demande fonctionne actuellement uniquement sur la commune de Besançon. Or, le statut de communauté d'agglomération donne aux élus bisontins l'obligation d'offrir des modes de transport équivalents à l'ensemble de la population de ce nouveau territoire. Il s'agit ainsi de réfléchir aux modalités d'extension du service au périmètre de la nouvelle communauté d'agglomération. Nous resterons dans le cadre de notre problématique, puisque cette question sera abordée ici uniquement du point de vue de l'information géographique.

L'extension d'Evolis à l'échelle de l'agglomération se heurte à l'épineux problème de la disponibilité d'informations très fines à l'échelle périurbaine et rurale. La construction d'une base de données désagrégée pour les 57 communes de l'agglomération semble difficilement envisageable dans un futur proche, en raison du coût et du temps nécessaire à la collecte des informations. Dans ce contexte, comment faire évoluer la base de données existante pour mettre en place Evolis dans les communes périphériques ? Ensuite, l'extension du service implique-t-elle une adaptation des engagements clients ? Ces deux nouvelles questions seront abordées tour à tour.

¹ www.ginkobus/g_Evolis_g.com

figure 86 : L'interface du module de réservation de RESAD²

Etape 1 - Identification du client

Le client est invité à communiquer son adresse et son numéro de téléphone. Ces informations seront ensuite stockées dans une base de données spécifique afin d'optimiser la prochaine commande et d'effectuer le suivi de la clientèle d'Evolis.

Etape 2 - Affectation sur une station

La station la plus proche du domicile est déterminée par la matrice qui mesure les temps d'accès entre les 17 000 adresses postales et les 550 arrêts de bus

Etape 3 - Renseignement sur le train

Le train ainsi que la date sont convenus avec le client à cette étape de la réservation. Le prix du voyage Evolis, le nombre de valises ainsi que le nombre de passagers gratuits (enfants de moins de 5 ans) sont également déterminés ici.

Etape 4 - Récapitulatif final

Cette fenêtre permet au télé-conseiller de récapituler les étapes de la réservation au client. L'horaire de passage du véhicule de Transport à la Demande a été préalablement établi en fonction de la matrice station/station et de l'horaire de départ du TGV.

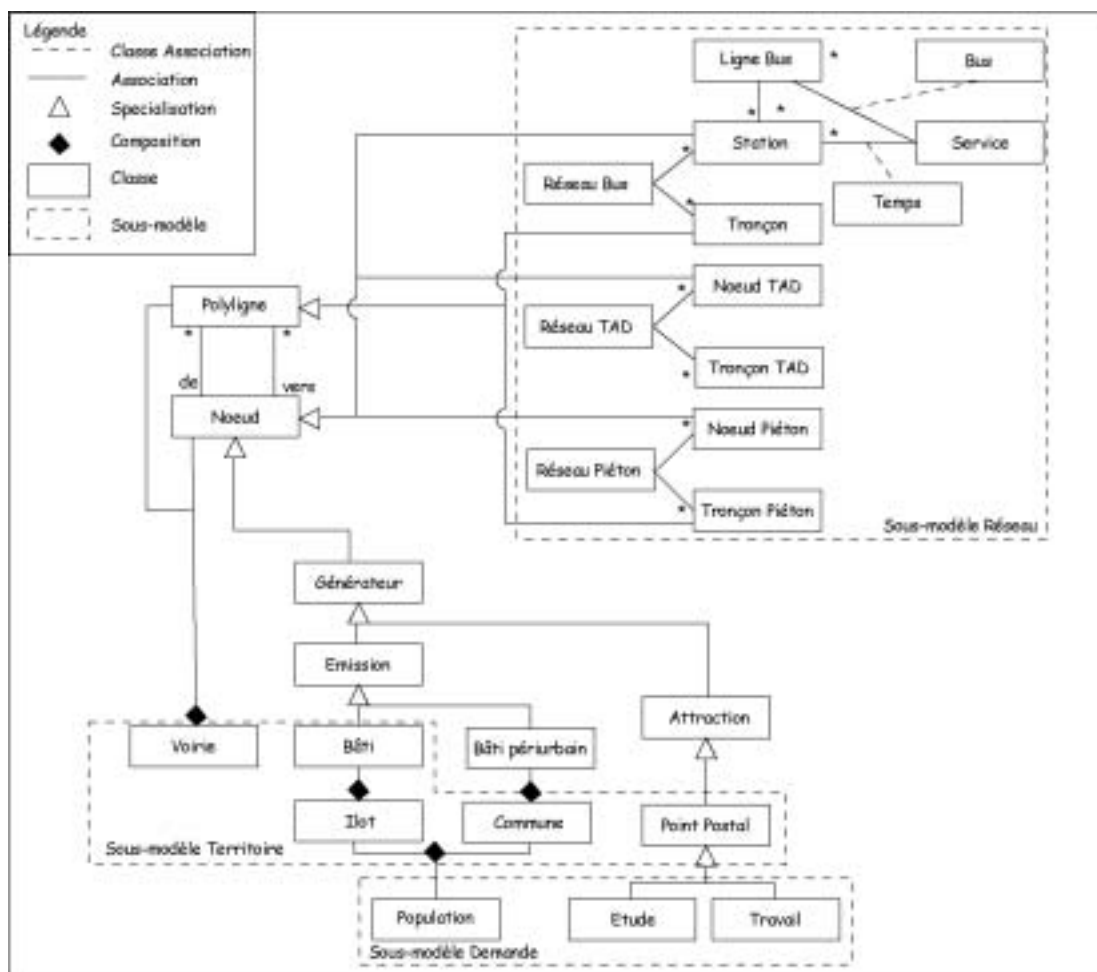
Voici un récapitulatif des informations saisies :

Nom: BANDS
 Prénom: Amaud
 Adresse: 17 RUE RONCHALDK
 Téléphone 1: 03 81 82 00 65
 Téléphone 2: 06 83 03 93 09
 Téléphone 3: 00 00 00 00 00
 Station: VICTOR HUGO, Ligne 7, Direction Orchamps
 Rue: PLACE VICTOR HUGO
 Du: A HAUTEUR DU n°2
 Jour: jeudi 8 novembre 2001
 Heure de départ: 07h00 Paris
 Tarif: Plein tarif : 18F
 Nombre de valises: 1
 Nombre d'accompagnants "gratuits": 0

2.1. Proposition pour une base de données périurbaine

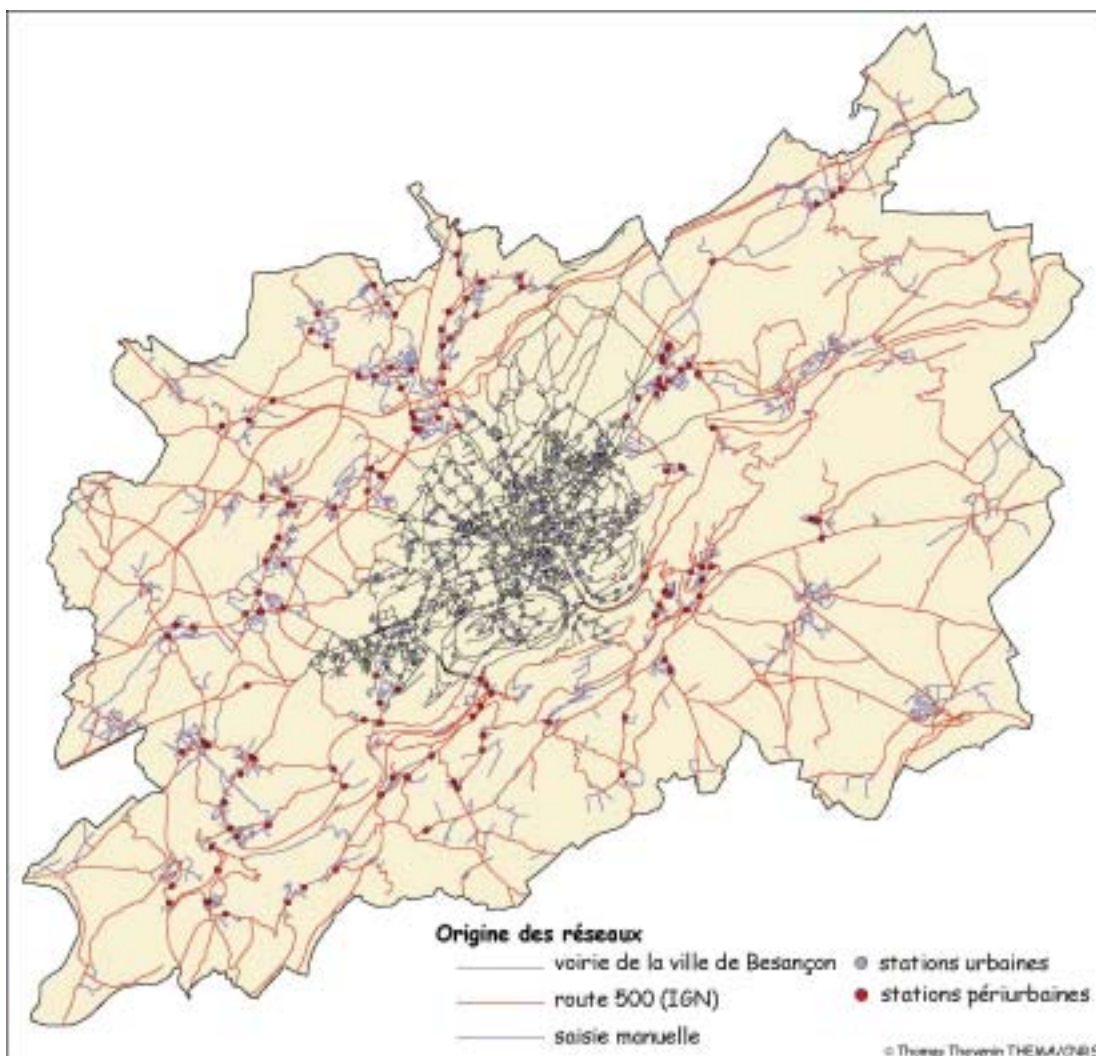
Pour permettre l'extension d'Evolis dans des délais raisonnables et surtout avec un minimum de moyens, la base de données devait être enrichie. Un travail d'ordre conceptuel tout d'abord nous a conduit à adapter la structure du modèle UML au contexte périurbain (figure 87). Les principales modifications ont porté sur le sous-modèle territoire. A l'échelle de l'agglomération, la commune constitue l'unité spatiale la plus fine, c'est pourquoi la population de la périphérie a été rapportée à la classe d'objet commune. En ce qui concerne le bâti, aucune information vectorielle très détaillée n'était disponible. Une image satellite en haute résolution a été requise afin de bénéficier d'une information suffisamment précise et à jour pour cette étude. Une nouvelle classe de bâti périurbain a été ajoutée pour compléter ce besoin de données très spécifique. Les sous-modèles réseau et demande n'ont pas subi de modification particulière. Les classes d'objets, notamment la voirie, ont cependant été enrichies par les informations concernant les communes périphériques.

figure 87 : Modèle conceptuel du SIG-TI adapté au contexte périurbain



Après avoir évoqué les aspects conceptuels, il s'agit d'aborder maintenant d'une façon concrète les modifications de la base de données. Concernant le réseau, la voirie de Besançon a été complétée par la base de données Route 500[®] de l'IGN. Bien que cette source d'information soit précise, de nombreux tronçons manquants ont été répertoriés, notamment dans les lotissements des petites communes. Pour combler cette lacune, il a été nécessaire d'effectuer une saisie manuelle à partir des Scan 25[®] commercialisés par l'IGN. Enfin, les stations de bus de la périphérie ont fait l'objet d'un levé par GPS. La figure 88 récapitule les différentes informations nécessaires à la constitution de la base de données réseau.

figure 88 : La base de données réseau mise à l'échelle de l'agglomération bisontine



La préparation des données relatives à la demande de transport exige en revanche des manipulations beaucoup plus complexes. Le but de cette opération est de rassembler les informations les plus précises possibles sur le bâti, afin de mieux connaître la répartition de la population à l'échelle infra-communale. Cela implique de déterminer un potentiel de population en fonction d'un lieu de résidence théorique. L'itinéraire

méthodologique imaginé pour aboutir à ce résultat se décompose en trois étapes qui ont été reproduites à la figure 89. Il faut tout d'abord préciser que l'information de base est une image issue du satellite indien IRS prise en 1997 et d'une résolution de sept mètres. De cette image a été extraite, dans une première phase, pour chaque pixel, une mesure de la concentration du bâti selon un procédé mis en place au laboratoire THEMA (Foltête et al., 1999). Une fois exporté sous le module Arc de ArcInfo, ce résultat a fait l'objet, dans une deuxième opération, d'une procédure de lissage spatial par des fenêtres mobiles de 100 mètres de côté. Cette transformation des données raster en information vectorielle a permis de déterminer d'une part les lieux de résidence théoriques sous la forme d'un semis de points, et d'autre part de mesurer la concentration du bâti pour chacun de ces centroïdes. Cette valeur a été retenue, dans une troisième étape, comme la variable de pondération qui a permis de redistribuer la population en fonction de la répartition des lieux de résidence théoriques. Cette démarche a ensuite été utilisée pour déterminer le potentiel des effectifs salariés en fonction des lieux d'activité théoriques. Le résultat de cette procédure sous la forme d'une carte lissée révèle une image très différente de la représentation des densités habituelles. L'espace anisotrope est ici explicitement intégré permettant ainsi de restituer toute la complexité de la répartition des hommes sur un territoire.

Cette répartition certes théorique mais plus réaliste de la population et des activités, associée au réseau viaire complet constitue une base de données appropriée pour définir les contours d'un service Evolis adapté aux nouvelles limites de la Communauté d'Agglomération du Grand Besançon.

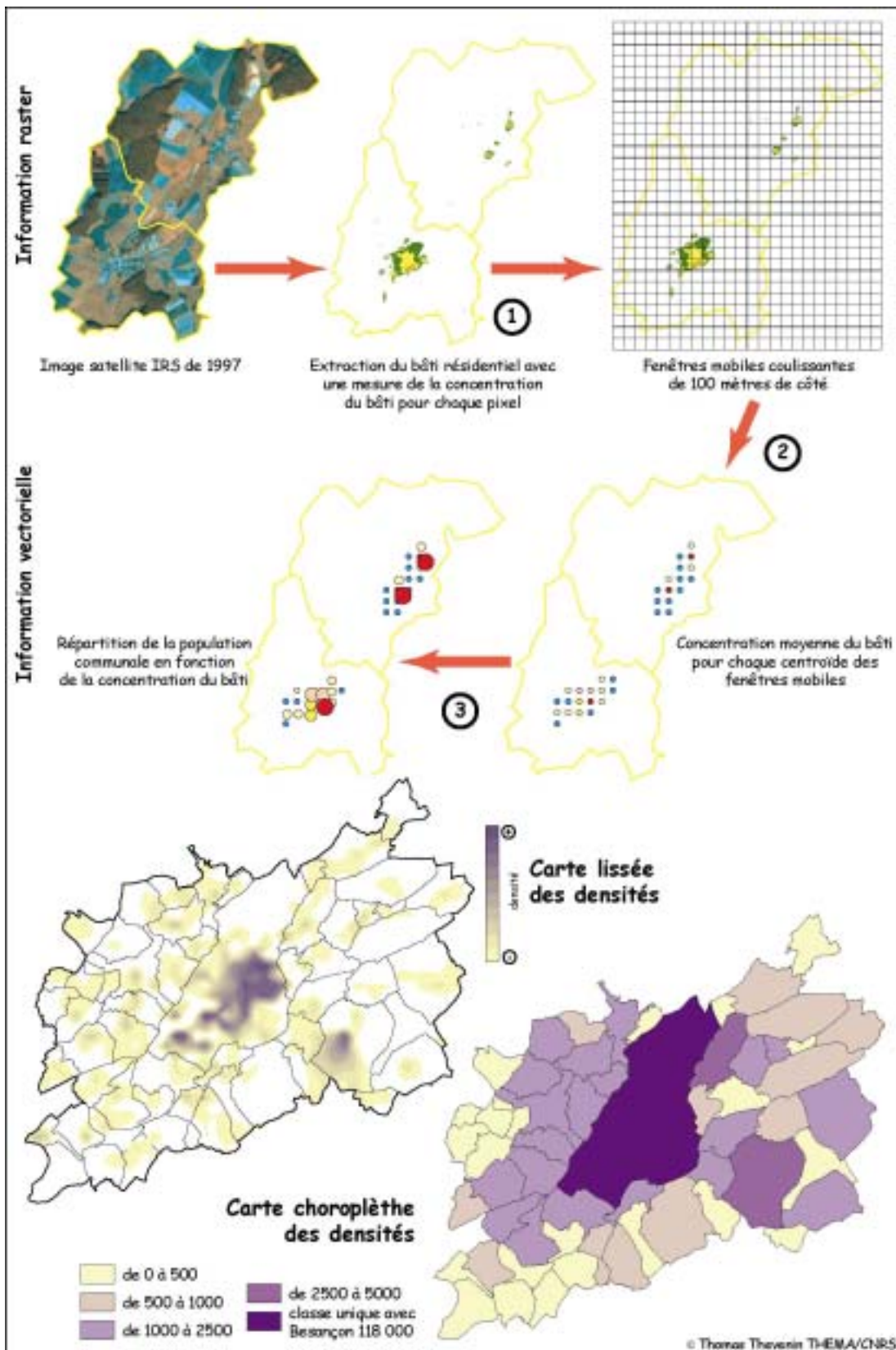
2.2. Vers une définition des engagements clients à l'échelle de la CAGB

