



HAL
open science

L'architecture du modèle au sein du projet SIMBAD. Rapport intermédiaire n°4

Jean-Pierre Nicolas, Marius Homocianu, Fabrice Marchal, Jean-Louis Routhier

► **To cite this version:**

Jean-Pierre Nicolas, Marius Homocianu, Fabrice Marchal, Jean-Louis Routhier. L'architecture du modèle au sein du projet SIMBAD. Rapport intermédiaire n°4. 2006. halshs-00101399

HAL Id: halshs-00101399

<https://shs.hal.science/halshs-00101399>

Submitted on 19 Oct 2006

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Rapport du Laboratoire d'Économie des Transports
Pour le compte de la DRAST (Ministère de l'Équipement) et de l'ADEME dans le
cadre du groupe 11 du PREDIT

L'architecture du modèle au sein du projet SIMBAD

*Rapport intermédiaire n°4 du projet Simbad
Simuler les MoBilités pour une Agglomération Durable*

Mars 2006

Auteurs : Jean-Pierre Nicolas
Marius Homocianu
Fabrice Marchal
Jean-Louis Routhier

Sommaire

1. INTRODUCTION.....	3
2. L'ARCHITECTURE GÉNÉRALE DU MODÈLE.....	5
2.1. De Télescopage à Simbad : un héritage et des évolutions.....	5
2.2. L'agencement des modules proposés pour SIMBAD.....	9
3. UNE PREMIÈRE PRÉSENTATION DES MODULES DE SIMBAD.....	15
3.1. Les localisations résidentielles.....	15
3.2. Les localisations des activités économiques.....	19
3.3. Représenter les mobilités individuelles.....	20
3.4. Les trafics de transit et d'échange.....	22
3.5. Les marchandises en ville.....	22
3.6. Reprendre la procédure d'affectation.....	29
4. UNE CONCLUSION DE TRANSITION.....	33
5. BIBLIOGRAPHIE SUCCINCTE.....	35

1. Introduction

Le projet SIMuler les MoBilités pour une Agglomération Durable (SIMBAD) a pour objectif de tester des politiques alternatives de transports et d'urbanisme pour rendre compte de leurs impacts sur la mobilité urbaine et les évaluer à l'aune du développement durable. Il est appliqué au cadre de l'aire urbaine de Lyon à l'horizon 2025.

Il prolonge les travaux du LET menés dans le cadre du projet Télescopage, approfondissant et enrichissant l'outil alors élaboré, et révisant sa problématique initiale, qui était centrée sur les problèmes de congestion engendrés par la superposition de flux de différentes natures sur le noeud lyonnais.

Pour réaliser le travail de modélisation que signifie SIMBAD, trois premiers chantiers ont préalablement été réalisés, qui ont permis de définir le cadre général de la réflexion et de fixer le cahier des charges du modèle :

- ✓ Un premier axe a traité du choix du modèle URBANSIM qui a finalement été retenu pour représenter les interactions entre transport et urbanisme.
- ✓ Le second s'est intéressé à la thématique du développement durable, à sa traduction dans le champ de la mobilité et des transports, ainsi qu'aux indicateurs qui peuvent en rendre compte, débouchant sur une proposition d'indicateurs dans le cadre du projet.
- ✓ Enfin, un troisième travail concernait l'exercice prospectif qui peut être envisagé en matière de mobilité urbaine à un horizon de 25 ans. Il a débouché sur les scénarios proposés pour être mis en œuvre dans le modèle, ainsi que les politiques alternatives qui pourront être testées dans ces différents contextes.

Sur cette base, l'architecture globale du modèle a été définie, les objectifs des différents modules ont pu être précisés et les données nécessaires pour l'analyse statistique préliminaire à leur construction ont été acquises. Les premiers traitements sont aujourd'hui en cours.

L'objectif de ce présent document est de montrer comment, compte tenu des directions données par ces premiers choix, l'architecture de SIMBAD a été conçue.

- ✓ Une première partie met en perspective les leçons tirées de Télescopage et l'évolution de la problématique dans SIMBAD pour aboutir à l'architecture globale du modèle et aux interactions entre les différents modules.
- ✓ La seconde partie précise plus finement le contenu de chaque module, ou plutôt du chantier que chacun d'entre eux initie, sachant que hormis le modèle FRETURB qui est déjà opérationnel pour les marchandises en villes, tous les autres modèles font l'objet d'un nouveau travail exploratoire.

2. L'architecture générale du modèle

2.1. De Télescopage à Simbad : un héritage et des évolutions

Dans le cadre du projet, la représentation des coûts et des impacts environnementaux du système de transport s'est traduite par la volonté de représenter l'ensemble des déplacements réalisés sur l'aire urbaine de Lyon, avec trois grands types de flux qui peuvent être distingués :

- ✓ les déplacements des résidents internes au périmètre d'étude,
- ✓ les trafics internes au périmètre liés aux activités économiques, autrement dit les « marchandises en ville »,
- ✓ les flux d'échanges et de transit, provenant de l'extérieur de l'aire urbaine.