L'expérience d'Evolis a montré à quel point les calculs d'accessibilité jouent un rôle déterminant dans le fonctionnement du service. Disposant des informations sur l'offre et la demande à l'échelle de l'agglomération, toutes les conditions étaient réunies pour commencer à étudier les temps d'accès de ces nouveaux territoires à desservir. La chaîne modale est identique à un parcours effectué avec Evolis en milieu urbain, ainsi le temps de trajet du domicile jusqu'à la gare ($T_{(D,G)}$) pour l'ensemble de la Communauté d'Agglomération a été déterminé ainsi :

$$T_{(D,G)} = \min[e(D, Sp)] + \min[(e(Sp, G))]$$

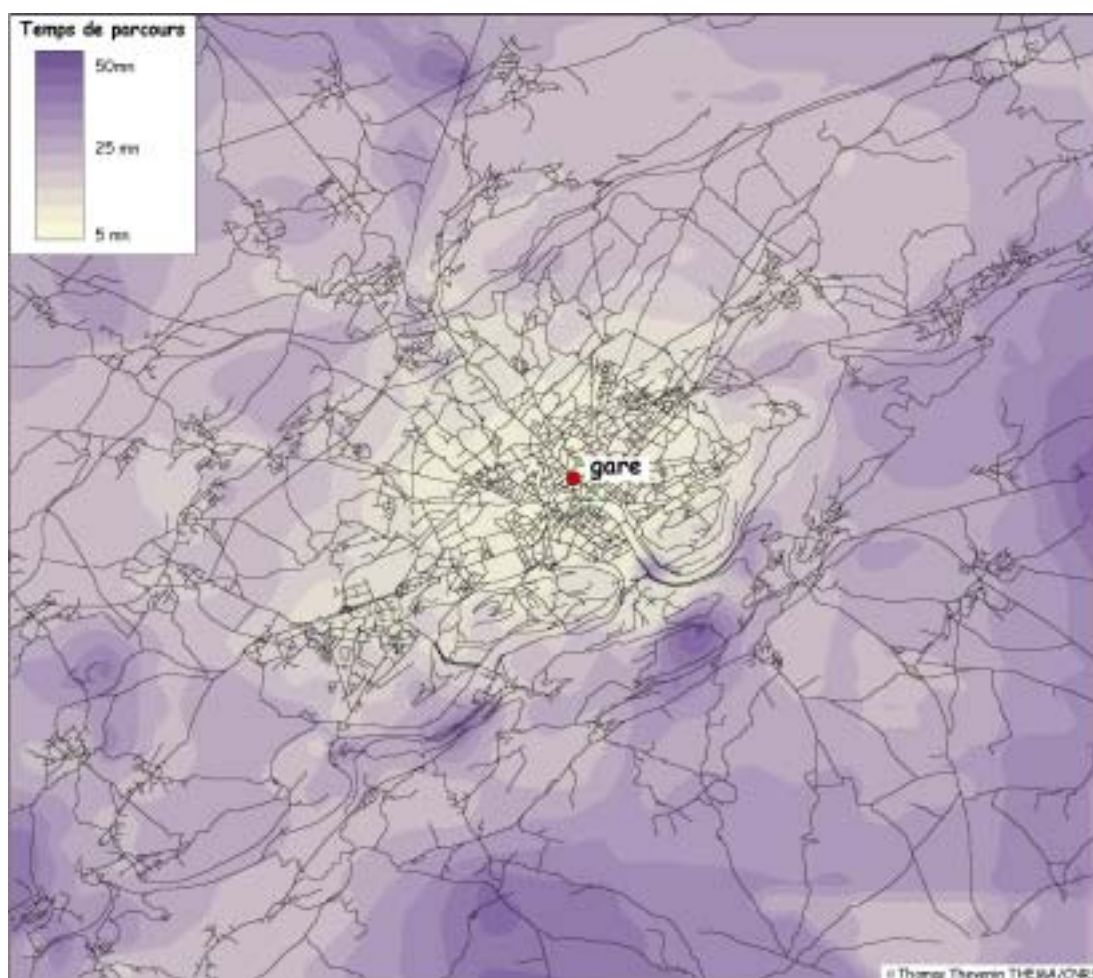
où le temps de parcours en marche à pied du domicile (D) jusqu'à la station la plus proche (Sp) est ajouté au temps du parcours en TAD le plus rapide jusqu'à la gare (G).

figure 89 : Une méthode de redistribution de la population basée sur une image satellite



La carte résultante souligne deux éléments importants pour la définition du service. La figure 90 fait apparaître des temps de parcours anormalement élevés (jusqu'à 50 mn) pour des distances assez faibles (environ 20 km). Cette anomalie apparente fait ressortir les communes qui ne possèdent pas encore de station de bus. Les communes situées à 30 minutes de la gare bénéficient d'une répartition des stations plus favorable. Toutefois, 11 % de la population des communes périphériques se situe à plus de 10 minutes d'un arrêt de bus. Il sera donc nécessaire de réfléchir à l'accès aux stations dans les communes périphériques pour assurer le bon fonctionnement du service. Le second constat révèle un temps d'accès moyen à la gare de 25 à 30 minutes pour les communes périphériques disposant de stations de bus. Cette donnée est importante pour déterminer le temps de trajet maximum qu'un client Evolis acceptera.

figure 90 : Accessibilité à la gare TGV avec Evolis sur l'ensemble de l'agglomération



En tenant compte de ces deux éléments, trois recommandations peuvent ainsi être proposées pour définir les nouveaux engagements clients. La première concerne le lieu de prise en charge à la station la plus proche. Les résultats du calcul d'accessibilité montrent qu'une majorité de la population périurbaine se situe à plus de 5 minutes d'une station. Pour résoudre ce premier problème, trois solutions sont envisagées mais toutes présentent des inconvénients :

- Ajouter des stations semble la proposition la plus évidente mais elle représente un coût important pour la collectivité,
- Déterminer des points de rencontre comme des calvaires ou des bouches d'incendies. Cette solution est en effet moins coûteuse mais elle contribue à une mauvaise lisibilité du service et augmente le risque de confusion entre le téléconseiller et le client,
- Prendre en charge le client à son domicile. Cette solution paraît de notre point de vue la plus intéressante mais elle est injuste par rapport aux Bisontins qui doivent se rendre à la station la plus proche de leur domicile. Cette formule pose de plus un problème de fonctionnement du service car la recherche d'une adresse peut prendre du temps.

La seconde recommandation concerne le temps de parcours maximum entre la station et la gare. En excluant la marche à pied, le calcul d'accessibilité a révélé un temps d'accès moyen situé entre 20 et 25 minutes pour les communes de la périphérie. La borne maximum de 25 minutes semble la plus indiquée pour garantir la fiabilité du service. Pour cette même raison, le temps d'attente de cinq minutes du véhicule est conservé. Si l'on récapitule ces différentes propositions, le temps de parcours serait de 40 minutes maximum entre le point de départ du service et le démarrage du TGV.

L'extension de la base de données a ainsi permis de définir les contours du service Evolis adapté aux limites de la communauté d'agglomération. Les propositions formulées ici reposent uniquement sur des mesures théoriques. Une nouvelle enquête auprès des usagers potentiels permettrait de mesurer le degré d'acceptabilité de ces propositions.

3. Prospective sur l'évolution du service Evolis

Jusqu'à présent Evolis est resté limité au cadre très strict de la desserte de la gare pour les TGV du matin et du soir. Cette première expérience invite à nous interroger maintenant sur les possibilités de généralisation de ce service à d'autres motifs de déplacement et d'autres tranches horaires de la journée. Cette question fait très clairement appel au système des "axes verts personnalisés", abordé de façon théorique dans la première partie de cette recherche. Cet exercice de prospective se propose de passer de la théorie à la pratique en réfléchissant à l'adaptation du service Evolis aux principes des "axes verts personnalisés", dans le cadre opérationnel de l'élaboration du Plan de Déplacements Urbains de la CAGB. Il s'agit de réfléchir pour cela à l'architecture générale d'un tel réseau de transports publics. Les effets de

ce nouveau schéma seront ensuite évalués en termes d'accessibilité. Il faudra enfin déterminer les modifications des informations nécessaires à la mise en place du service Evolis d'agglomération.

3.1. Une architecture du réseau de transports publics personnalisé

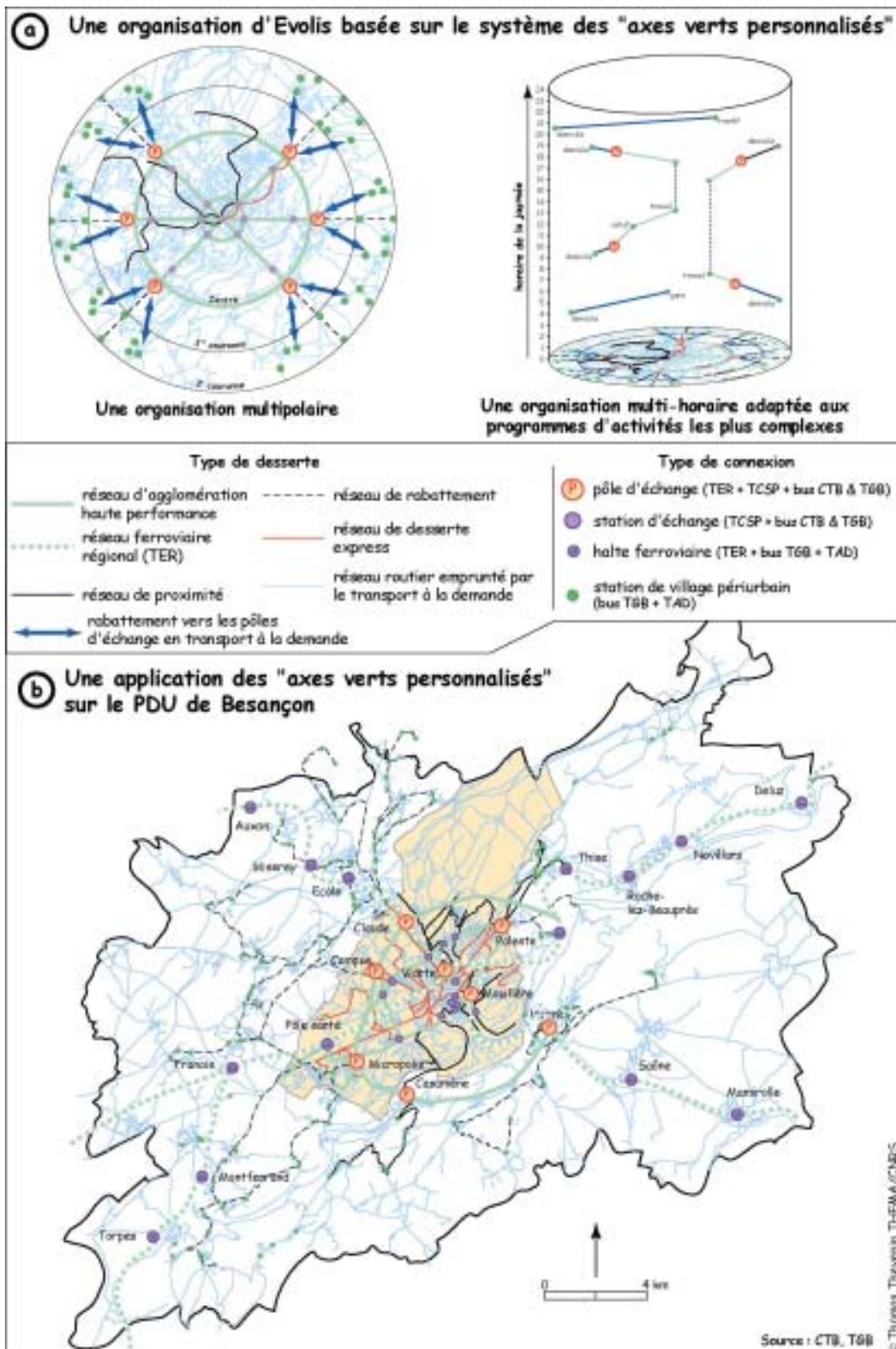
Le service à la demande tel qu'il a été imaginé dans le système des "axes verts personnalisés" s'affranchit des contraintes spatiales et temporelles d'Evolis, afin de personnaliser davantage encore le réseau de transports publics. L'application de tels principes conduit à renouveler l'organisation d'Evolis sur trois aspects au moins.

Sur le plan spatial, Evolis est structuré à l'origine dans une architecture unipolaire. Intégré au système des "axes verts personnalisés", il fonctionne maintenant comme un système multipolaire. Chaque déplacement lié à la ville centre est effectué en intermodalité avec les lignes de bus urbaines via les pôles d'échanges situés aux marges de la ville. Les trajets tangentiels, entre les villages de la périphérie, sont en revanche réalisés uniquement avec les services à la demande. Dans les deux cas, l'ensemble du réseau routier est utilisé pour faciliter le regroupement des clients dans le véhicule.

Du point de vue temporel, Evolis conserve sa vocation à desservir les heures de frange pour certains lieux générateurs de trafic, comme la gare, et s'ouvre ensuite à l'ensemble de la journée, afin de pallier certaines insuffisances du réseau de transport classique. Sur un troisième plan enfin, ces améliorations dans l'espace et le temps amènent à organiser le service pour satisfaire des motifs variés. L'adaptation d'Evolis au système des "axes verts personnalisés" permet en effet de répondre à des demandes de déplacement pour des motifs réguliers se déroulant à des horaires particuliers, par exemple le travail ou les études. Cette organisation du service est en outre suffisamment flexible pour s'adapter à des événements très ponctuels comme des spectacles ou des manifestations sportives.

Après avoir envisagé l'organisation d'Evolis selon le système des "axes verts personnalisés" d'une façon générale, il s'agit d'appliquer ces principes au Plan de Déplacements Urbains de la CAGB. La carte de la fusion des deux PDU de l'agglomération bisontine, présentée en première partie, a montré certaines similitudes avec le système des axes verts tels qu'il a été développé par ses concepteurs. La figure 91 reprend les différents éléments de ce document en représentant les différentes lignes de bus urbaines et périurbaines, ainsi que six pôles situés à l'entrée de la ville-centre. La fréquence des bus périurbains étant assez faible, notre proposition vise à compléter ces axes lourds avec un service à la demande de type Evolis. Ce mode de transport est conçu pour rabattre les voyageurs issus de la périphérie sur le réseau de transport classique, via les six pôles d'échanges. L'ensemble du réseau viaire a été ajouté au PDU pour optimiser le remplissage des véhicules d'une part et d'autre part, afin de d'assurer les déplacements entre les communes de la périphérie. Cette architecture du réseau de transports publics permet de garantir le droit au transport pour tous et ouvre de fait les services offerts par la ville aux plus grand nombre.

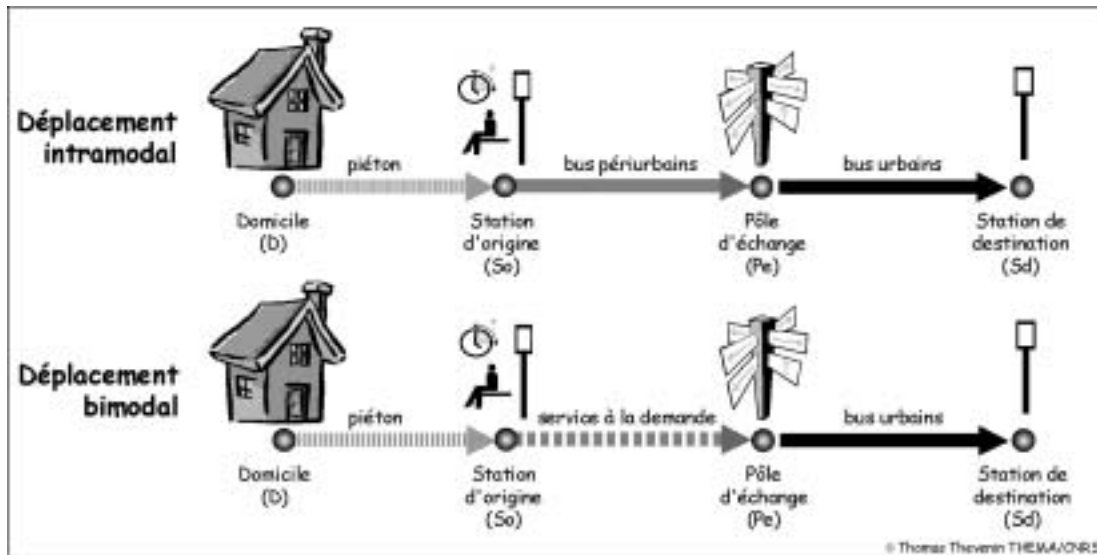
figure 91 : Vers une approche renouvelée de l'organisation du réseau de transport à la demande sur la CAGB



3.2. L'impact des axes verts sur l'accessibilité

Le PDU de l'agglomération bisontine a révélé une organisation fondée exclusivement sur les modes lourds dont la structure s'apparente au principe des axes verts. On peut s'interroger à présent sur l'apport des modes souples dans un tel système, à travers une évaluation basée sur l'accessibilité.

figure 92 : Deux chaînes de déplacements possibles

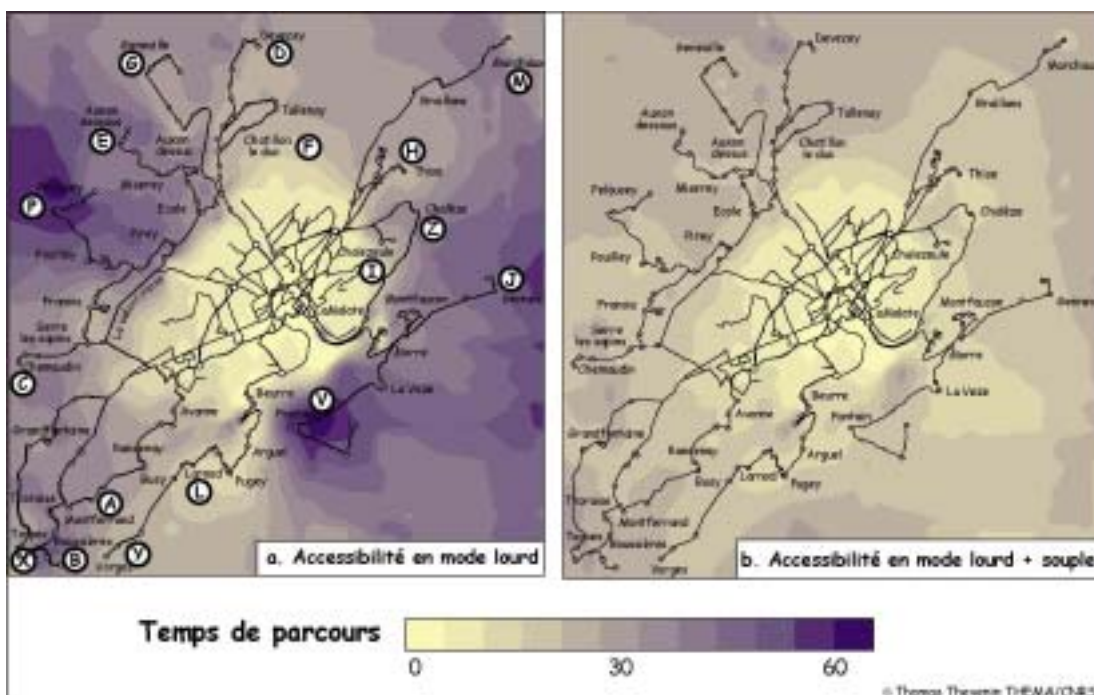


Indépendamment des moyens de transport, l'application des axes verts complexifie les trajets, puisque ce système implique au moins un changement dans l'un des six pôles d'échange pour les déplacements périurbains. La figure 92 présente les deux chaînes de déplacements mise en œuvre dans notre proposition de fusion des deux PDU de l'agglomération. Dans le premier cas, le déplacement est intramodal, c'est à dire que la connexion s'effectue entre les bus périurbains et les bus urbains. Une nouvelle matrice a ainsi été calculée afin de déterminer les temps de parcours entre les stations de la périphérie et les pôles d'échange. La même matrice a été dressée pour le second cas, la chaîne de déplacements bimodale, qui associe le service Evolis avec les transports urbains classiques.

L'efficacité de ces deux chaînes modales a été comparée à l'aide d'une carte isochrone qui mesure les temps d'accès au centre-ville (figure 93). Ce document met en évidence des résultats très contrastés avec une accessibilité favorables aux "axes verts personnalisés". Les zones les plus éloignées atteignent en effet le centre-ville en moins de 50 minutes avec cette organisation, tandis que ces secteurs sont parfois éloignés de plus de 60 minutes avec les modes lourds. Cette différence s'explique essentiellement par la vitesse commerciale relativement lente des bus périurbains (21 km/h), liée aux arrêts fréquents et aux problèmes de circulation des véhicules de haute capacité. Ces deux contraintes ne concernent pas Evolis, puisque les courses sont effectuées par des automobiles ou des minibus faisant très peu de haltes. Ce mode de transport peut de plus emprunter l'ensemble du réseau viaire, il est ainsi en

mesure de parcourir le chemin le plus court pour effectuer sa course. Il faut ensuite signaler un élément qui n'apparaît pas sur la carte, à propos des fréquences de passage des bus périurbains. Ces dernières ont été déterminées en fonction des heures de pointe et essentiellement pour les scolaires. Le service à la demande est particulièrement adapté pour compléter cette organisation des transports rigide, pour répondre à des besoins plus singuliers. Il faut enfin rappeler que les temps de parcours révélés par ces deux cartes sont particulièrement élevés, en raison de l'accès aux stations qui nécessite dans certains secteurs plus de 20 minutes de marche à pied.

figure 93 : Entre mode souple et lourd : deux images de l'accessibilité au centre-ville



Si Evolis apparaît particulièrement efficace en termes d'accessibilité pour desservir les petits flux des communes périurbaines, les modes classiques gardent cependant l'avantage pour faire face aux besoins des heures de pointe. Ces deux approches doivent ainsi être envisagées dans la complémentarité pour améliorer les performances du réseau de transports publics.

3.3. Les implications en matière d'exploitation du service

L'exercice de prospective mené au cours de ce chapitre nous permet d'envisager les perspectives d'évolution du service Evolis du point de vue de l'outil d'exploitation RESAD² évoqué précédemment. L'extension de ce service à la demande à toutes les communes de la périphérie et pour toutes les tranches horaires exige non seulement de nouvelles informations mais aussi des modifications sur le logiciel. Trois pistes de recherche sont proposées à cet effet.

Le premier axe de recherche concerne l'amélioration des informations sur les temps de parcours afin de garantir le bon fonctionnement du service. Jusqu'à présent, les vitesses étaient estimées pour des tranches horaires non perturbées et sur l'aire restreinte du territoire communal de Besançon. Pour ces raisons, les résultats avaient été validés par une exploration des temps de parcours, effectuée en présence d'experts des services municipaux de la voirie. La situation est maintenant différente car Evolis, en plus de l'échelle urbaine, doit être replacé dans le contexte périurbain et pour toutes les périodes de la journée. Ce glissement d'échelle spatial et temporel augmente ainsi sensiblement les aléas pour mesurer les temps de parcours optimaux. Le temps de franchissement d'un arc dépasse les paramètres précédemment utilisés sur la vitesse autorisée ou la sinuosité du parcours. Les variations du trafic au cours de la journée doivent être nécessairement intégrées, tout comme les temps d'attente aux feux de signalisation.

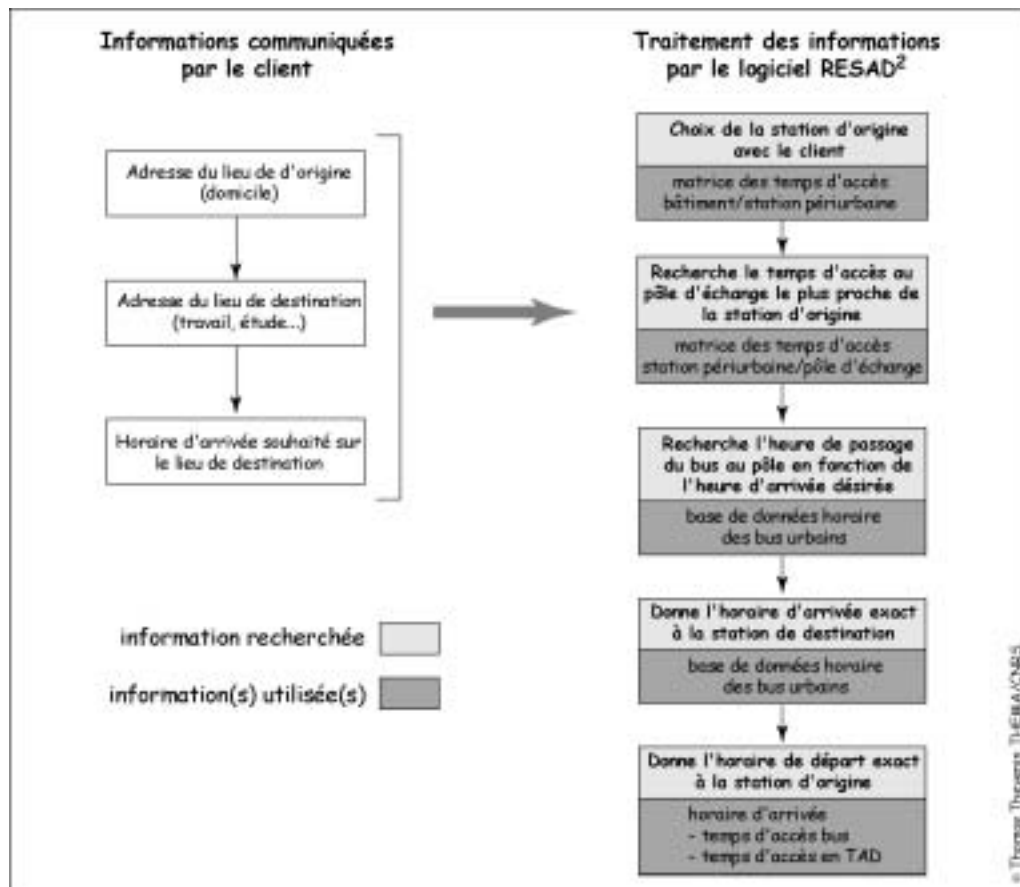
Pour remédier à cela, l'organisation d'une campagne de collecte des données observées sur les temps de parcours semble nécessaire. D'après Mike Slinn (Slinn et al., 1998), deux méthodes d'acquisition des informations permettent d'évaluer les vitesses. La première consiste à effectuer des relevés avec un radar. Très précis, ce procédé estime les vitesses de façon ponctuelle, il exige toutefois de nombreux postes d'observation. La seconde méthode consiste à estimer les temps en parcours à bord d'un véhicule, à l'aide d'un simple chronomètre et d'un carnet de route. Cette deuxième façon semble la plus intéressante, l'utilisation d'un GPS pourrait sans doute faciliter la collecte des informations. Dans l'objectif de garantir la fiabilité des résultats, plusieurs passages sur le même itinéraire sont nécessaires, ainsi un sondage sur l'ensemble du réseau semble difficile à organiser. Une méthode de généralisation des informations en fonction des caractéristiques de la voie permettrait certainement de gagner en efficacité.

La seconde piste à étudier concerne la base de données des horaires des services de transports publics. Evolis est actuellement conçu pour acheminer des clients à trois horaires spécifiques : les trois TGV du matin. Dans la version "évoluée", chaque bus urbain au départ d'un pôle d'échange constitue une correspondance potentielle, ce qui multiplie les possibilités d'interconnexion entre les services à la demande et les transports classiques. Dans l'objectif de faciliter l'intermodalité entre ces deux moyens de déplacement, il semble nécessaire d'intégrer la base de données horaire issue de la centrale de mobilité dans le logiciel RESAD².

Ces informations sur les vitesses et les services de transports publics nous conduisent à formuler une troisième proposition de recherche concernant le logiciel d'aide à l'exploitation RESAD². Les perspectives d'évolution de cette interface sont envisagées sous une forme renouvelée du protocole de réservation présenté à la figure 94. Le client est, dans un premier temps, invité à détailler sa commande, en précisant l'adresse de son domicile, sa destination finale ainsi que l'heure d'arrivée désirée. A partir de ces caractéristiques, le logiciel RESAD détermine dans un deuxième temps les différentes étapes de la course qui sera effectuée par le service à la demande. Ce processus séquentiel permet d'identifier les stations de départ et

d'arrivée idéales pour le client. Le pôle d'échange le plus proche de la station de départ est ensuite déterminé grâce à la matrice des temps de parcours entre tous les arrêts de bus. Puis, à partir de ce pôle et de l'heure d'arrivée désirée par le client à la station de destination, l'heure de passage et la ligne de bus optimales sont définies. Les temps de parcours incluant le transport à la demande et le bus, on soustrait la durée de ces deux trajets de l'heure d'arrivée à la station de destination. L'heure de prise en charge du client à la station de départ se trouve ainsi fixée. Le remplissage des véhicules fait enfin l'objet d'une optimisation avec l'algorithme développé pour le fonctionnement d'Evolis-gare.

figure 94 : Un protocole de réservation renouvelé



Les perspectives d'évolution d'Evolis, envisagées à travers les "axes verts personnalisés", constituent une solution intéressante pour ouvrir les services offerts par la ville à tous les habitants de l'agglomération. Basé sur la complémentarité entre les modes lourds et souples, ce système de transport permet de faire face aux déplacements de masse aux heures de pointe, tout en répondant aux demandes les plus singulières. L'extension du service Evolis au contexte périurbain nécessite cependant quelques modifications de l'outil d'aide à l'exploitation RESAD². Si la mise en œuvre "d'Evolis-agglomération" apparaît envisageable sur le plan technique, une étude de marché semble toutefois indispensable pour identifier la clientèle potentiellement intéressée par ce type de service.

Conclusion

L'expérience d'Evolis-gare sur la commune de Besançon montre comment l'information géographique peut contribuer au fonctionnement quotidien d'un service de transport à la demande. Les bases de données désagrégées, intégrées au sein du SIG-TI, se sont révélées particulièrement appropriées pour rationaliser le processus de réservation et d'optimisation mis en œuvre dans le logiciel d'aide à l'exploitation RESAD². Les élus de la Communauté d'agglomération sont actuellement enclin à l'extension du service Evolis-gare sur l'ensemble des communes adhérentes à cette nouvelle structure. Cet objectif à court terme nécessite de recourir à de nouvelles informations géographiques, afin de définir les contours d'un service Evolis adapté aux limites de la CAGB. Les perspectives d'évolution sur le long terme nous ont conduit à définir un service Evolis-d'agglomération destiné à acheminer les voyageurs provenant des communes périphériques sur les transports urbains classiques. Cette combinaison intermodale, basée sur le système des "axes verts personnalisés", permet de répondre à la fois à la demande de déplacement en heure de pointe et à des besoins de mobilité plus spécifiques. Dans cette optique, l'expérience d'Evolis permet de garantir deux principes fondamentaux du service public, le droit au transport pour tous d'une part, et d'autre part une qualité du service de transport identique, quel que soit le territoire à desservir. Cette mise en perspective d'Evolis illustre parfaitement la capacité du transport à la demande à devenir un vecteur du service public de mobilité. Cette capacité doit cependant être encore mise à l'épreuve par deux tests en cours. Il s'agit en effet de s'assurer de la mise en place opérationnelle du service Evolis-agglomération sur la CAGB. Pour que ce projet puisse aller au bout de son ambition, il convient que le système Evolis soit mis en place sur d'autres sites.

CONCLUSION DE LA TROISIEME PARTIE

Les trois études de cas, présentées au cours de cette troisième partie, permettent de mesurer l'aptitude des informations désagrégées à satisfaire des objectifs d'ordre opérationnel et de planification. Cette unité d'observation offre en effet un regard renouvelé sur les critères d'évaluation, autorisant une lecture multi-échelle et multi-variée du système de transports publics. Une lecture cinématique des rythmes produits par la mobilité urbaine complète cette première vision et restitue ainsi toute la complexité de la répartition des déplacements dans l'espace-temps. La précision des informations jusqu'ici réservées aux aménageurs est ensuite exploitée dans un cadre opérationnel, dans l'objectif d'aider à la conception et au fonctionnement d'un service de transport à la demande. Par les informations et les méthodes qu'il rassemble, le SIG-TI a joué un rôle essentiel dans la résolution de ces trois problèmes. Cet outil peut être valablement posé comme élément fédérateur des autorités organisatrices de transport, grâce à la mise en place d'un observatoire de la mobilité urbaine.