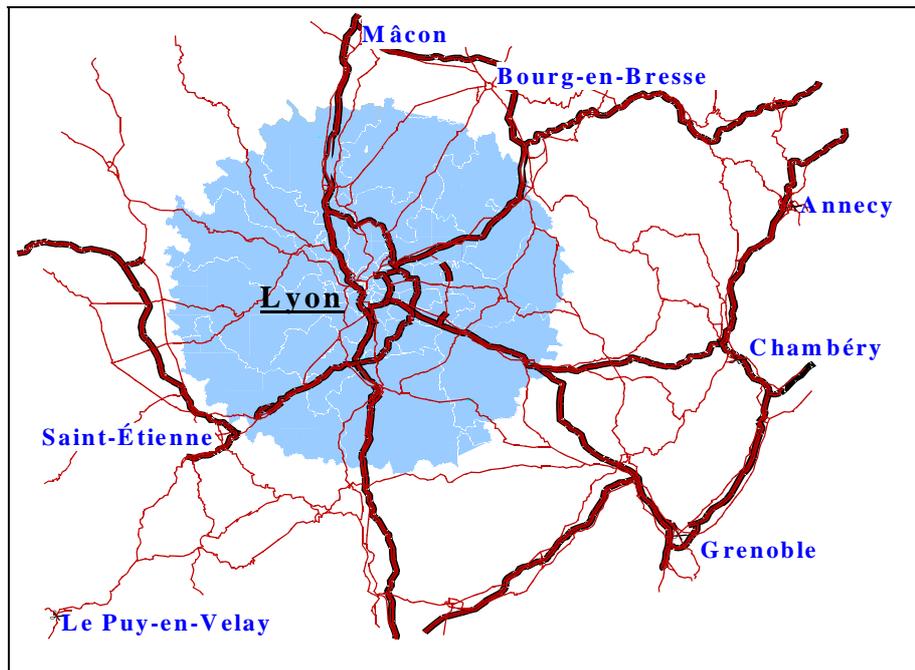
Ce choix s'inscrit dans la continuité de la logique du modèle Télescopage, qui s'intéressait aux risques de montée des problèmes de congestion dans les grandes métropoles urbaines et nécessitait de prendre en compte l'ensemble des trafics qui se croisent sur ces territoires. Cependant, l'équipe du projet Télescopage a souligné plusieurs difficultés méthodologiques (Routhier et *alii*, 2000 ; Masson, 2000) liées notamment à la diversité des sous-modèles utilisés et à l'absence de bouclage concernant les effets à long terme des transports sur l'urbanisme. Par ailleurs, les objectifs de Simbad, plus portés sur la problématique du développement durable des transports urbains, conduisent à de nouvelles exigences. Enfin, il y a 10 ans d'écart entre les deux projets, et les puissances de calcul actuelles ainsi que le développement de nouveaux outils comme les SIG peuvent amener à envisager d'autres choix méthodologiques, notamment en terme de calcul d'affectation.

Après un rapide rappel de la logique de Télescopage, ces différents points seront repris et leurs répercussions sur les choix méthodologiques pour Simbad seront discutées.

2.1.1. Le modèle Télescopage

La recherche initialement réalisée sous Télescopage a fourni un outil multimodal de simulation de long terme (20 ans) des interactions de l'ensemble des trafics (marchandises / personnes, urbain / interurbain). Le modèle proposé a été calibré sur 1995 et fournit une image des trafics réalisés sur une aire circulaire de 45 km de rayon autour de l'agglomération de Lyon (figure 1), englobant ainsi son aire urbaine. Il fonctionne sous des hypothèses différenciées de croissance économique, selon des scénarios d'offre de transport et des scénarios de localisation à l'échelle de cette région.

Figure 1 : les 45 km autour de Lyon, aire d'étude du modèle Télescope



Télescope avait 4 principaux objectifs : (1) identifier la part respective de chaque segment de demande dans la formation des flux, selon la nature (marchandises, personnes), le mode (route, fer, transport collectif urbain) et l'échelle spatiale (locale, interrégionale) de transport ; (2) simuler l'effet des déterminants socio-économiques et des politiques de transport et d'aménagement sur l'augmentation de chaque type de flux ; (3) mettre en exergue les dysfonctionnements du système de transport au niveau d'une "région-ville" ; et (4) acquérir une meilleure compréhension des interactions entre les trafics locaux et les trafics interurbains.

Pour réaliser ce travail, le principe retenu a consisté à faire dialoguer des modèles de simulation existants. Ainsi, le modèle Télescope correspond à la mise en relation de 4 modèles différents :

- ✓ le modèle Quinquin Fret Spatial (QQFS) qui modélise le fret interurbain ;
- ✓ le modèle d'affectation SAMI qui réalise l'affectation des trafics interurbains, c'est-à-dire d'une part le fret simulé par QQFS, et d'autre part le trafic de voyageurs provenant des hypothèses proposées par l'ASF (Association des Sociétés Françaises d'Autoroutes) et intégrées par SAMI ;
- ✓ le modèle MDP-RU qui simule la demande de trafics de voyageurs dans l'espace métropolitain ;
- ✓ le modèle DAVIS qui affecte ces trafics sur le réseau de voiries du Schéma Directeur de l'agglomération lyonnaise.

2.1.2. Tenir compte de l'expérience passée

A la suite du premier travail sur Télescope, plusieurs manques avaient été ressentis, qu'il importe de considérer pour le projet Simbad.

1) FRETURB : les marchandises en ville

Tout d'abord, le modèle FRETURB développé au LET et représentant les transports de marchandises en ville n'avait pas pu être intégré à la procédure de Télescopage. Il est aujourd'hui opérationnel sur Lyon, et il serait dommage de ne pas l'utiliser! Les flux ainsi pris en considération constituent environ 12 à 13% du trafic total de l'agglomération, mesuré en UVP¹.

2) Les interactions entre urbanisme et transport

Ensuite, seuls les liens entre urbanisme et transports sont considérés dans la phase de génération des trafics. L'impact en retour que peut avoir une politique de transport (nouvelle infrastructure, tarification, réglementation des vitesses, etc.) sur l'urbanisation est par contre ignoré alors que l'on pressent qu'il peut être sensible à un horizon de 25 ans, avec des effets en retour notables sur la localisation et la longueur des déplacements.

Ainsi, dès le démarrage du projet Simbad, le développement de modules consacrés à la localisation résidentielle d'une part et à la localisation des activités économiques d'autre part étaient prévus, avec la prise en compte des accessibilités différenciées entre zones liées à l'offre de transport.

3) Une approche plus légère des trafics d'échange et de transit

Moins tournée vers les questions de congestion, la logique de Simbad appelle moins à la précision pour les trafics provenant de l'extérieur, qu'ils soient d'échange ou de transit. Ils nécessitent à l'évidence d'être pris en compte, mais un module de calcul fortement rattaché aux évolutions économiques générales devrait suffire plutôt que le jeu des deux modèles Sami et QQFS précédemment requis.