Pour répondre à cette mission, trois perspectives d'évolution sont à envisager. Sur la connaissance de la mobilité, tout d'abord, l'enquête ménage de Besançon s'est révélée très difficile à exploiter pour permettre une lecture en dynamique des rythmes urbains. Il paraît aussi essentiel de fournir aux gestionnaires, des informations sur les déplacements référencés dans l'espace et le temps à une échelle fine. Ensuite, il fut noté une forte distorsion entre la richesse des données géoréférencées sur la ville de Besançon et des connaissances très limitées sur les communes de l'agglomération. Certaines techniques permettent de dépasser ce problème toutefois elles ne remplacent pas complètement une information discrète acquise à une échelle fine. Il est souhaitable que soit construite pour l'avenir une base de données de qualité égale sur l'ensemble de l'agglomération. L'organisation des transports et d'une façon générale la gestion urbaine s'en trouveraient facilitées.

La deuxième perspective d'évolution concerne les méthodes d'analyse mises en œuvre dans le SIG-TI. Un modèle topologique en trois dimensions du réseau de transports publics a été présenté dans cette recherche, or les potentialités de cette

structure n'ont pas été réellement exploitées dans les calculs d'accessibilité. Le développement d'un algorithme permettra très certainement d'utiliser cette structure pour fournir une mesure de l'accessibilité fondée non pas sur des vitesses moyennes mais sur les vitesses effectives des services de transports publics. Ces informations sont capitales pour réaliser un diagnostic exhaustif et favoriser notamment le développement de l'intermodalité entre les différents services de transport. Les résultats de ces évaluations doivent être ouverts à la consultation par tous les acteurs des transports. Dans cette optique, il est nécessaire de proposer un environnement de requêtes spatio-temporelles plus élaboré et moins contraignant, permettant à l'analyste de formuler son interrogation sans recourir à de lourdes étapes de développement.

Ces améliorations de la connaissance sur le système de transport et l'analyse détaillée de l'accessibilité ouvrent une troisième perspective d'évolution dans la définition et le fonctionnement de nouveaux moyens de transport. Les propositions sur les services à la demande, formulées dans le dernier chapitre de cette recherche, illustrent parfaitement le potentiel du SIG-TI dans ce domaine. Le SIG n'est ainsi plus seulement dédié à la gestion des données, il devient acteur du fonctionnement du service de transport.

CONCLUSION GENERALE

Notre goût pour une géographie appliquée a marqué le point de départ de cette recherche. Les développements que celle-ci a suscités nous ont amené à mieux percevoir et intégrer les apports d'une géographie plus abstraite, tournée vers la théorisation et la modélisation. Les travaux développés notamment par le courant Espace-Temps-Activité ont sans doute déclenché en nous le désir de passer d'une géographie strictement technicienne à une géographie plus conceptuelle. Il ne s'agit pas cependant de renier les bienfaits d'une géographie citoyenne. Avec les membres de notre équipe pluridisciplinaire, nous avons dû établir un langage commun permettant à chacun de trouver sa place et de participer au processus d'innovation. Fondée sur une coopération étroite entre l'aménageur (l'expert du domaine), le décideur (l'homme politique), le chercheur (le détenteur du savoir), sans oublier l'élément essentiel, l'homme-habitant (l'utilisateur), cette organisation fut conçue comme un moyen d'éviter ce que A. Bailly (1998) appelle une "recherche technocratique".

La mise en place d'Evolis constitue une forme d'aboutissement concret pour cette recherche. Les besoins de l'expérience nous ont en effet amené à participer à l'étude préalable du service, à travers la réalisation de l'enquête de terrain. Le fonctionnement d'Evolis a fait émerger des exigences d'une autre nature. L'information géographique mise au service des transports public autour du SIG-TI s'est ainsi révélée indispensable dans la conception et l'innovation d'un nouveau service public intégrant la mobilité et l'accessibilité, au sens proposé par E. Heurgon et J.P. Bailly (2001). Les objectifs opérationnels et de planification ont incontestablement contribué à l'avancée de cette thèse, lui évitant les pièges de la spéculation gratuite. Des impératifs de calendrier ou de matériel nous ont obligé à prendre dans certains cas des raccourcis et à laisser de côté certaines pistes qui s'offraient. Cela nous amène maintenant à de nouveaux questionnements qui replacent notre thèse dans une perspective d'avenir.

Quelles perspectives pour le transport à la demande ?

Ce premier point concerne les perspectives d'évolution des recherches menées sur le terrain d'étude de la Communauté d'Agglomération du Grand Besançon. Au cours de la rédaction de cette thèse, le réseau de la Compagnie des Transports de Besançon a été débaptisé au profit d'un nom à l'image plus verte et plus ramifiée de "GINKO". Cette nouvelle identité du transporteur n'a rien d'un hasard puisque le réseau a fait l'objet de remaniements considérables depuis le mois de septembre 2002. Ainsi, les indicateurs d'accessibilité proposés au cours de notre travail pourraient être ré-exploités, pour une étude diachronique de l'offre de transport à l'échelle de l'agglomération. Malgré l'efficacité d'Evolis, les décideurs ont opté pour le fonctionnement d'un réseau basé exclusivement sur le mode lourd. Dans l'objectif de garantir le droit au transport pour tous, il s'agit désormais de convaincre les élus d'assouplir le réseau de transport public. Nous avons montré qu'une organisation des transports fondée sur les "axes verts personnalisés", permettrait de satisfaire ces exigences. Les hypothèses formulées dans ce travail sont restées limitées à notre terrain d'étude qui n'intègre pas l'ensemble de la Communauté d'agglomération. Il reste à vérifier la "transférabilité" de ces combinaisons intermodales sur d'autres agglomérations et d'autres motifs de déplacements.

Pour une véritable intégration dynamique des SIG-T

La méthodologie développée au cours de ce travail a largement été articulée autour des Systèmes d'Information Géographique dédiés au Transport (SIG-T). Peu diffusés actuellement dans le monde des transports publics, l'avenir des SIG-T semble prometteur. La société Kéolis équipe depuis peu ses filiales avec le SIG MapInfo pour effectuer des travaux de planification. Ce logiciel a été retenu au cours de cette thèse, puis complété par des outils d'analyse spatiale, de parcours de graphes ou de visualisation. Les innombrables transferts de fichiers effectués au cours de ces trois années nous rendent maintenant impatient d'utiliser un SIG-T véritablement intégré. Ce SIG-T serait capable de rassembler des techniques d'analyse de réseau tout en offrant des outils d'exploration statistique interactifs, dotés d'un environnement graphique approprié et cela sans passer par de longues étapes d'exportation et d'importation de données. En attendant, nos recherches seront davantage orientées vers des systèmes d'investigation plus spécifiques, comme Transcad ou les derniers développements d'ArcInfo sous PC.

L'expérience interdisciplinaire, menée pendant ces trois années, a montré à quel point il était important de trouver un langage commun à tous les partenaires pour décrire les composantes du système de transport public. Le formalisme UML s'est révélé

particulièrement approprié à cette tâche. La modélisation conceptuelle du réseau de transport public avec la notation UML a permis d'élaborer une base de données spatio-temporelle sur l'agglomération bisontine. Ce stade conceptuel n'a cependant pas été dépassé dans cette recherche, puisque la base de données a ensuite été implantée dans un SIG fonctionnant sur le mode relationnel. Le rapprochement des SIG avec des Case Tool, des logiciels destinés à formaliser une base de données dans un langage spécifique, facilitera à terme le passage du stade de la conception à l'intégration directe du modèle physique dans le SIG.

Un procédé de cartographie animée associant un SIG avec un outil de visualisation a enfin été proposé dans cette recherche. Il apparaît maintenant essentiel de dépasser le stade du prototype en intégrant cet outil de visualisation dynamique au sein même du SIG. Doté d'un curseur dynamique, cet environnement informatique pourrait alors offrir à l'utilisateur la liberté de naviguer à sa guise dans une véritable ville numérique, en multipliant les angles de vue ainsi que les hypothèses d'analyse. Cette liberté d'exploration ne doit cependant pas laisser l'utilisateur sans repère. Il semble ainsi nécessaire de constituer une grille de lecture des cartes animées afin de rendre l'analyse plus efficace.

Vers une étude approfondie des nouveaux rythmes urbains

Les procédés de visualisation dynamique permettent d'apporter un autre regard sur les nouveaux rythmes urbains. Ce thème de recherche mobilise de plus en plus de chercheurs or les données statistiques sur les déplacements référencés dans l'espace et le temps restent très rares. Dans ce contexte, un procédé de désagrégation spatio-temporel des données issues d'une enquête ménage a été développé. Celui-ci fait ressortir des résultats intéressants sur la mobilité mais ne peut cependant remplacer des données de qualité parfaitement référencées dans l'espace et le temps. Il est souhaitable de collecter selon un protocole spécifique une information désagrégée sur la mobilité, conformément à la démarche proposée par le courant Espace-Temps-Activité.

Ce type de sondage exigeait jusqu'à présent des moyens conséquents en termes financiers, humains et techniques. Des protocoles d'enquêtes téléphoniques couplés à un SIG permettent maintenant de constituer des bases de données de qualité pour un coût acceptable. La diffusion d'une technologie plus avancée comme le PDA, couramment utilisé aux Etats-Unis, est actuellement envisagée par le ministère de l'Equipement pour observer de façon très détaillée la mobilité d'un petit échantillon de personnes. A travers ces techniques de sondage, toute la complexité des trajectoires des déplacements pourra être restituée dans l'objectif final de fournir une image animée des nouveaux rythmes urbains.

On peut enfin s'interroger sur le potentiel de ces cartes animées pour répondre à des besoins d'aménagement. Comment en effet tirer parti de ces informations pour agir sur la mobilité ? Ce procédé constitue à nos yeux un formidable outil d'aide à la régulation des rythmes urbains. Il permet en effet de visualiser toute modification apportée à l'emploi du temps des citoyens. L'impact d'une politique aussi volontariste que celle menée à Poitiers avec le décalage des cours des étudiants de 15 minutes, pourrait ainsi être simulée au moyen d'une analyse chronotopique, au sens des chercheurs de l'école polytechnique de Milan. En inscrivant cet outil dans une démarche participative associant des techniciens, des élus et des prescripteurs de calendrier comme les directeurs des ressources humaines de grandes entreprises, il serait alors possible d'orchestrer la mobilité en donnant un nouveau tempo aux rythmes urbains.

Les différentes propositions relevant de la problématique des nouveaux rythmes urbains s'inscrivent parfaitement dans les attentes du groupe "mobilité territoire et développement durable" du PREDIT. Cet organisme nous donne la chance de poursuivre notre itinéraire de chercheur dans cette direction, puisque le programme que nous avons intitulé "des trajectoires individuelles aux rythmes urbains" vient d'être retenu.

BIBLIOGRAPHIE

(Tous les ouvrages indexés dans cette bibliographie ne sont pas appelés dans le texte, mais ont contribué à la construction de ce travail)

Adams T., Vonderohe P., Butler A. (1998), "Multimodal, multidimensional location referencing system modeling issues", *Workshop on functional specification for multimodal, multidimensional transportation location referencing systems*, Washington DC, 18 p.

ADEME, CERTU, GART (1996), "*Les déplacements urbains en provinces*", Paris.

AFIV (2000), "Action fédératives intermodalité-voyageur / information communication", rapport final pour PREDIT, www.predit.org.

Allen J. (1989), "Moments and points in an interval-based databases", *International Journal of geographical information systems*, Vol. 8, n°1, pp. 95-103.

Amar G. (1999), "*La ville virtuelle*", in colloque de Cerisy, Les métiers de la ville, ed. de L'Aube, La tour d'Aigue.

Ampe F., Neuschwander C. (2002), "*La république des villes*", ed. de l'Aube, coll. Bibliothèque des territoires, La tour d'Aigue, 157 p.

Andan O., Tabourin E. (1998), "*Croissance et recomposition socio-économique des espaces urbains*" in Données urbaines 2 (dir. Pumain D. et Mattei M.F.), coll. Villes, ed. Economica, Paris, pp. 273-285.

Anselin L. (1998), "Exploratory spatial data analysis in a geocomputational environment", *Geographical information systems: a primer*, Cambridge, Geo-information international.

Anselin L. (2000), "The link between GIS and spatial analysis", *Journal of geographical systems*, n° 2, pp. 11-15.

Anselin L., Dodson R., Hudak S. (1993), "Linking GIS and spatial data analysis in practice" *Geographical systems*, n°1, pp. 3-22.

Ascher F. (1998), "*La république contre la ville : essai sur l'avenir de la France urbaine*", Ed. Aube, Coll. Société, La Tour d'Aigues, 201 p.

Ascher F. (1999), "*La RATP, outil du service public de la mobilité et acteur du dynamisme francilien*", in Quand les transports deviennent l'affaire de la cité (dir. Heurgon E. et Jarreau J.), Ed. de l'Aube, Coll. Territoire, La Tour d'Aigues, pp. 15-32.

Ascher F. (2000a), "*Les mobilités et les temporalités, condensateurs des mutations urbaines*", in Les territoires de la mobilité (dir. Bonnet M. et Desjeux D.), Ed. PUF, Coll. Sciences sociales et sociétés, pp. 201-214.

Ascher F. (2000b), "*Ces événements nous dépassent, feignons d'en être les organisateurs*", Ed. de l'Aube, Coll. Monde en cours, La Tour d'Aigues, 300 p.

Ascher F. (2001a), "*Les nouveaux principes de l'urbanisme : la fin des villes n'est pas à l'ordre du jour*", Ed. de l'Aube, Coll. Monde en cours, La Tour d'Aigues, 104 p.

AUDAB (2002), "*Matière à projet pour l'Agglomération du Grand Besançon*", Contribution de l'agence d'urbanisme pour le lancement e la démarche.

Bailly A. (1998), "*La géographie appliquée*", in Les concepts de la géographie (dir. Bailly A.), Armand Colin, Paris, 333 p.

- Bailly J.P., Heurgon E. (2001), *"Nouveaux rythmes urbains : quels transports ?"* Ed. Aube, Coll. Prospective du présent, La Tour d'Aigues, p. 221.
- Banos A. (2001a), *"Le lieu, le moment, le mouvement : pour une exploration spatio-temporelle désagrégée de la demande de transport en commun en milieu urbain"*, Thèse de doctorat, Besançon, 355 p.
- Banos A. (2001b), "Enhancing mobility behaviour analysis using spatial interactive tools and computer intensive methods", *Geographic information sciences*, Vol. 7, n°1, pp. 35-41.
- Banos A., Bolot J., Thevenin T. (2001), "Pour un transport public personnalisé : le projet Evolis-gare" Concours du prix du développement local de la Caisse des dépôts et consignations, Besançon, 23 p.
- Banos A., Izembard A. et Josselin D. (2002), *"Les services de Transport, à la Demande dans leur marché et leur cadre institutionnel. Etude de faisabilité d'un repositionnement socioéconomique de ces marchés. Cadre Juridique et Institutionnel"*, Rapport PREDIT Préférences Suscitées, Modélisation Statistique et Exploratoire de la Demande Rapport Phase 3 (2000-2001), VIA GTI, THEMA – UMR 6049 CNRS, 67 p.
- Banos A., Josselin D. (1999), *"Les services de transport à la demande dans leur marché et leur cadre institutionnel"*, Rapport d'étape I, Etude de faisabilité d'un repositionnement socio-économique de ces marchés, Rapport PREDIT, 58 p.
- Barlogis O. (2000), *"Besançon, croissance et équilibre"*, INSEE Franche-Comté, Essentiel n°32,.
- Beaucire F. (1996), *"Les transports publics et la ville"*, ed. Milan, Toulouse, 63 p.
- Beaucire F., Berger M., Saint-Gérand T. (1997), *"Mobilité résidentielle et navettes domicile-travail en Ile-de-France"*, in *Entreprendre la ville : Nouvelles temporalités – Nouveaux services* (dir. Obadia A.), Ed. de l'Aube, Coll. Territoire, La Tour d'Aigues, pp. 175-190.
- Beaucire F., Lebreton J. (2000a), *"Transports publics et gouvernance urbaine"*, ed. Milan, Toulouse 127 p.
- Beaucire F., Meyer A. (2000b), *"l'usage des transports publics dans les villes de provinces"*, in *Données Urbaines 3* (dir. Mattei F. et Pumain D.), coll. Villes, ed. Economica, Paris, pp.61-67.
- Ben-Akiva M., Lerman S.R. (1985), *"Discret choice analysis: Theory and application to travel demand"*, The MIT presse, England.
- Benoît J.M., Benoît P., Pucci D. (2002), *"La révolution de la proximité : la France à 20 minutes"*, Belin, 271 p.
- Bessy-Pietry P. (2000), "Les formes récentes de la croissance urbaine", *Economie et statistique*, n°336, pp. 35-52.
- Bolot J. (2001), "Calibrating models based on anticipation by genetic algorithms ", *Actes du Colloque, Geocomputation, 6th International, Conference on Geocomputation*, Brisbane, 5 p.
- Bolot J., Josselin D., Thevenin T (2002), "Responsive Demand Transports in the Mobilities and Technologies Evolution. Context, Concrete Experience and Perspectives". *Proceedings of the 5th AGILE Conference on Geographic Information Science*, April 25th-27th, palma, pp. 331-338.
- Bonfiglioli S. (1997), *"Politiques sur les temps urbains : le panorama des villes italiennes"*, in *Entreprendre la ville : Nouvelles temporalités – Nouveaux services* (dir. Obadia A.), Ed. de l'Aube, Coll. Territoire, La Tour d'Aigues, pp. 144-159.
- Bonnafous A., Tabourin E. (1998), *"Modélisation de l'évolution des densités urbaines"*, in *Données Urbaines 2* (dir. Mattei M.F. et Pumain D.), coll. Villes, ed. Economica, Paris.
- Bonnet M. Desjeux (2001), *"Les territoires de la mobilité"*, Ed. PUF, Coll. Sciences sociales et sociétés, 224 p.
- Booch G., Jacobson I., Rumbaugh J. (1999), *"The Unified Modeling Language User Guide"*. Addison Wesley.
- Bordreuil J.S.. (2000), *"Micro-sociabilité et mobilité dans la ville"*, in *Les territoires de la mobilité* (dir. Bonnet M. et Desjeux D.), Ed. PUF, Coll. Sciences sociales et sociétés, pp. 109-125.
- Bordreuil S. (1995), "De la densité habitante aux densités mouvantes : l'hyperurbanité", *Les annales de la recherche urbaine*, n°67, pp. 4-14.
- Borraz O. (1998), *"Gouverner la ville : Besançon 1959-1989"*, Les presses universitaires de Rennes, 227 p.
- Boulin J.Y. (2001), *"Le temps du travail dicte-t-il l'emploi du temps des citoyens ?"*, in *Le quotidien urbain : essais sur le temps des villes* (dir. Paquot T.), Ed. La découverte, pp. 33-50.

- Bourdin A. (2000), "Les services à la mobilité. Sécurité de la chaîne des services et services d'aide aux services", in Les territoires de la mobilité (dir. Bonnet M. et Desjeux D.), Ed. PUF, Coll. Sciences sociales et sociétés, pp. 95-107.
- Bowman J., Ben Akiva M. (1997), "Activity based travel forecasting", in *Activity-based travel forecasting conference*, Departement of Transportation, Wachington D.C.
- Braudel F. (1990), "L'identité de la France (Espace et histoire), Vol 3, Paris, Champs Flammarion, 536p.
- Bréheret L., Henry J.J. (2000), "L'information sur les déplacements : outils d'exploitation du trafic ?", *Congrès international francophone de l'ATEC : transports et société de l'information*, 26-28 janvier, Versailles, pp. 203-216.
- Brunet R. (1993), "La carte mode d'emploi", Fayard-Reclus, Paris, 270 p.
- Brunet R. (1993), "Les mots de la géographie, dictionnaire critique", Paris, 470 p.
- Brunsdon C. (1991), "Estimating probability surfaces in GIS : an adaptive technique", *ESGIS'91 Proceedings, Second European conference in GIS*, Brussels, Vol. 1, pp. 155-164.
- Brunsdon C. (1998), "Exploratory spatial data analysis and local indicators of spatial association with Xlisp-Stat", *The statistician*, Vol. 47, n°3, pp. 471-484.
- Burhin F.(1995), "Le transport public à la demande : critères et évaluation", *UITP, Congrès de Bruges*, 29 - 30 Août, 22 p.
- Cancallon F., Gargaillot L. (1991), " Les transports collectifs urbains : quelles méthodes pour quelle stratégie ?", Celse, Paris, 342 p.
- Cauvin C. (1984), "Etude des configurations cognitives intra-urbaines – Aspects méthodologiques", Thèse de doctorat d'Etat, Vol. 1, Strasbourg, 303 p.
- Cauvin C. (1998), "Accessibilité intra-urbaine : une approche méthodologique", in *L'espace géographique des villes* (dir. Reymond H. et al.), ed. Anthropos, Coll. Villes, Paris, pp. 77-100.
- Cauvin C. Schlumberger R. (1998), "Analyse spatiale des semis urbains : diversité et complémentarité des techniques", in *L'espace géographique des villes* (dir. Reymond H. et al.), Ed. Anthropos, Coll. Villes, Paris, pp. 231-285.
- CEN (1995), "Reference data model for public transport", Rapport de synthèse, Paris, 144 p.
- CERTU (1998), "Les plans de déplacements urbains", Guide, CERTU, 260 p.
- CERTU, CETE de Lyon, CETE Nord-Picardie (1998), "Enquête ménages déplacements : méthode standard", CERTU, Lyon, 295 p.
- CETUR (1983), "Systèmes d'aide à l'exploitation des transports publics urbains", Rapport de synthèse du CETUR, 80 p.
- CETUR, UTP (1988), "SICLOP – Cahier de recommandations des systèmes d'aide à l'exploitation pour les petits réseaux de transport urbain", Rapport de synthèse, 30 p.
- Chapeleau R. (1992), "La modélisation de la demande de transport urbain avec une approche totalement désagrégée", *World Conference on Transportation Research Proceedings*, Lyon, pp. 937-948.
- Chapelon L. (1997), "Offre de transport et aménagement du territoire : évaluation spatio-temporelle des projets de modification de l'offre par modélisation multi-échelle des systèmes de transport", Thèse de doctorat, Tours, CESA, 562 p.
- Chapin F. (1974), "Human activity pattern in the city", John Wiley & Sons, New-York.
- Chapleau R., Trépanier, M., Allard B. (1998), "Practical implementations of Object-oriented GIS-T", *Geographic Information System*, <http://www.transport.polymtl.ca>
- Chardonnel S. (1999), "Emplois du temps et de l'espace. Pratiques des populations dans une station touristique de montagne", Thèse de géographie. Grenoble.
- Charles G. (1970), "Les villes françaises", Besançon, Paris, La documentation française (notes et étude documentaires).
- Cheyland J-P., Lardon S., Mathian H., Sanders L. (1994), "Les problématiques liées au temps dans les SIG", *Revue internationale de géomatique*, Vol. 4, n°3, pp. 1-10.

- Claramunt C., Jiang B., Bargiela A. (2000), "A new framework for the integration, analysis and visualisation of urban traffic data within geographic information systems", *Transportation Research part C*, n°8, pp. 167-184.
- Claramunt C., Thériault M. (1995), "*Managing time in GIS: an event-oriented approach*", in Recent Advances in temporal databases (dir: Clifford J., Tushilin A.), British computer society, Springer Verlag, Berlin, pp. 23-42.
- Clément L. (1995), "*Offre intermédiaire et organisation hiérarchique des réseaux de transports collectifs urbains : le cas de l'agglomération lyonnaise*", Thèse de Sciences Economiques, Université Lumière Lyon II, 538 p.
- Clement L. (1998), "La prise en compte des comportements individuels : les modèles de choix discret", *Séminaire de l'école nationale des ponts et chaussées sur la modélisation des déplacements*, juin 1998, Paris.
- Cook R. L., Porter T., and Carpenter L. (1985), "Distributed Ray Tracing", *Computer Graphics*, Vol. 18/3, pp. 137-145.
- Cook R.D., Weisberg S. (1999), "*Applied Regression Including Computing and Graphics*", Wiley Series in Probability & Statistics.
- Davies R., Bennison D. (1978), "Retailing in the city centre: the characters of shopping streets", *TESG*, Vol. 69, pp. 270-284.
- Destandau S., Ladiray D., Le Guen M. (1999), "*Analyse exploratoire des données*", *Courrier des Statistiques*, n° 90, 67 p.
- DiBiase D., Maceachren A., Krygier J., Reeves C. (1992), "Animation and the role of map design in scientific visualization", *Cartography and Geographical Information Systems*, Vol. 19, pp. 201-214.
- Diday E. (1972), "Optimisation en classification automatique et reconnaissance des formes", *Revue Française de Recherche Opérationnelle*, Vol. 3, pp. 61-96.
- Diday E. (1974), "Classification automatique séquentielle pour grands tableaux", *Revue Française de Recherche Opérationnelle*, Vol. 9, pp. 1-29.
- Diederich R. (1998), "*Luxembourg-ville : un exemple d'accessibilité pluri-modale*", in L'espace géographique des villes (dir. Reymond H. et al.), Ed. Anthropos, Coll. Villes, Paris, pp. 101-126.
- Domencich T., Mc. Fadden D. (1975), "*Urban travel demand: a behavioural analysis*", North-Holland Publishing Company, Amsterdam, 215 p.
- Dorling D. (1994), "*Cartograms for visualizing human geography*", in Visualization in geographic information systems (dir. Hearnshaw H., Unwin D.), Wiley, Chichester, pp. 85-102.
- Dueker K., Butler A. (1998), "GIS-T Enterprise data model with suggested implementation choices", *Urban regional information system association journal*, n°10, pp. 13-26.
- Dueker K., Butler A. (2000b), "A geographic information system framework for transportation data sharing", *Transportation Research Part C*, n° 8, pp. 13-26.
- Dueker K., Ton T. (2000a), "*Geographical information systems for transport*", in Handbook of transport modelling (dir : Hensher D., Button K.), Elsevier Science, Oxford, pp. 253-268.
- Dumortier F., Pan Ké Shon J.L. (1999), "En 13 ans, moins de temps contraintes et plus de loisirs", *INSEE Première*, n°675, 4p.
- Dupuy G. (1991), "*L'urbanisme des réseaux, théories et méthodes*", Armand Collin, 198 p.
- Dupuy G. (1995), "*Les territoires de l'automobile*", ed. Economica, coll. Villes, Paris, 216 p.
- Dupuy G. (1999), "*La dépendance automobile : symptômes, analyses, diagnostic, traitements*", ed. Economica, coll. Villes, Paris, 160 p.
- Dupuy G. (1999), "*La dépendance automobile*", Paris, Economica, 156 p.
- Dupuy G. (2001), "*Automobilité : Quelles relations à l'espace ?*", in Les territoires de la mobilité (dir. Bonnet M. et Desjeux D.), Ed. PUF, Coll. Sciences sociales et sociétés, pp. 37-51.
- ENPC (1999), "Comment mettre en place une politique intermodale dans les transports ?", séminaire de l'Ecole Nationale des Ponts en Chaussées, novembre 1999, Paris.
- ESRI (1997), "*Understanding GIS : the ArcInfo method...*", ESRI press, Redlands, California.

- Fauvet M.-C., Daassi C., Rigaux P., Josselin D., du Mouza C., Dumas Menjivar M., Bolot J., Scholl P.-C., Dumolard P., Scholl M., Chardonnel S. (2001), *Système d'Information Géographique spatio-temporelle : application aux problèmes de mobilité*, Rapport Final, PSIG.
- Floch J.M. (2000), *"Expansion urbaine et densification du peuplement : le cas de Besançon"*, INSEE Franche-Comté, Le magazine n°23, pp. 8-10.
- Foltête J.C. Flitti M (1999), "Segmentation d'image en milieu urbain fondée sur la caractérisation des motifs spatiaux. Application à la ville d'Oran", *Actes du séminaire de télédétection à très haute résolution spatiale et analyse d'image*, CEMAGREF, Montpellier, pp. 39-50.
- Forer P., Kivell H. (1981), "Space-time budgets, public transport and spatial choice", *Environment and planning A*, Vol. 13, pp. 497-509.
- Fotheringham S. (2000a), *"GeoComputation analysis and modern spatial data"*, in GeoComputation (dir: Openshaw S., Abraham R.), Taylor & Francis, London, pp. 33-48.
- Fotheringham S. (2000b), "Context-dependent spatial analysis: a role for GIS ?", *Journal of geographical systems*, n°2, pp. 71-76.
- Frankhauser P. (1994), *"La fractalité des structures urbaines"*, Ed. Anthropos, Coll. Villes, 291 p.
- Fried M., Havens J., Thall M. (1977), "Travel behavior – a synthesized theory", *NCHRP, Transportation Research Board*, Final Report, Washington DC.
- Frihida (2001), *"Modélisation spatio-temporelle orientée objet pour l'étude du comportement de transport basé sur l'activité"*, thèse de doctorat, Montréal, 146 p.
- Gagnon P., Coleman D. (1990), "La géomatique : une approche systémique intégrée pour répondre aux besoins d'information sur le territoire", *CISM journal ACSGG*, Vol. 44, n°4, pp. 383-389.
- Gahegan M. (2000), *"Visualization as a tool for GeoComputation"*, GeoComputation (dir: Openshaw S., Abraham R.), Taylor & Francis, London, pp. 253-274.
- Gallez C., Orfeuill J.P. (1998), *"Dis-moi où tu habites, je te dirai comment tu te déplaces"*, in Données urbaines 2 (dir. Pumain D. et Mattei M.F.), coll. Villes, ed. Economica, Paris, pp. 157-166.
- GART, ADEME (1999), *"Politique et pratiques d'intermodalité"*, ed. GART, Paris, 162 p.
- Genre-Grandpierre C. (2000), *"Forme et fonctionnement des réseaux de transport : approche fractale et réflexion sur l'aménagement des villes"*, Thèse de doctorat, Besançon, 377 p.
- Godard F. (1997), *"Gérer les temporalités du travail à la ville"*, in *Entreprendre la ville : Nouvelles temporalités – Nouveaux services* (dir. Obadia A.), Ed. de l'Aube, Coll. Territoire, La Tour d'Aigues, pp. 400-408.
- Godard F. (2000), "Les temps urbains réinventés : une dynamique complexe de désynchronisation et de resynchronisation", *La recherche*, Supplément au n°337, pp. 26-29.
- Godard F. (2001), *"La ville en mouvement"*, Ed. Découvertes Gallimard, Coll. Culture et société, Paris, 127 p.
- Godard F., De Singly F. (2001), *"Les français et le temps de la ville"*, commentaire du sondage SOFRES, 17 p.
- Goodchild M. (2000a), "GIS and transportation: statuts and challenges", *Geoinformatica*, Vol. 4, n°2, pp. 127-139.
- Goodchild M. (2000b), "The current status of GIS and spatial analysis", *Journal of geographical systems*, n° 2, pp. 5-10.
- Gould P., DiBiase D., Kabel J. (1990), "Le SIDA : la carte animée comme rhétorique cartographique appliquée", *Mappe Monde*, Vol. 1, pp. 21-26.
- Guez A., Stabilini S., Zedda R. (2000), "Les Italiens à l'heure des villes", *La recherche*, Supplément au n°337, pp. 30-31.
- Hearnshaw H. (1994), *"Psychology and displays in GIS"*, in *Visualization in geographic information systems* (dir. Hearnshaw H., Unwin D.), Wiley, Chichester, pp. 189-192.
- Hearnshaw H., Unwin D. (1994), *"Visualization in geographic information systems"*, Wiley, Chichester, 241 p.
- Heurgon E. et Jarreau J. (1999), *"Quand les transports deviennent l'affaire de la cité"*, Ed. de l'Aube, Coll. Territoire, La Tour d'Aigues, 129 p.