Dans le cadre d'une problématique de mobilité durable, s'il y avait un manque à ressentir en matière d'interrelation avec l'extérieur, ce serait sans doute un module de calcul des flux à longue distance générés pas les voyages des Lyonnais qui mériterait d'être rajouté.

4) Un découpage plus fin pour une affectation plus précise

L'aire d'étude de Télescopage, correspondant aux communes situées dans un cercle de 45 kilomètres autour de Lyon, est découpée en 39 macrozones à partir desquelles la génération des déplacements est réalisée. Lors de la phase d'affectation des trafics, chaque zone étant ramenée à son centroïde, cette réduction apparaît cependant relativement contraignante en matière de représentation des déplacements.

Dans le cadre de Télescopage proprement dit, cette phase d'affectation était réalisée avec le logiciel Davisum du CETE de Lyon, qui travaille normalement avec 700 zones sur l'aire beaucoup plus réduite du Schéma Directeur de l'Agglomération Urbaine de Lyon. Sans Davisum, l'affectation peut également être réalisée sur un réseau virtuel synthétique, qui reprend les capacités routières, la vitesse moyenne et une courbe débit-vitesse agrégée entre toutes les zones adjacentes.

Il nous apparaît intéressant d'explorer la possibilité de travailler sur un découpage plus fin, qui permettrait de gagner en précision en matière de calcul des distances parcourues et de vitesses.

Si les outils à développer (cf. §3.6.) s'avéraient trop lourds à intégrer dans l'ensemble, il sera toujours possible de revenir à l'outil existant.

¹ L'UVP (Unité Véhicule Particulier) permet de considérer l'ensemble des véhicules selon une base commune, en fonction de la place que chacun occupe sur la voirie : un utilitaire léger représente 1,5 UVP, un camion porteur 2 UVP et un articulé 2,5 UVP.

5) *Un modèle intégré*

Enfin, il est apparu très difficile de travailler avec plusieurs modèles, qui n'avaient pas forcément été conçus pour être mis ensemble au départ, et qui se trouvaient dans les locaux des différents partenaires de l'expérience (QuinQuin fret et MDP-RU au Laboratoire d'Economie des Transports, DAVIS au CETE de Lyon et SAMI dans les bureaux parisiens d'ISIS).

Il a tout d'abord été nécessaire de réaliser un travail approfondi pour aboutir à une gestion correcte des interfaces entre ces différents modèles. Ce challenge faisait partie de l'exercice et a pu être réalisé.

Mais surtout, les échanges d'informations entre les différents sites se sont avérés très longs malgré toute la bonne volonté des différents partenaires. Compte tenu du nombre de simulations à réaliser évoqué dans la partie précédente, il apparaît dès lors beaucoup plus simple de disposer d'un modèle intégré, quitte à réaliser de nouvelles simulations pour répondre aux questions spécifiques d'un partenaire, soit dans le cadre du projet actuel, soit ultérieurement.

Nous chercherons donc à intégrer l'ensemble du processus de calcul : les hypothèses d'entrées une fois spécifiées, il n'y aura pas de transfert manuel de résultats à effectuer d'un module à l'autre pour aboutir au résultat final. Cette phase d'intégration logicielle risque d'être lourde et va demander des compétences qui ne sont pas encore présentes dans l'équipe. Même si elle ne devrait démarrer qu'en fin d'année 2006, elle mérite d'être préparée dès maintenant.

2.1.3. SIMBAD : intégrer une problématique de mobilité durable

Par ailleurs, la problématique de Simbad a évolué par rapport à celle de Télescopage. D'un questionnement sur les risques de congestion dus à la superposition de flux de différentes natures sur un large espace urbanisé, on est passé à une interrogation sur les conséquences, en termes de réflexion dans les politiques publiques locales, d'une représentation élargie de la mobilité urbaine intégrant ses dimensions économiques, environnementales et sociales.

Les discussions générales établies au cours des précédents rapports, qui déclinaient cette problématique en matière de prospective et d'indicateurs à retenir, ont fait ressortir plusieurs points qui ont des répercussions en matière de modélisation.

1) Mettre en évidence qui réalise les déplacements

Tout d'abord, savoir qui réalise quelle mobilité, à quel coût et avec quelles contraintes devient fondamental dans le cadre de Simbad. Alors que dans une modélisation traditionnelle comme Télescopage, ce sont souvent les motifs qui servent de base pour établir la génération des déplacements, dans le cas de Simbad il devient important de connaître les caractéristiques socioéconomiques des individus qui se déplacent pour savoir qui se trouve concerné par telle ou telle mesure envisagée. Ainsi, le module de génération devra mieux faire ressortir le lien entre les déplacements et les personnes qui en sont à l'origine.

2) Un outil permettant de réaliser de nombreuses simulations

La réflexion prospective a par ailleurs bien fait ressortir l'intérêt de simuler plusieurs scénarios contextuels pour tester les effets environnementaux, économiques et sociaux de différentes politiques de transport et d'urbanisme. Et, suivant les cas, de l'environnement, de l'économie et du social, ce ne seront pas forcément les mêmes dimensions qui constitueront l'enjeu.

Ainsi, même en conservant un jeu raisonné de perspectives stratégiques, le nombre de simulations à réaliser reste important et il convient de disposer d'un outil suffisamment souple et puissant pour pouvoir maîtriser l'ensemble des calculs nécessaires.

3) Un modèle stratégique macroscopique

Enfin, dans cette présentation de la philosophie générale du modèle, il reste à souligner que Simbad, scmm Telescopage, reste un modèle stratégique à ambition plus macro que microscopique. Ce n'est pas l'effet de tel projet particulier en tel endroit de l'aire urbaine qui aura de l'intérêt, mais bien plus l'impact de telle politique d'agglomération dans un contexte général donné.