- Houot H. (1999), *"Approche géographique des nuisances sonores urbaines – méthodologie d'aide à la prise en compte des nuisances sonores en aménagement urbain : application à la ville de Besançon"*, thèse de doctorat en géographie, Besançon, 326 p.
- Huguenin-Richard F. (2000), *"Approche géographique des accidents de la circulation : proposition des modes opératoires de diagnostic. Application au territoire de la métropole lilloise"*, thèse de doctorat de géographie, Besançon, 322 p.
- Huguenin-Richard F., Thevenin T. (octobre 2000), *"Cartographie des zones accidentogènes sur la communauté urbaine de Lille"*, Festival international de géographie de Saint-Dié-Des-Vosges, Poster.
- Huriot J.M., Perreur J. (1994), *"L'accessibilité"*, in *Encyclopédie d'économie spatiale*, (dir. Auray J.P. et al.), pp. 50-58.
- INSEE (1996), *"Enquête Transports et Communications" 1993-94*, Paris, 133 p.
- Jones P., Dix M., Clarke M., Heggie I. (1983), *"Understanding travel behavior"*, Aldershot, Gower.
- Jones P., Koppelman F., Orfeuill J.P. (1990), *"Activity analysis: State-of-the-art and future directions"*, in *Developpements in dynamic and activity-based approaches to travel analysis* (dir. Jones P.), Aldershot, Gower.
- Josselin D. (1999), *"A la recherche d'objets géographiques composites avec le prototype ARPEGE"*, *Revue internationale de géomatique*, Vol. 9, n°4, pp. 489-505.
- Kaufmann (1998) *"Les citoyens face à l'automobilité : étude comparée des agglomérations de Besançon, Grenoble, Toulouse, Berne, Genève et Lausanne"*, Dossier du CERTU n°80, 121p.
- Kaufmann V. (2000), *"Mobilité quotidienne et dynamiques urbaine : la question du report modal"*, ed. Presses polytechniques et universitaires romandes, coll. Science, technique, société, Lausanne, 252 p.
- Kaufmann V. Jemelin C., Margail F. (2000), *"L'information au service de l'intermodalité"*, *Actes du colloque de l'ATEC : Transports et société de l'information*, ed. Presses des ponts et chaussée, 26-28 janvier 2000, Versailles, pp. 163-170.
- Kaufmann V., Jemelin C., Guidez (2002), *"Automobile et modes de vie urbains : quel degré de liberté ?"*, ed. la documentation française, coll. Recherche, Paris, 167 p.
- Kaufmann V., Jemelin Ch., Joye D. (2000), *"Intermodalité et interfaçages : sociologie des usagers"*, Rapport de recherche, Lausanne, 59 p.
- Kurani K., Lee-Gosselin M. (1997), *"Synthesis of past activity analysis applications"*, in *Activity-based travel forecasting conference*, US department of transport, Washington D.C.
- Kwan M-P (2000b), *"Interactive geovisualization of activity patterns using three-dimensional geographical information systems: a methodological exploration with a large data set"*, *Transportation Research Part C*, n°8, pp. 185-203.
- Kwan M-P. (1997), *"GISICAS : an activity-based travel decision support system using a GIS-interfaced computational process model"*, in *Activity-based approaches to travel analysis* (dir : Ettema D., Timmermans H), Elsevier, New York, pp. 263-282.
- Kwan M-P. (1998), *"Space-Time and integral measure of individual accessibility: a comparative analysis using a point-based framework"*, *Geographical analysis*, Vol. 30, n° 3, pp. 191, 216.
- Kwan M-P. (2000a), *"Analysis of human spatial behavior in a GIS environment: recent developments and future prospect"*, *Journal of geographical System*, n°2, pp. 85-90.
- Lainé F. (2000), *"Péri-urbanisation des activités économiques et mouvements d'emploi des établissements"*, in *Données Urbaines 3* (dir. Mattei F. et Pumain D.), coll. Villes, ed. Economica, Paris, pp.251-260.
- Lang C., Thevenin T., Chatonnay P. (2002) *"A pathfinding algorithm for a geo-statistical analysis of a public transportation network"*, *GIS-T conference*, Atlanta (USA), 12 p.
- Langran G. (1993), *"Issues of implementing a spatio-temporal system"*, *International Journal of geographical information systems*, Vol. 7, n°4, pp. 305-314.
- Lardon S., Libourel Th., Cheylan J.P. (1999), *"Concevoir la dynamique des entités spatio-temporelles"*, *Revue internationale de géomatique*, Vol. 9, n°1, pp. 45-65.
- Laurini R. (1996) *"Les systèmes d'information pour la gestion des villes"*, in *Données urbaine 1* (dir. Pumain D., Godard F.), coll. Villes, ed. Economica, Paris, pp.45-55.

- Laurini R., Thompson D. (1992), *"fundamentals of spatial information systems"*, Academic Press, London
- Lebreton E. (2000), "Le transport à la demande comme innovation institutionnelle : trois cas français, Le transport à la demande, un nouveau mode de gestion des mobilités urbaines, pp. 97-139.
- Lebreton E., Ascher F., Bourdin A., Charrel N., Ducroux L., Prins M., Pycha A. (2000), *"Le Transport à la Demande, un nouveau mode de gestion des mobilités urbaines"*, ARDU, rapport PREDIT.
- Lefèvre C., Offner J.M. (1990), *"les transports urbains en question : usages, décisions territoires"*, Editions Celse, Paris, 221 p.
- Lenntorp B. (1976), *"Path in Space-Time environments: A Time-geographic study of movement possibilities of individuals"*, Royal university of Lund.
- Leurent F. (1998), "Des modèles pour quoi faire ?", *Séminaire de l'école nationale des ponts et chaussées sur la modélisation des déplacements*, juin 1998, Paris.
- Levy J. (1997), *"Définir l'espace par le temps"*, in *Entreprendre la ville : Nouvelles temporalités – Nouveaux services* (dir. Obadia A.), Ed. de l'Aube, Coll. Territoire, La Tour d'Aigues, pp. 430-439.
- Levy J. (2000), *"Les nouveaux espaces de la mobilité"*, in *Les territoires de la mobilité* (dir. Bonnet M. et Desjeux D.), Ed. PUF, Coll. Sciences sociales et sociétés, pp. 155-170.
- Longley A., Goodchild M., Maguire D., Rhind D. (2001), *Geographic information systems and science*, Ed. Wiley, Chichester, 454.
- MacEachren A. (1992), "Visualizing uncertain information", *Cartography perspectives*, Vol. 13, pp. 10-18.
- MacEachren A. (1994), *"Time as a cartographic variable"*, in *Vizualisation in geographic information systems* (dir. Hearnshaw H., Unwin D.), Wiley, Chichester, pp. 115-130.
- Marchand P. (1994), "Transport à la demande, du « sur-mesures", *Journées de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées sur les systèmes de transport adaptés aux zones peu denses*, 27-28 septembre, 20 p.
- Margail F. (1996), "De la correspondance à l'interopérabilité : les mots de l'interconnexion", *Flux n°25*, Juillet – septembre, pp. 28-35.
- Masboungi A. (2001), *"Du bon usage de la chronotopie"*, in *Le quotidien urbain : essais sur le temps des villes* (dir. Paquot T.), Ed. La découverte, pp. 167-179.
- Masson S. (1998), "Interaction entre système de transport et système de localisation : de l'héritage des modèles traditionnels à l'apport des modèles interactifs de transport et d'occupation des sols", *Les cahiers scientifiques du transport*, n°33, p. 79-108.
- Massot M.H. (1998), *"Espace de vie – espace de travail"*, in *Données Urbaines 2* (dir. Pumain D. et Mattei M.F.), coll. Villes, ed. Economica, Paris, pp.147-156.
- Massot M.H. (2000), *"Les pratiques de la multimodalité dans les grandes agglomérations"*, in *Données Urbaines 3* (dir. Mattei F. et Pumain D.), coll. Villes, ed. Economica, Paris, pp.69-80.
- Massot M.H., Monjaret B. (1997), *"Automobile et transports publics : complémentarité des pratiques modales dans l'aire d'influence de la RATP"*, in *Entreprendre la ville : Nouvelles temporalités – Nouveaux services* (dir. Obadia A.), Ed. de l'Aube, Coll. Territoire, La Tour d'Aigues, pp. 189-205.
- Mc.Nally M.G. (2000), "The activity-based approach", in *Handbook of transport modelling* (dir. Hensher A. and Button J), Elsevier Science Ltd.
- Méda D. (2001), *"Le temps des femmes, pour un nouveau partage des rôles"*, Flammarion, Paris, 199 p.
- Merlin P. (1984), *"La planification des transports urbains"*, Presses Universitaire de France, Paris, 220 p.
- Merlin P. (1991), *"Géographie, économie et planification des transports"*, Presses Universitaire de France, Paris, 472 p.
- Merlin P. (1992), *"Les transports urbains"*, ed. Presses universitaires de France, coll. Que sais-je ?, Paris, 128 p.
- Miller H. (1991), "Modelling accessibility using spate-time prism concepts within geographical information systems", *International journal of geographical information systems*, n°5, pp. 287-301.
- Moellering H. (1973), "The automated mapping of traffic crashes", *Survey and mapping*, Vol. 33, pp. 467-477.
- Moellering H. (1976), "The potential uses of a computer animated film in the analysis of geographical patterns of traffic crashes", *Accident analysis & prevention*, Vol. 8, pp. 215-227.

- Mondou V. (2001), "Daily mobility and adequacy of the urban transportation network a GIS application", CYBERGEO, n° 192, 18-06.
- MOTIF (1999), "*Validation of MOTIF methodologies*", work package 4, Annex, 100 p.
- Muller P.A., Gaertner N. (2001), "*Modélisation Objet avec UML*", ed. Eyrolles, Paris, 520 p.
- MVA (1999), "*Plan de Déplacements urbains des transports du Grand Besançon : Diagnostic*", District du Grand Besançon, 105 p.
- Obadia A. (1997), "*Entreprendre la ville : Nouvelles temporalités – Nouveaux services*" Ed. de l'Aube, Coll. Territoire, La Tour d'Aigues, 262 p.
- Offner J.M. (1995), "La socio-économie des transports, histoire critique", in *Acte du séminaire ville et transport Tome II (dir. Duhem B. et al.)*, Plan urbain – direction de l'architecture et de l'urbanisme, Paris, pp. 239-246.
- Openshaw S. (2000), "*GeoComputation*", GeoComputation (dir: Openshaw S., Abrahart R.), Taylor & Francis, London, pp. 1-34.
- Openshaw S., Abrahart R. (2000), "*GeoComputation*", Taylor & Francis, London, 400 p.
- Openshaw S., Waugh D., Cross A. (1994), "*Some ideas about the use of map animation as a spatial analysis tool*", in *Visualization in geographic information systems* (dir. Hearnshaw H., Unwin D.), Wiley, Chichester, pp. 131-138.
- Orfeuill J.P. (1994), "*Je suis l'automobile*", Ed. de l'Aube, La Tour d'Aigues, 95 p.
- Orfeuill J.P. (1997), "*Les usages du temps à partir des études de mobilité : points de repères*", in *Entreprendre la ville : Nouvelles temporalités – Nouveaux services* (dir. Obadia A.), Ed. de l'Aube, Coll. Territoire, La Tour d'Aigues, pp. 105-115.
- Orfeuill J.P. (2000), "*La mobilité locale, toujours plus loin toujours plus vite, ?*", in *Les territoires de la mobilité* (dir. Bonnet M. et Desjeux D.), Ed. PUF, Coll. Sciences sociales et sociétés, pp. 53-67.
- Orfeuill J.P. (2000b), "Les techniques de l'information vont s'appliquer à la route. Question de temps", *La recherche*, supplément n°337, pp. 46-47.
- Ortuzar J., Willumsen L.G. (1994), "*Modelling transport*", John Wiley & Sons, Chichester, 439 p.
- O'Sullivan D., Morrison A., Shearer J. (2000), "Using desktop GIS for the investigation of accessibility by public transport: an isochrone approach", *Geographical information science*, Vol. 14, n°1, pp. 85-104.
- Pantazi D., Donnay J-P. (1996), "*La conception de SIG : méthode et formalisme*", Hermes, 343 p.
- Paquot T. (2001), "*Le quotidien urbain : essais sur le temps des villes*", La découverte, 192 p.
- Petch J. (1994), "*Epistemological Aspects of visualization*", in *Visualization in geographic information systems* (dir. Hearnshaw H., Unwin D.), Wiley, Chichester, pp. 212-219.
- Petrella R. (1999), "*Réinventer la res publica, au-delà de la mobilité pour l'individu-client*", in *Quand les transports deviennent l'affaire de la cité*, ed. de l'Aube, coll. Prospectives du présent, La tour d'Aigue, 129 p.
- Peuquet D. (1994), "It's about time: a conceptual framework for the representation of temporal dynamics in geographic information systems", *Annals of the association of the American Geographers*, Vol. 84, n°3, pp. 441-461.
- Peuquet D. (2001), "Making space for time: issues in space-time data representation", *Geoinformatica*, Vol. 5, n° 1, pp. 11-32.
- Pumain D. (1997), "*Reconnaître les frontières interdisciplinaires pour mieux les transgresser : temporalité et système de ville*", in *Entreprendre la ville : Nouvelles temporalités – Nouveaux services* (dir. Obadia A.), Ed. de l'Aube, Coll. Territoire, La Tour d'Aigues, pp. 49-55.
- Pumain D., Saint-Julien Th. (1997), "*L'analyse spatiale : localisation dans l'espace*", ed. Armand Collin, coll. Cursus, Paris, 161 p.
- Pumain D., Saint-Julien Th. (2001), "*Les interactions spatiales*", ed. Armand Collin, coll. Cursus, Paris, 191 p.
- Qian L., Peuquet D. (1998), "Design of a visual query language for GIS", *8th international symposium on spatial data handling*, Vancouver, 11 p.
- Qian L., Wachowicz, M., Peuquet D., Mac Eachren A. (1997), "Delineating operations for visualisation and analysis of space-time data in GIS", *Proceeding of GIS/LIS'97*, 11 p.

- Quinet E. (1998), *"Principes d'économie des Transports"*, Economica, Paris, 410 p.
- Raux C., Lhommet E., Masson S. (1996), "Un modèle stratégique de simulation des déplacements urbains – conception et aspects méthodologiques", *Recherche-Transport-Sécurité*, n°52, juillet-septembre, pp. 31-43.
- Recker W., Golob T., Mc Nally M., Leonard J. (1989), "Dynamics tests of a time-space model of complex travel behaviour", in *Travel behaviour research, International association for travel behaviour*, Avebury, pp. 27-39.
- Recker W., Mc. Nally M., Root G. (1986), "A model of complex travel behavior – theory and operational model", *Transportation research A*, n° 20, pp. 307-330.
- Rémy J. (2000), *"Métropolisation et diffusion de l'urbain les ambiguïté de la mobilité"*, in Les territoires de la mobilité (dir. Bonnet M. et Desjeux D.), Ed. PUF, Coll. Sciences sociales et sociétés, pp. 171-188.
- Rigolo B. (2002), *"La compétence transport dans le Grand Besançon : la transformation du District en Communauté d'Agglomération"*, Mémoire de maîtrise, Besançon, 67 p.
- Robert D. (2001), *La pertinence des zonages géographiques pour l'analyse des transports*, Paris, PREDIT-METL, 44 p.
- Roncayolo M., Brun J., Burgel G., Chamboredon J.C. (2001), *"La ville aujourd'hui : mutations urbaines décentralisation et crise du citoyen"*, Ed. Seuil, Coll. Points Histoire, 898 p.
- Sadeh N., Kott A. (1999), *Models and techniques for dynamic demand-responsive transportation planning*, <http://www.cgi.com/web2/govt/models.html>
- SAMPO (System for Advanced Management of Public Transport Operations) (1999), <http://www.okanecom.fi/SAMPO/> et SAMPLUS (Extension de SAMPO), <http://www.europrojects.ie/samplusmainweb/project.htm>
- Sanders L. (1989), *"L'analyse statistique des données en géographie"*, Reclus, Paris, 267 p.
- Sanders L., Gautier D., Mathian H. (1999), "Les concepts de système spatial et de dynamique, un essai de formalisation", *Revue internationale de géomatique*, Vol. 9, n°1, pp. 25-44.
- Scémama G., Gaudin E. (1998), "Informatisation de la décision dans l'exploitation du transport", *Recherche Transport Sécurité*, n°61 octobre-décembre 1998, pp. 53-67.
- SETRA (1992), *"Guide des études de trafic interurbain"*, METL, Paris, 96 p.
- Shaw S-L., Wang D. (2000), "Handling disaggregate spatiotemporal travel data in GIS", *Geoinformatica*, Vol. 5, n° 1, pp. 161-178.
- Slinn M., Matthews P., Guest P. (1998), *"Traffic engineering design: principles and practice"*, Arnold, London, 208 p.
- Stathopoulos N. (1997), *"La performance territoriale des réseaux de transport"*, Presse des Ponts et Chaussées, Paris, 228 p.
- Szego J. (1987), "Human cartography: Mapping the world of man", Stockholm, Swedish council for building research.
- Thériault M., Claramunt C. (1999), "La représentation du temps et des processus dans les SIG : une nécessité pour la recherche interdisciplinaire", *Revue internationale de géomatique*, Vol. 9, n°1, pp. 67-99.
- Thériault M., Claramunt C., Villeneuve P.Y. (1999b), *"A spatio-temporal taxonomy for the representation of spatial set behaviours"*, in Spatio-temporal data management (dir. Böhen M., Jensen C., Sholl M.), Springer-Verlag, Edinburgh, Lecture notes in computer sciences, 1678, pp. 1-19.
- Thevenin T. (1999), *"La modélisation des déplacements régionaux : le modèle expérimental de Franche-Comté"*, Bulletin des ORT, DAEI/SES-METL, Paris.
- Thevenin T. (2000), "Promouvoir le projet intermodal dans le système de transport public d'une agglomération"; *Journée doctorale de l'AFITL*, Le Havre.
- Thevenin T. (2000), "Les multiples facettes de l'intermodalité dans les transports publics", *Actes du colloque des journées de géographie des transports*, Dijon.
- Thevenin T. (2001), "L'analyse désagrégée : un luxe ou une nécessité ?", *V^e rencontres de Théoqueante*, Besançon.
- Thevenin T. (2001), "Modelling the public transport network in an urban environment : the case of Besançon", *12^e colloque européen de géographie théorique et quantitative*, Saint-Valéry en Caux.