2.2. L'agencement des modules proposés pour SIMBAD

2.2.1. Le coeur du modèle

Ces nouveaux objectifs et les exigences qui en découlent amènent à reprendre en profondeur la structure de Telescopage et conduisent à proposer une architecture de Simbad en 6 grands blocs qui interagissent entre eux, avec :

- ✓ Les localisations :
 - x des activités économiques,
 - x des résidences de ménages ;
- ✓ la génération et la répartition (horaire et modale) des trafics :
 - x de marchandises,
 - x de personnes,
 - x les trafics d'échange et de transit ;
- ✓ l'affectation de l'ensemble sur les différents réseaux, de voirie et de transports collectifs.

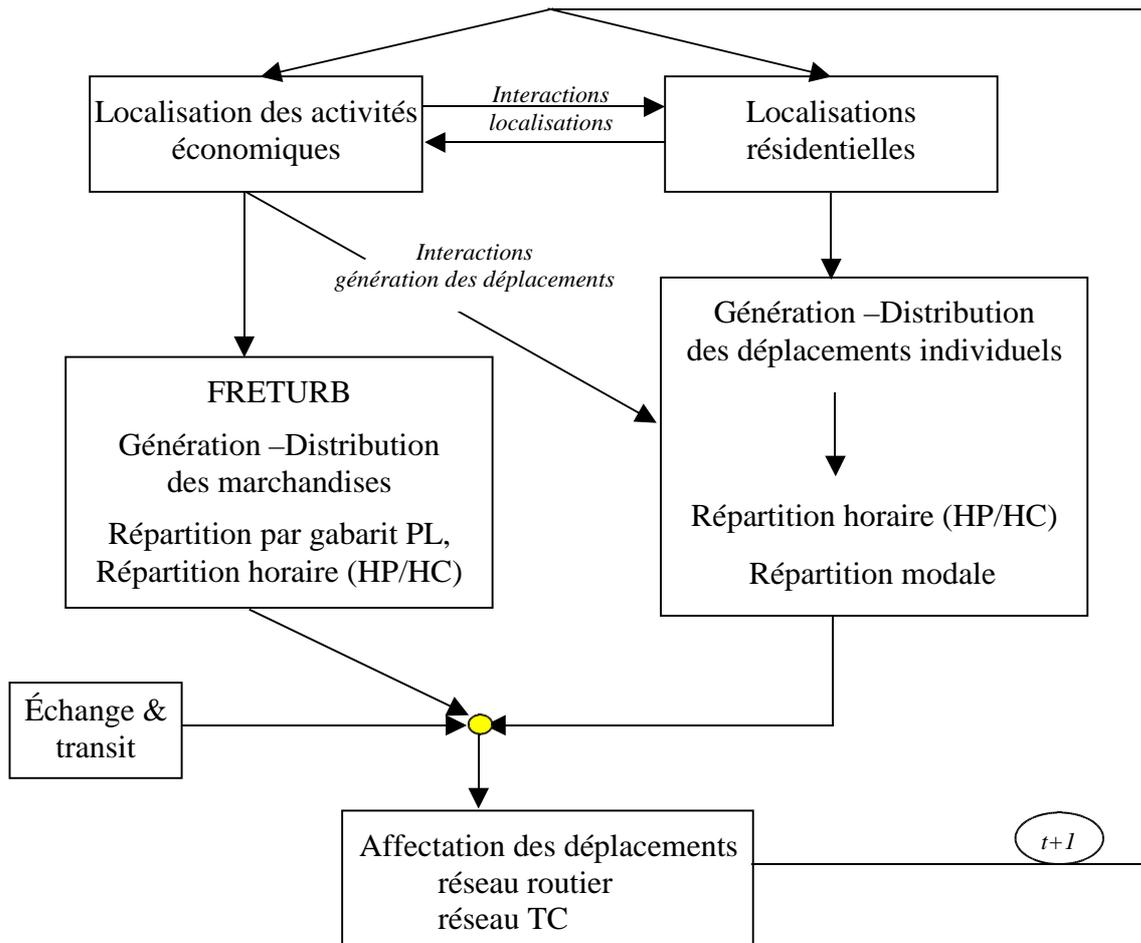
L'agencement dynamique des calculs des différents modules peut se décrire comme ci-dessous.

1. A la période initiale, les localisations sont données.
2. Le croisement entre la localisation des activités et les caractéristiques des ménages résidant dans chaque zone permet de déduire les besoins de déplacements entre chaque zone : les déplacements domicile travail liés aux actifs et à l'emploi (*idem* pour les études des jeunes), les autres déplacements liés aux différents besoins des ménages et aux services proposés dans chaque zone. Suivant les motifs et l'accessibilité relative des modes, ces déplacements seront différemment répartis en termes d'horaires et de modes utilisés.
3. Par ailleurs, la localisation des activités va déterminer les flux de marchandises à l'intérieur de l'aire urbaine, là encore avec des types de véhicules et des répartitions horaires différentes selon les activités.
4. L'introduction des flux d'échanges et de transit, calculés sur la base simplifiée de l'évolution économique générale, permet de compléter le tableau des trafics réalisés sur l'aire d'étude,
5. L'ensemble de ces trafics de personnes et de marchandises se retrouve sur les différents réseaux, générant parfois, selon l'heure et le lieu, des points de congestion. Le calcul de l'affectation permet de déterminer des accessibilités moyennes par mode et par période (heures creuses, heures de pointe) entre les zones.
6. Ces accessibilités relatives joueront à long terme sur les localisations et affecteront le point de départ de la période suivante. Par ailleurs, un ajustement entre localisations résidentielles et

localisations des activités doit être pris en compte, avec par exemple certaines activités de proximité qui suivent les mouvements résidentiels et d'autres qui peuvent attirer les populations (emplois, services) ou au contraire les repousser (atteintes au cadre de vie, nuisances).

L'agencement de ces différents blocs peut être présenté par le graphique suivant :

Figure 2 : Schéma simplifié du système modélisé par SIMBAD (variables endogènes)



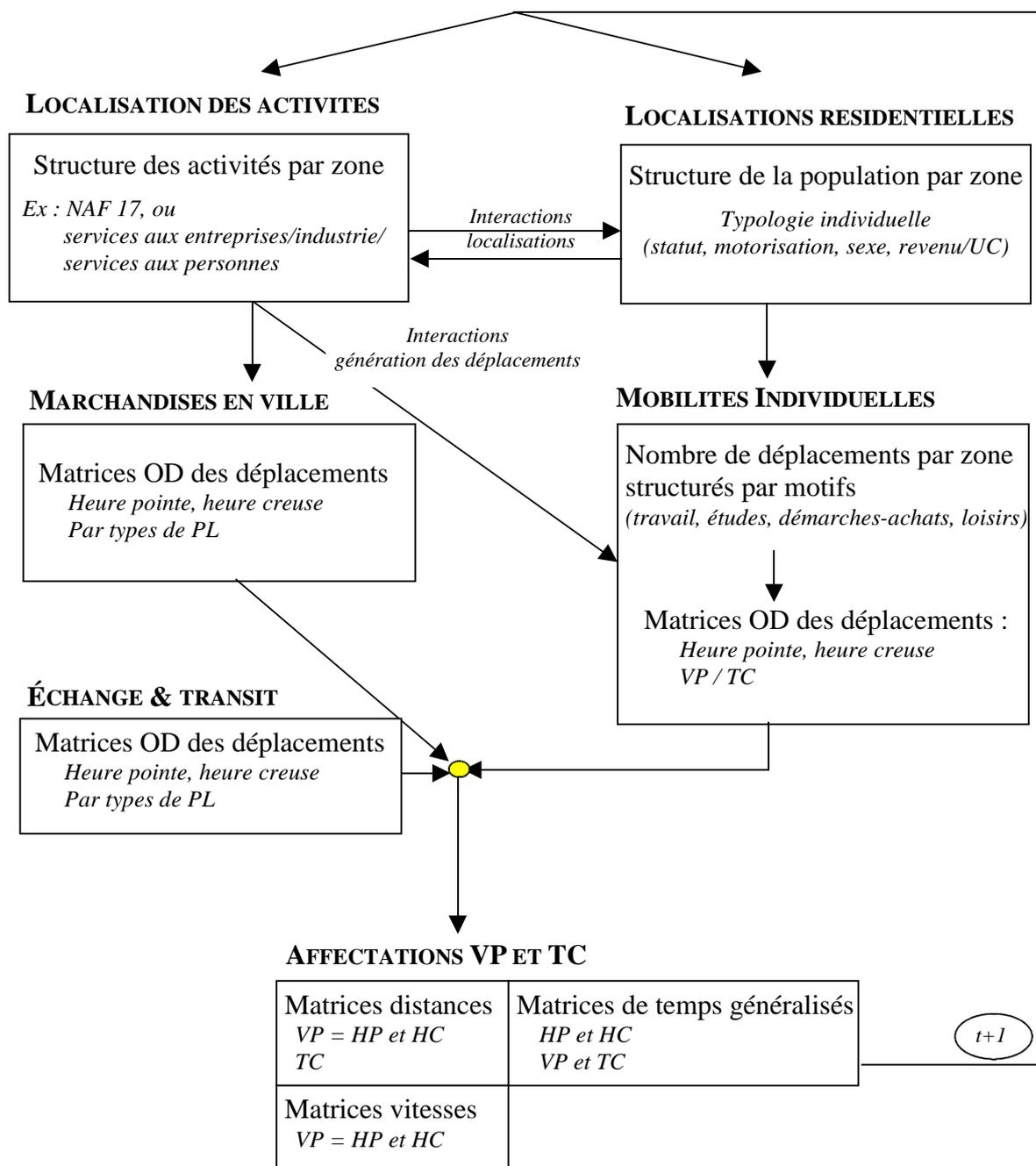
Compte tenu des données disponibles, le niveau de découpage spatial servant de base d'échange entre les différents modules devrait être l'IRIS². Ceci représente 777 zones sur l'Aire Urbaine de Lyon en 1999.

D'un point de vue temporel, le pas de calcul serait de un an. En effet, URBANSIM, qui a été retenu pour la mise en forme des modules de localisation (cf. rapport n°1), propose ce pas. Il présente de plus l'avantage de fournir un rythme intermédiaire entre les variables de trafic, qui

² Un IRIS (Îlots Regroupés pour l'Information Statistique) forme un « petit quartier » qui se définit comme un ensemble d'îlots contigus. L'îlot est l'unité géographique de base pour la statistique et la diffusion du recensement. Toutes les communes de plus de 10 000 habitants et la plupart des communes de plus de 5 000 habitants sont découpées en IRIS, dans les autres cas la commune sert d'unité statistique. La population des IRIS-2000 est ainsi comprise entre 1800 et 5000 habitants.

s'ajustent sur des périodes très courtes allant de la minute (information en temps réel) à quelques semaines (changement des habitudes d'itinéraire ou de destination) et les variables d'urbanisme, dont les variations ne sont souvent sensibles que sur le long terme, au bout de 5 à 10 ans.

Figure 3 : Les variables de dialogue entre les modules de Simbad



Ces deux objectifs restent pour l'instant posés au conditionnel pour deux principales raisons qui doivent être vérifiées :

- ✓ que le module d'affectation projeté puisse fonctionner correctement – les calculs reviendraient sinon au modèle agrégé MD-PRU de Télescopage, appliqué au niveau des 39 zones ;
- ✓ que les temps de calcul globaux restent raisonnables – au plus quelques heures – pour que l'ensemble des simulations envisagées puisse être réalisé proprement ; si ils s'avéraient

trop long, une solution de dernier recours serait alors de revenir sur le découpage et le pas temporel.

Les variables de sortie de chaque module, alimentant les modules qui suivent, sont présentées dans la figure 3.

2.2.2. Le calcul des indicateurs finaux

Le calcul des variables de résultat proprement dites n'est cependant pas illustré sur ces premiers graphiques. Ceux-ci représentent le coeur du modèle, qui possède sa cohérence interne et son autonomie.