- Thevenin T. (2001), "The performance of the public transport system in time and space", *Proceeding Geocomputation colloquium*, Brisbane (Australia).
- Thevenin T., Fauvet M.C., Josselin (2002), "Modélisation spatio-temporelle d'un réseau de transport public – articulation intermodale d'un réseau de bus, d'un transport à la demande et d'un espace piétonnier", actes des 6^e journées Cassini, Crozon, pp. 163-186.
- Thill J.C. (2000), "Geographic information systems for transportation in perspective" *Transportation Research part C*, n°8, pp. 3-12.
- Thorlacius P. (1998), "Time-and-space modelling of public transport systems", *ESRI conference user*, <http://www.esri.com>.
- Thrower N. (1959), "Animated cartography", *The professional geographer*, Vol. 11, pp. 9-12.
- Tierney L. (1990), "*Lisp-Stat, an object oriented environment for statistical computing and dynamic graphics*", Wiley and sons, New-York, 397 p.
- Tobler W (1970), "A computer movie simulating urban growth in the Detroit region", *Economic Geography*, Vol. 46, pp. 234-240.
- Tobler W (1973), "Choropleth maps without interval", *Geographical analysis*, Vol. 5, pp. 262-265.
- Transitec (1999), "*Plan des déplacements urbains : diagnostic contraintes et objectifs*", Ville de Besançon, 25 p.
- Transitec (2000), "*Plan des déplacements urbains : le projet 2000-2010*", Ville de Besançon, 36 p.
- Trépanier M., Chapeleau R. (2001), "Analyse orientée-objet et totalement désagrégée des données d'enquêtes ménages origine-destination", *revue canadienne de génie civil*, Ottawa, vol. 28, n°1, pp.48-58.
- Trépanier M., Chapeleau R., Allard B. (2002), "Geographic information system for transportation operations: modes and specificity", 4th Transportation speciality conference of the Canadian society for civil engineering, Montréal 5-8 juin, 10 p.
- Tukey J. (1977), "*Exploratory data analysis*", Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, 688 p.
- Wachowicz M. (1999), "*Object-oriented design for temporal GIS*", Taylor & Francis, London, 118 p.
- Waters N. (1999), "*Transportation GIS: GIS-T*", in *Geographical information systems: principles and applications* (dir: Longley P., Maguire D., Goodchild M., Rhind D.), Vol 2, Wiley, New-York, pp. 827-844.
- Wiel M. (2002), "*Ville et automobile*", ed. Descarte et Cie, coll. Les urbanités, Paris, 140 p.
- Wiel M., Rollier Y. (1993), "La pérégrination au sein de l'agglomération : constat à propos du site de Brest", *Les annales de la recherche urbaine*, n°59-60, pp. 151-161.
- Xia F., Fotheringham S. (1993), "Exploratory spatial data analysis with GIS: the development of ESDA module under Arc/Info", *GIS/LIS'93 proceedings*, n°2, pp. 801-810.
- Zang W, Hunter G. (2000), "Temporal interpolation of spatially dynamic objects", *Geoinformatica*, Vol. 4, n° 1, pp. 403-418.

ANNEXES

Liste :

| | |
|--|--------|
| Annexe 1 : Préambule de la charte de l'intermodalité | p. 243 |
| Annexe 2 : Eléments d'aide à l'interprétation de l'analyse factorielle sur l'intermodalité | p.244 |
| Annexe 3 : Aide à l'interprétation du diagramme UML | p. 246 |
| Annexe 4 : La technique du lissage spatial par la méthode des noyaux | p. 247 |
| Annexe 5 : Le module de calcul des lignes virtuelles de Resad ² | p. 248 |

Annexe 1 :

Préambule de la charte de l'intermodalité

Au cours des dernières années, le transport public, globalement, ne s'est pas révélé capable de résister à la concurrence de l'automobile. Il en est résulté une dégradation de la situation économique des entreprises, un appel croissant aux financements publics, mais surtout une détérioration des conditions de vie en ville. Or, qu'il s'agisse de l'adaptation de l'urbanisme, de la lutte contre la pollution, du désenclavement des quartiers exclus, le transport public apporte les réponses les plus pertinentes.

A condition toutefois que l'intermodalité devienne une réalité. L'intermodalité prise dans son acception la plus large : dans l'espace, celle qui donne à la notion de chaîne de déplacement tout son sens, dans le respect des apports spécifiques de tous les modes ; dans le temps, celle qui s'adapte à la variété des situations, heures pleines, heures creuses, temps du travail, temps des loisirs, ...; dans les capacités de choix offertes aux voyageurs pour effectuer leurs déplacements.

Les voyageurs sont le plus souvent aussi des automobilistes, ils le seront de plus en plus. Lorsqu'ils étaient des «captifs» du transport public, l'intermodalité pouvait paraître un luxe. Aujourd'hui, elle est une exigence.

Les autorités organisatrices souhaitent exercer pleinement leurs responsabilités, aux niveaux régional, départemental, urbain. Elles attendent des entreprises de transport public qu'elles usent très largement de leur «pouvoir de proposition». Les entreprises de transport public de voyageurs exercent leur activité dans le cadre d'une réglementation complexe héritée de l'histoire qui les place en situation, tantôt de concurrence les unes vis-à-vis des autres, tantôt de complémentarité. Quand la situation de concurrence favorise l'émulation

et invite les entreprises à offrir le meilleur service au meilleur coût, à développer la qualité de service offerte aux voyageurs, à améliorer en leur sein les relations sociales, elle est alors saine. Mais elle peut aussi conduire les entreprises à s'en protéger par divers mécanismes ou à connaître des situations conflictuelles sur le terrain, notamment aux endroits où leurs activités interfèrent. C'est alors en définitive aux voyageurs qu'elle porte préjudice.

Les entreprises de transport public, en élaborant et en signant la présente charte de l'intermodalité, marquent leur volonté d'améliorer le service et le confort des voyageurs et s'engagent dans un code de conduite qui leur permettra, ensemble, de reconquérir et d'accroître leur clientèle.

Les entreprises de transport public, en élaborant et en signant la présente charte de l'intermodalité, marquent leur volonté d'améliorer le service et le confort des voyageurs et s'engagent dans un code de conduite qui leur permettra, ensemble, de reconquérir et d'accroître leur clientèle.

Confortées par les analyses issues du Livre Vert de la Commission Européenne «Un réseau pour les citoyens» et par le débat favorable qu'il provoque en Europe, les entreprises de transport public sont convaincues que l'avenir de nos villes passe par le développement des réseaux urbains et interurbains de transport public et n'acceptent pas, malgré les difficultés économiques actuelles, de s'inscrire dans une perspective de réduction de leur offre. Elles sont prêtes à prendre leur part dans l'effort de réduction des coûts d'investissement et d'exploitation, mais affirment la nécessité de l'apport de ressources nouvelles.

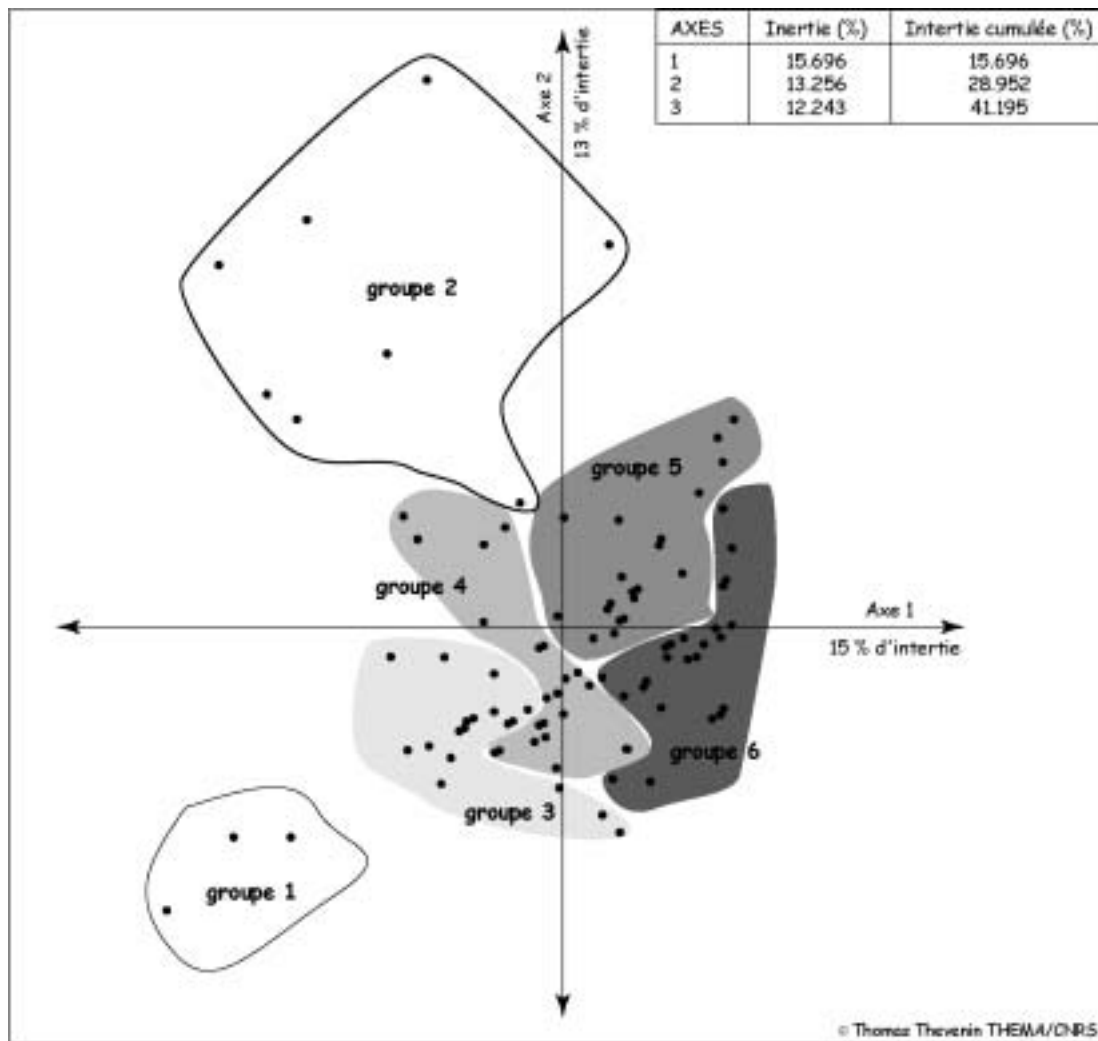
Annexe 2 :

Eléments d'aide à l'interprétation de l'analyse factorielle sur l'intermodalité

Variables utilisées pour l'analyse factorielle issues de l'enquête réalisée par l'UTP en 1998

| | Code de la variable | Signification de la variable |
|---------------------------|----------------------------|---|
| Concertation | AOT/EXPL | Coopération initiée par l'autorité organisatrice avec l'exploitant |
| | CG | Coopération initiée par le Conseil général |
| | CR | Coopération initiée par le Conseil régional |
| | CR/CG | Coopération initiée par le Conseil régional avec le conseil général |
| | CG/AOT | Coopération initiée par le Conseil général avec l'autorité organisatrice |
| | EXPL | Coopération initiée par l'exploitant |
| | CR/AOT | Coopération initiée par le Conseil régional avec l'autorité organisatrice |
| | CG/EXPL | Coopération initiée par le Conseil général avec l'exploitant |
| | CR/EXPL | Coopération initiée par le Conseil régional avec l'exploitant |
| | CR/AOT/EXPL | Coopération associant par le Conseil régional avec l'autorité organisatrice et l'exploitant |
| | CG/AOT/EXPL | Coopération associant par le Conseil général avec l'autorité organisatrice et l'exploitant |
| | CR/CG/AOT/EXPL | Coopération associant le Conseil général, le Conseil régional, l'autorité organisatrice, l'exploitant |
| | CR/CG/EXPL | Coopération associant le Conseil régional, le Conseil général, l'exploitant |
| Action intermodale | POIN | Création d'un pôle d'échange et information multimodale |
| | POLE | Création d'un pôle d'échange |
| | POTA | Création d'un pôle d'échange et d'une tarification combinée |
| | POTAIN | Création d'un pôle d'échange, d'une tarification combinée et d'une information multimodale |
| | TARI | Création d'une tarification combinée |
| | TAIN | Création d'une tarification combinée et d'une information multimodale |
| Population | POP1 | moins de 50 000 habitants |
| | POP2 | de 50 000 habitants à 100 000 habitants |
| | POP3 | de 100 000 habitants à 150 000 habitants |
| | POP4 | moins de 150 000 habitants |

Graphe factoriel







Annexe 3 :

Aide à l'interprétation du diagramme UML

(Explication des termes construits à partir de Muller et al. 2001)

Signification des objets représentés dans le diagramme

| Représentation | Nom | Signification |
|---|----------------|--|
|  | Association | Relation entre classes qui décrit un ensemble de liens |
|  | Specialisation | Point de vue porté sur une classification |
|  | Composition | Agrégation par valeur |
|  | Classe | Description abstraite d'un ensemble d'objets ; réalisation d'un type |
|  | Sous-modèle | Classe spécialisée, reliée à une autre classe plus générale par une relation de généralisation |

Glossaire des termes employés dans le commentaire

| Nom | Signification |
|----------------|---|
| Diagramme | Représentation graphique d'éléments de modélisation |
| Objet | Entité atomique constituée d'un état, d'un comportement et d'une identité |
| Héritage | Relation entre classes qui permet le partage de propriétés définies dans une classe : principale technique de généralisation |
| Généralisation | Point de vue ascendant porté sur une classification ; nom donné par UML à la relation de classification utilisée pour construire des hiérarchies de classes |
| Classification | Action d'ordonner dans le but de comprendre |
| Super-classe | Classe générale reliée à une autre classe plus spécialisée par une relation de généralisation. Aussi appelée classe parent |

Annexe 4 :

La technique du lissage spatial par la méthode des noyaux.

La démarche exposée ici reprend les explications proposées par Florence Huguenin-Richard (2000) et Arnaud Banos (2001). Nous prendrons l'exemple d'une population géoréférencée au lieu de résidence par des coordonnées en X et Y. L'information initiale est donc représentée sous la forme d'un semis de points. Très précises mais difficile à interpréter, nous avons ainsi choisi d'appliquer de façon presque systématique une technique de généralisation de l'information afin de déterminer l'intensité de l'occupation d'un territoire.

La méthode des noyaux est une technique particulière du lissage spatial. Son principe repose sur le balayage systématique de la zone d'étude par une fenêtre mobile circulaire, dont le nombre total et le rayon sont préalablement définis par l'utilisateur. D'un point de vue formel, on note S un semis régulier de points recouvrant la zone d'étude R , Si un point quelconque de ce semis, Z_i la fenêtre circulaire centrée en S_i et le X_1, X_2, \dots, X_n habitants référencés au lieu de résidence. L'intensité $\lambda(S_i)$ est alors dénombrée par le passage de la fenêtre Z_i de la manière suivante :

$$\lambda(S_i) = \frac{1}{r^2} \sum_{j=1}^n k\left(\frac{(X_j - S_i)}{r}\right)$$

Le rayon (r) de la fenêtre mobile circulaire et $k()$ une fonction de pondération symétrique, unimodale, bi-variée et croissante permettent d'affecter à chaque individu X_i un poids selon la distance euclidienne (d_{ij}) qui sépare ce dernier du centre de la fenêtre S_i . La formulation suivante a été retenue pour déterminer $k()$:

$$k(d_{ij}) \begin{cases} \frac{3}{\pi}(1 - d_{ij}^2)^2 & \text{si } d_{ij} \leq 1 \\ 0 & \text{autrement} \end{cases} \quad \text{avec } d_{ij} = \left(\frac{(X_j - S_i)}{r}\right)$$

La formulation finale de la fonction d'intensité du nombre d'habitants par noyau intégrant k est alors :

$$\lambda(S_i) = \frac{3}{\pi r^2} \sum_{d \leq r} \left(1 - \frac{d^2}{r^2}\right)^2$$

Le résultat de cette démarche permet d'aboutir à un semis pour lequel chaque point correspond au centroïde d'une fenêtre mobile. L'intensité moyenne du nombre d'habitants associé est indiquée pour chacun de ces points. Une interpolation peut être enfin utiliser afin de représenter ces informations sous une forme surfacique.