Des modules spécifiques seront ajoutés pour exploiter les résultats qu'il fournit, et aboutir aux indicateurs finaux proposés dans le rapport n°2 qui leur était consacré (voir figure 4).

1/ les indicateurs d'accessibilité seront directement issus de la phase d'affectation, qui calcule les matrices de temps généralisés entre les zones.

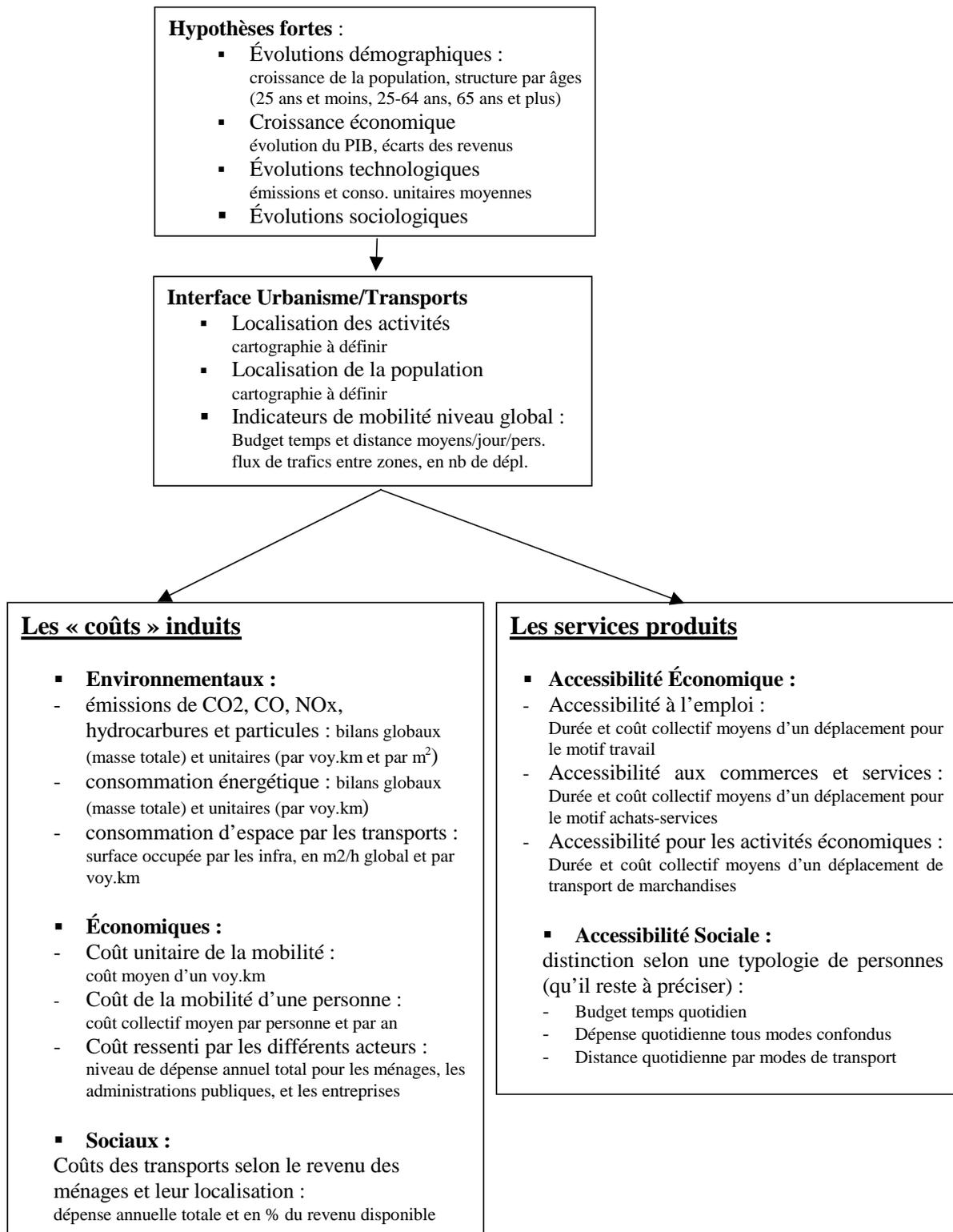
2/ Les résultats fournis par le module d'affectation sont également très importants pour les indicateurs environnementaux. Les distances et les vitesses par grands types de véhicules permettront d'estimer les émissions, qui pourront également être localisées dans l'espace urbain. Les données de trafic ainsi que la description de la voirie permettront également d'alimenter les indicateurs de consommation d'espace.

3/ A chaque scénario correspondront des coûts unitaires spécifiques, fonctions des hypothèses de coût du carburant et de consommations unitaires, de prix d'achat des véhicules et de leur amortissement, des politiques tarifaires. Les kilomètres parcourus permettront alors d'estimer un coût par mode et par OD, puis un coût global pour les usagers.

Le tout sera complété, au sein d'un compte déplacement, par les dépenses liées au fonctionnement du système et aux investissements envisagés dans la prospective.

4/ Les indicateurs sociaux, quant à eux, seront construits à partir des coûts de déplacements établis à l'issue de la phase d'affectation : connaissant les coûts entre chaque OD et pour les différents modes, connaissant par ailleurs la structure de la population de chaque zone (module « localisations résidentielles »), les motifs de déplacements pour chaque type de personne, les OD et la répartition modale par motif, une réaffectation des coûts par type de personne pourra être conduite.

Figure 4 : Les indicateurs proposés dans SIMBAD : caractériser les coûts et les services du système



3. Une première présentation des modules de SIMBAD

3.1. Les localisations résidentielles

Ce module explore les déterminants de la localisation résidentielle, en observant, d'une part, les motivations de la mobilité résidentielle et les critères de choix en matière de logement des acheteurs, et d'autre part, l'impact des attributs socio-démo-économiques et environnementaux sur les valeurs immobilières, avec une attention particulière accordée à l'intégration de la dimension spatiale du phénomène, en utilisant des techniques de modélisation statistiques et économétriques et de SIG.