Annexe 5 :

Le module de calcul des lignes virtuelles de Resad²

The screenshot shows a window titled 'TS1' with a 'Paramètres' (Parameters) section. Under 'Les paramètres', it specifies the date 'Le lundi 12 novembre 2001' and the origin 'Pour un train au départ de Evreux vers (1760)'. There are five radio buttons for 'Proposition n°1' through 'n°5'. 'Proposition n°2' is selected. Parameters for 'Proposition n°2' include 'Nombre de rames : 2', 'Temps calculé : 46 minutes et 21 secondes', and 'Prix du service : 130 francs'. A 'Construction manuelle' checkbox is also present. Below this, the 'Capacités de la rame' section shows a list of train types: 'PREU ORANGE', 'PREU FORNIE', 'PREU MARE LOIRE', 'PREU NERIS', 'PREU BACCIE', 'PREU ORANGE S', and 'PREU PRACTICE'. There are input fields for 'Vitesse', 'GATE D'ENTRÉE', and 'TETE DE PONT'.

La construction du service débute par le chargement des réservations. Celles-ci sont enregistrées dans des fichiers regroupés par la date et l'horaire du train.

Le système calcule alors automatiquement un maximum de cinq propositions de dessertes en fonction des paramètres définies par le transporteur.

Le télé-conseiller peut ensuite visualiser chacune d'elle grâce à la fenêtre ci-dessous. Le coût du service ainsi que son allure lui permet de prendre la décision qui lui semble la plus favorable.

The screenshot shows a map visualization of the virtual line. The map displays a network of green lines representing rail routes and red dots representing stations. A blue line highlights the selected virtual line route. Several yellow callout boxes with red arrows point to specific stations along the route, providing details for each stop. The window title is 'TS1 - Visualisation' and the status bar shows '04 01 20 14 0160 m'.

TABLE DES TABLEAUX

| | |
|--|-----|
| tableau 1 : Evolution de l'emploi des établissements de plus de 50 salariés entre 1989 et 1996 | 23 |
| tableau 2 : Temps de travail quotidien des salariés à temps complet | 27 |
| tableau 3 : Evolution de la mobilité locale en semaine..... | 30 |
| tableau 4 : Evolution de la mobilité par personne et par jour selon le tissu urbain | 31 |
| tableau 5 : Nombre d'enchaînements réalisés après le travail..... | 35 |
| tableau 6 : Evolution des déplacements motorisés un jour de semaine (en pourcentage) | 37 |
| tableau 7 : Multimodalité, intermodalité : quelle définition ? | 52 |
| tableau 8 : Les éloignements domicile-travail | 73 |
| tableau 9 : exemple des fonctions disponibles dans des Systèmes d'aide à l'exploitation | 99 |
| tableau 10 : Trois catégories de requêtes disponibles dans un SIG | 117 |
| tableau 11 : Exemple de commandes utilisées pour l'analyse des transports dans un SIG | 117 |
| tableau 12 : L'usage des SIG-T : quelques exemples d'application | 121 |
| tableau 13 : Usage des SIG-T et précision des données | 121 |
| tableau 14 : Typologie des informations nécessaires..... | 137 |
| tableau 15 : Les treize relations entre intervalles temporels | 146 |

TABLE DES ENCARTS

| | |
|---|-----|
| encart 1 : L'évolution des emplois en Europe occidentale..... | 25 |
| encart 2 : L'émiettement des temps urbains..... | 28 |
| encart 3: Les pratiques multimodales dans les grandes agglomérations françaises..... | 40 |
| encart 4 : Les ambitions du service public à la française..... | 42 |
| encart 5 : Le droit au transport au regard de la loi..... | 43 |
| encart 6 : Contexte institutionnel et rôle des autorités organisatrices de transport..... | 44 |
| encart 7 : Strasbourg : une expérience réussie qui associe transport individuel et collectif..... | 48 |
| encart 8 : L'intermodalité affirmée dans la Loi sur les Transports Intérieurs..... | 49 |
| encart 9 : Les centrales de mobilité en deux mots..... | 60 |
| encart 10 : Le transport à la demande..... | 63 |
| encart 11 : Les performances du réseau de transports publics de Besançon en 2002..... | 75 |
| encart 12 : Le renforcement de l'intercommunalité..... | 83 |
| encart 13 : Les outils spécifiques de la RATP..... | 101 |
| encart 14 : Le concept de chronotope..... | 181 |
| encart 15 : Les attentes des clients potentiels d'après les résultats de l'enquête..... | 202 |

TABLE DES FIGURES

| | |
|---|-----|
| figure 1 : Evolution des territoires urbains | 19 |
| figure 2 : taux d'évolution annuel de la population des unités urbaines françaises..... | 20 |
| figure 3 : Les schémas de développement des aires urbaines..... | 21 |
| figure 4 : Variation des populations des aires urbaines les plus dynamiques (période 1990-1999) | 22 |
| figure 5 : Spécialisation fonctionnelle des tissus urbains en 1990..... | 24 |
| figure 6 : Répartition des déplacements par type de liaison | 32 |
| figure 7 : Répartition géographique des déplacements dans l'agglomération toulousaine en 1990..... | 33 |
| figure 8 : Les "pérégrinations" d'une famille périurbaine d'Ile-de-France..... | 34 |
| figure 9 : Répartition des déplacements dans les agglomérations européennes par tranches horaires.. | 35 |
| figure 10 : Nombre de déplacements en automobile de Paris vers la banlieue par demi-heure..... | 36 |
| figure 11 : Estimation du parc automobile français..... | 38 |
| figure 12 : Le marché des déplacements en France | 39 |
| figure 13 : L'imbrication des territoires de la mobilité | 46 |
| figure 14 : Les mots de l'intermodalité et les formes d'intégration des réseaux de transport..... | 51 |
| figure 15 : Les pétales de l'intermodalité..... | 54 |
| figure 16 : Typologie des expériences françaises d'intermodalité en 1998..... | 57 |
| figure 17 : Répartition des expériences d'intermodalité..... | 59 |
| figure 18 : Un système "axes verts" personnalisé ! | 61 |
| figure 19 : Le relief de l'agglomération bisontine..... | 66 |
| figure 20 : L'évolution du bâti à Besançon..... | 67 |
| figure 21 : Evolution de la population de Besançon de 1968 à 1999 selon trois tissus urbains..... | 69 |
| figure 22 : Evolution de l'emprise urbaine de l'agglomération Bisontine de 1930 à 2000..... | 70 |
| figure 23 : Trois paramètres conformes au modèle de l'étalement urbain | 71 |
| figure 24 : L'occupation des sols sur la Communauté d'Agglomération du Grand Besançon | 72 |
| figure 25 : Les déplacements dans l'agglomération de Besançon..... | 74 |
| figure 26 : Le trafic routier de l'agglomération bisontine | 76 |
| figure 27 : Des autorités organisatrices de transport imbriquées..... | 78 |
| figure 28 : Les réseaux de transports publics de l'agglomération bisontine pour la saison 2001-2002 | 79 |
| figure 29 : Les deux PDU de l'agglomération de Besançon | 81 |
| figure 30 : Le périmètre de la Communauté d'Agglomération du Grand Besançon..... | 85 |
| figure 31 : Une fusion des PDU fondée sur le système des axes verts | 87 |
| figure 32 : Les acteurs de l'exploitation..... | 97 |
| figure 33 : Les niveaux stratégiques et opérationnels de l'exploitation | 98 |
| figure 34 : Les quatre étapes du modèle classique..... | 102 |
| figure 35 : Un exemple de processus décisionnel..... | 104 |
| figure 36 : Description générale du modèle interactif transport/occupation des sols | 106 |
| figure 37 : Un exemple d'une zone de cheminement potentiel | 110 |
| figure 38 : Architecture et fonctionnement général d'un SIG-logiciel..... | 115 |

| | |
|---|-----|
| figure 39 : Deux modes de représentation d'une information géographique | 115 |
| figure 40 : Des couches thématiques et les données attributaires | 116 |
| figure 41 : Deux générations de graphes..... | 119 |
| figure 42 : Les SIG-T fortement concernés par les dix thèmes de recherche prioritaires (l'UCGIS).. | 122 |
| figure 43 : Les trois niveaux d'intégration entre les logiciels de SIG et les outils d'analyse spatiale.. | 124 |
| figure 44 : Un exemple d'environnement interactif : le logiciel d'analyse exploratoire XlispStat | 125 |
| figure 45 : Trois modes de représentation des accidents..... | 126 |
| figure 46 : L'approche systématiquement désagrégée : la règle des trois unités | 129 |
| figure 47 : Le SIG fédérateur d'outil | 131 |
| figure 48 : Parcours méthodologique proposé pour la construction du SIG-TI | 134 |
| figure 49 : Quatre catégories d'organismes potentiellement concernées par un SIG-TI | 135 |
| figure 50 : Le modèle conceptuel pour un SIG-TI..... | 140 |
| figure 51 : Deux méthodes de redistribution de l'information | 142 |
| figure 52 : Les contraintes liées aux trois modes de transport | 143 |
| figure 53 : La structure des trois réseaux urbains | 144 |
| figure 54 : Exemples de requête spatio-temporelle à partir du graphe en trois dimensions..... | 147 |
| figure 55 : Deux représentations de l'accessibilité | 148 |
| figure 56 : Les données utilisées dans le SIG-TI de Besançon | 156 |
| figure 57 : Localisation désagrégée de la population et des activités | 158 |
| figure 58 : La complexité du codage du réseau automobile..... | 160 |
| figure 59 : Construction du réseau de transports publics | 161 |
| figure 60 : Trois mesures de la distance..... | 162 |
| figure 61 : Deux méthodes pour mesurer la qualité d'accès à une station..... | 163 |
| figure 62 : L'environnement graphique d'une requête spatio-temporelle | 164 |
| figure 63 : Une exploration des fréquences pour la tranche horaire 8/9 heures | 165 |
| figure 64 : Cartographie des fréquences par tranches horaires | 166 |
| figure 65 : Parcours méthodologique employé pour calculer l'accessibilité en transports publics | 168 |
| figure 66 : Les inégalités de l'accessibilité entre les transports publics et l'automobile..... | 170 |
| figure 67 : Parcours méthodologique du "lissage qualitatif" | 173 |
| figure 68 : Résultats de l'Analyse en Composante Principale..... | 174 |
| figure 69 : Parcours méthodologique pour le calcul du potentiel urbain | 176 |
| figure 70 : L'indice du potentiel urbain..... | 177 |
| figure 71 : Le zonage de l'enquête ménage de Besançon..... | 182 |
| figure 72 : Distribution horaire des déplacements de l'enquête ménage de Besançon | 183 |
| figure 73 : Les deux principales méthodes de visualisation..... | 184 |
| figure 74 : Le protocole de désagrégation spatio-temporel d'une enquête ménage..... | 187 |
| figure 75 : L'animation cartographique par "l'algorithme" de Tobler et Moellering..... | 188 |
| figure 76 : Le parcours méthodologique d'une carte animée | 189 |
| figure 77 : L'animation des rythmes urbains en image | 192 |
| figure 78 : Un outil de navigation spatio-temporel | 193 |
| figure 79 : Le centre-ville et Planoise : deux quartiers de référence | 194 |
| figure 80 : Recherche des configurations spatio-temporelles des déplacements..... | 195 |
| figure 81 : La campagne publicitaire d'Evolis | 200 |
| figure 82 : Evolis : un service de transport en convergence/divergence unipolaire | 201 |
| figure 83 : Les engagements clients pour un trajet Evolis | 203 |
| figure 84 : Le parcours méthodologique pour Evolis..... | 204 |
| figure 85 : Une exploration des matrices des temps de parcours | 205 |
| figure 86 : L'interface du module de réservation de RESAD ² | 207 |
| figure 87 : Modèle conceptuel du SIG-TI adapté au contexte périurbain | 208 |
| figure 88 : La base de données réseau mise à l'échelle de l'agglomération bisontine | 209 |
| figure 89 : Une méthode de redistribution de la population basée sur une image satellite | 211 |
| figure 90 : Accessibilité à la gare TGV avec Evolis sur l'ensemble de l'agglomération | 212 |
| figure 91 : Approche renouvelée de l'organisation du réseau à la demande sur la CAGB..... | 215 |
| figure 92 : Deux chaînes de déplacements possibles | 216 |
| figure 93 : Entre mode souple et lourd : deux images de l'accessibilité au centre-ville..... | 217 |
| figure 94 : Un protocole de réservation renouvelé..... | 219 |

TABLE DES MATIERES

| | |
|--|----|
| INTRODUCTION GENERALE..... | 8 |
| PREMIERE PARTIE | |
| LA POLITIQUE DES TRANSPORTS PUBLICS FACE AUX MUTATIONS URBAINES : L'ENJEU D'UNE RECHERCHE | 14 |
| INTRODUCTION DE LA PREMIERE PARTIE | 16 |
| <i>Chapitre 1</i> | |
| <i>Les territoires urbains en mouvement</i> | 18 |
| 1. La métropolisation des territoires urbains | 18 |
| 2. Evolution des rythmes de la vie quotidienne des citoyens | 24 |
| 3. Les conséquences des transformations spatiales et temporelles..... | 30 |
| <i>Chapitre 2</i> | |
| <i>Quand les transports urbains deviennent un trait d'union entre intérêt individuel et collectif</i> | 41 |
| 1. Pour un service public de mobilité et d'accessibilité | 42 |
| 2. L'intermodalité au service des transports publics | 48 |
| 3. Les expériences pratiques de l'intermodalité en France | 55 |
| <i>Chapitre 3</i> | |
| <i>Les transports publics en question, d'une politique urbaine des transports à un projet de transport d'agglomération : le cas de Besançon.....</i> | 64 |
| 1. La métropole bisontine..... | 65 |
| 2. Une organisation des transports publics perturbée par les tâtonnements de l'intercommunalité | 77 |
| 3. Pour un projet de transports publics à l'échelle de l'agglomération..... | 86 |
| CONCLUSION DE LA PREMIERE PARTIE | 91 |

| | |
|---|-----|
| DEUXIEME PARTIE POUR UNE MODELISATION SPATIO-TEMPORELLE DES DONNEES DE TRANSPORTS PUBLICS | 92 |
| INTRODUCTION DE LA DEUXIEME PARTIE | 94 |
| <i>Chapitre 1</i> <i>Des sciences sociales en quête d'identité face à une culture technicienne et</i> <i>planificatrice</i> | 96 |
| 1. La culture technicienne du transporteur..... | 96 |
| 2. La culture planificatrice de l'aménageur..... | 101 |
| 3. La voie du renouvellement initiée par les sciences sociales..... | 107 |
| <i>Chapitre 2</i> <i>Les systèmes d'information géographique dédiés aux transports : la voie du</i> <i>renouvellement</i> | 113 |
| 1. L'apport des SIG dans le domaine des transports | 114 |
| 2. Les perspectives d'évolution des SIG-T..... | 122 |
| 3. Constitution d'un SIG-T dédié au transports publics intermodal | 128 |
| <i>Chapitre 3</i> <i>Proposition méthodologique pour la construction d'un SIG-TI</i> | 133 |
| 1. De l'acquisition... .. | 135 |
| 2. ...à la structuration des données | 138 |
| 3. Une analyse du système de transport dans l'espace-temps | 145 |
| CONCLUSION DE LA SECONDE PARTIE | 151 |
| TROISIEME PARTIE LE SIG-TI DE BESANÇON : DE LA CONSTRUCTION A L'ANALYSE..... | 152 |
| INTRODUCTION DE LA TROISIEME PARTIE..... | 154 |
| <i>Chapitre 1</i> <i>Le SIG-TI : un renouvellement des critères d'évaluation</i> | 155 |
| 1. Reconstituer une ville numérique | 156 |
| 2. Du local au global : vers une analyse de l'accessibilité | 162 |
| 3. Pour une lecture multicritère de l'accessibilité | 171 |
| <i>Chapitre 2</i> <i>Comment mettre les territoires urbains en mouvement : vers une animation des</i> <i>rythmes de la mobilité quotidienne</i> | 179 |
| 1. Connaître les mouvements de la ville | 180 |
| 2. Vers une animation des rythmes urbains | 185 |
| 3. Visualiser les rythmes urbains | 190 |

| | |
|---|-----|
| <i>Chapitre 3</i> | |
| <i>De l'information géographique à la mise en place d'un mode de transport</i> | |
| <i>souple : expérimentation et prospective du service à la demande Evolis</i> | 199 |
| 1. L'expérience du service de transport Evolis-Gare | 200 |
| 2. Pour un service Evolis à l'échelle de l'agglomération | 206 |
| 3. Prospective sur l'évolution du service Evolis | 213 |
| | |
| CONCLUSION DE LA TROISIEME PARTIE..... | 221 |
| | |
| CONCLUSION GENERALE | 224 |
| BIBLIOGRAPHIE | 230 |
| ANNEXES | 242 |
| TABLE DES TABLEAUX | 250 |
| TABLE DES ENCARTS | 252 |
| TABLE DES FIGURES | 254 |
| TABLE DES MATIERES..... | 258 |