Plus concrètement, l'objectif de ce module est la modélisation des choix des ménages en termes de mobilité, localisation et valeurs résidentielles à partir de variables d'utilisation du sol, d'accessibilité (centralité relative), de profil des ménages et de caractéristiques du voisinage.

La théorie traditionnelle (« bid rent theory » - Alonso, 1964) de la localisation résidentielle examine le rôle de l'accessibilité dans la formation des prix des logements.

Les différentes approches qu'on trouve dans la littérature de la localisation résidentielle considèrent que la probabilité qu'un ménage change de résidence et choisisse tel type de logement, dans telle zone, est une fonction des caractéristiques du logement, des caractéristiques du ménage et des caractéristiques du voisinage où le logement est localisé, y compris l'accessibilité.

3.1.1. Les facteurs explicatifs de la mobilité résidentielle

A partir de l'étude bibliographique de la littérature, on peut évoquer les hypothèses de départ, qu'on va essayer de vérifier, hypothèses qui vont nous aider à bien prendre en compte les aspects importants dans le développement du modèle. Voici quelques exemples :

- ✓ une consommation considérée comme individuelle, que l'on appelle « logement », est, en réalité, une consommation caractéristiques complexes liant individu et ménage, affectées par ailleurs par un mode de régulation propre au marché immobilier (règles d'urbanisme, logement social, etc.) ;
- ✓ l'utilisation du sol a un impact significatif sur la valeur des propriétés ;
- ✓ l'impact de l'utilisation du sol sur les valeurs immobilières/foncières peut varier dans l'espace (en fonction de la centralité relative) ;
- ✓ l'éventuelle non stationnarité de l'effet des attributs de propriété pourrait être liée au profil des ménages acheteurs ;
- ✓ les motivations qui déterminent la mobilité résidentielle et les critères de choix de localisation résidentielle ne sont pas homogènes, mais peuvent varier en fonction du profil socio-économique des ménages acheteurs (et vendeurs) ;
- ✓ le fait d'être propriétaire de son logement a une influence sur le comportement des ménages en termes de choix résidentiel ;
- ✓ les ménages avec deux actifs ont un comportement différent en termes de choix résidentiel par rapport aux ménages ayant un seul actif ;

- ✓ les décisions de localisation résidentielle sont liées au taux de motorisation des ménages (aux décisions des ménages de posséder une ou plusieurs voitures particulières) ;
- ✓ les ménages accordent une importance élevée à l'accessibilité (temps et coûts de transport), mais ils apprécient aussi les zones de faible densité urbaine, avec accès aux établissements d'enseignement de haute qualité et avec une bonne qualité de l'environnement (pollution réduite) ;
- ✓ à l'intérieur des groupes « homogènes » de ménages peuvent exister des préférences différentes en termes de mode de transport (en particulier, TC vs VP), et celles-ci peuvent avoir un impact sur l'influence de l'utilisation du sol sur le comportement de déplacement ;
- ✓ les préférences en termes de modes de transport sont liées aux caractéristiques socio-démo-économiques des ménages ;
- ✓ les motifs de déplacement emploi et éducation jouent sur la localisation résidentielle
- ✓ la qualité de l'environnement, influencée par le transport, influe sur les décisions des ménages en termes de mobilité et de localisation résidentielle, et, par ce biais, sur l'évolution du marché foncier / immobilier.

Les *facteurs* qui structureront le modèle de choix résidentiel peuvent être classés en quatre grands groupes :

1. *Le profil des ménages*, c'est-à-dire des facteurs démographiques (composition des ménages), sociologiques (valeurs et aspirations) et économiques (revenus des ménages), qui permettront également de segmenter les ménages en vue de l'estimation des paramètres du modèle.
2. *L'immobilier et le foncier* caractérisent les marchés résidentiels (prix et caractéristiques des logements), qui influencent, de façon indirecte, les choix résidentiels des ménages.
3. *L'accessibilité* permet de prendre en compte la dimension spatiale. L'accessibilité est une notion complexe et à facettes multiples qui joue un rôle capital dans l'évolution des villes. Les différentiels d'accessibilité permettent d'expliquer les variations spatiales de la rente foncière, de la densité d'occupation du sol etc. Il s'agit donc de modéliser l'influence des différentes dimensions de l'accessibilité (accessibilité aux services, aux infrastructures (réseaux de transport, distribution spatiale des activités) et à la population, en termes de temps, coût, distance).
4. *Le développement urbain (utilisation du sol)* – les facteurs de voisinage et la qualité de l'environnement immédiat des résidences (aménagement paysager, nuisances et externalités de la zone de résidence).

Concernant la mobilité résidentielle, les *motivations* qui sont à la base des décisions des ménages de changer de logement, le plus souvent évoquées dans la littérature sont les suivantes : le désir de devenir propriétaire de son logement, de posséder un logement avec une plus grande surface, de posséder un logement supérieur du point de vue qualitatif, la proximité du lieu de travail, le changement de la taille du ménage, la proximité (accessibilité) aux services, à l'école, au centre, la recherche d'une meilleure qualité du voisinage.

Pour chacun des quatre groupes de facteurs déterminants des choix en matière de mobilité et de localisation résidentielle, on a un bloc de *variables*, qui vont alimenter la modélisation. Pour l'instant, les variables qui ont pu être rassemblées et qui devraient être utilisées dans l'analyse sont les suivantes :

1. *Profil socio-démo-économique des ménages* :
 - revenu
 - âge du chef du ménage
 - nombre d'enfants

- nombre d'actifs
- catégorie socio-professionnelle
- sexe
- niveau d'études
- profil en termes de propriété (propriétaire/locataire)
- mobilité résidentielle
- taux de motorisation

2. Immobilier et foncier :

- caractéristiques des logements : âge, surface, nombre de pièces, qualité etc.
- coût du terrain, prix du logement

3. Accessibilité :

- temps d'accès au centre
- accessibilité au réseau routier/TC
- accessibilité à la population
- accessibilité à l'aéroport
- accessibilité vers les pôles d'emploi
- accessibilité aux établissements d'enseignement
- accessibilité aux services

4. Développement urbain (utilisation du sol) :

- densité urbaine, taux des surfaces résidentielles
- revenu moyen de la zone
- caractéristiques urbaines du site, type de développement, de l'environnement (niveau de pollution), qualité des établissements d'enseignement
- caractéristiques économiques et démographiques de la zone
- espaces verts
- taux d'emploi de la zone

3.1.2. Explorer les données statistiques à disposition

Les outils utilisés

La modélisation des choix résidentiels suppose l'analyse des interactions complexes qui se manifestent entre les variables des différents blocs. Pour structurer et formaliser ces interactions, on se propose d'utiliser plusieurs types *d'analyse statistique et économétrique*.

Une première technique consiste dans le traitement des *données de pseudo-panel* de type longitudinal, qui assure le suivi en profil spatial et à la fois temporel du phénomène modélisé. Etant donnée la disponibilité des données, on se propose d'utiliser cette technique dans la modélisation du marché immobilier et foncier.

L'analyse factorielle en composantes principales (ACP) et l'analyse factorielle des correspondances (AFC) sont des techniques statistiques qui permettent de regrouper un grand nombre de variables fortement corrélées en un nombre limité de dimensions structurelles mutuellement indépendantes. Cet outil statistique permet notamment de faciliter la mesure et l'interprétation des phénomènes complexes qui sont à la base des dynamiques urbaines et immobilières, tels que l'accessibilité aux services, les profils socio-économiques des ménages etc.

L'analyse cluster (la classification) et l'analyse discriminante sont aussi des techniques de la statistique multidimensionnelle, qu'on pourrait appliquer à nos données pour détailler et compléter les résultats obtenus de l'analyse factorielle. Ces méthodes sont utilisées afin de grouper les unités statistiques dans des classes homogènes par rapport à un nombre de variables descriptives et de créer des combinaisons de variables qui ont un pouvoir discriminant important entre les classes obtenues.

Deux méthodes très souvent utilisées dans la modélisation des choix résidentiels sont la *régression hédonique* des valeurs résidentielles et la *régression logistique (logit multinomial)* pour le choix de localisation résidentielle.

La modélisation hédonique consiste à appliquer l'analyse de régression multiple à un bien hétérogène (le logement) dont on connaît le prix de transaction et les caractéristiques. Le modèle hédonique génère une estimation du prix de vente d'une propriété en fonction de ses attributs intrinsèques (caractéristiques du bâtiment, du site) et extrinsèques (accessibilité, statut socio-économique, environnement). La régression des valeurs immobilières et foncières sur une variété d'attributs du logement et de son voisinage évalue leur contribution marginale à l'utilité de ces valeurs. Selon les règles de la statistique, la procédure de modélisation doit respecter une série de contraintes :

- ✓ absence de multicolinéarité (variables indépendantes non redondantes),
- ✓ absence d'hétéroscédasticité (distribution des résidus aléatoire et non reliée aux attributs),
- ✓ absence d'autocorrélation spatiale (résidus distribués dans l'espace de manière aléatoire),
- ✓ absence d'autocorrélation temporelle (pas de tendance chronologique dans les résidus).

La mobilité résidentielle et la localisation des ménages peuvent être analysées en utilisant la technique de la régression logistique (le modèle logit multinomial) pour estimer la contribution des différents attributs de localisation et caractéristiques des ménages dans la prise de décisions de mobilité et, si c'est le cas, de localisation. L'hypothèse qu'on fait dans ce type d'approche est la maximisation de l'utilité du ménage individuel, utilité qui est une fonction des attributs des alternatives possibles (prix, services de transport, qualité du voisinage, type de logement) et des attributs des ménages (âge, revenu, taille).

Les bases disponibles

Pour la spécification et le calage des différents paramètres du modèle, on est en train de constituer une importante base de données, contenant les variables des quatre blocs présentés auparavant. Les sources qu'on utilise pour constituer cette base de calage sont principalement les suivantes :

- ✓ le Recensement Général de la Population (RGP) de l'INSEE – 1990 et 1999, notamment pour les données concernant le profil des ménages;
- ✓ les Revenus fiscaux des ménages – 2000/2001;
- ✓ le fichier MIN (Marché Immobilier des Notaires) de la société Perval et la base OTIF (Observatoire des Transactions Immobilières et Foncières) de la Communauté Urbaine de Lyon, qui nous donnent des informations sur le marché immobilier et foncier;
- ✓ la base SPOT Thema SPOT 5 - pour les variables de développement urbain et utilisation du sol;
- ✓ les matrices O-D et d'autres mesures de l'accessibilité calculées par le LET.

3.2. Les localisations des activités économiques

Les activités économiques connaissent différentes dynamiques de localisation sur le territoire urbain. Les entreprises évoluent avec le contexte économique global, et la tertiarisation de notre société se retrouve inscrite dans l'espace des agglomérations. Par ailleurs, les variations des prix du foncier, l'étalement résidentiel, le développement des réseaux, constituent autant de facteurs explicatifs, qui accompagnent l'évolution de la localisation des activités. Enfin, suivant leur secteur d'appartenance, toutes les entreprises ne s'implantent pas de la même manière dans l'espace. Ainsi, par exemple, comme le montrent Aguilera et *alii*, 1999, pour le cas lyonnais, les sociétés de conseil et d'aide aux entreprises se concentrent sur les espaces centraux, les entreprises de service aux particuliers suivent l'étalement urbain alors que les industries ont quant à elles massivement quitté le centre pour la 1^{ère} et la 2^{ème} couronne au cours des 30 dernières années.

Un premier travail exploratoire est actuellement mené pour tenter d'identifier les regroupements d'activité intra et interindustriels à un niveau désagrégé sur l'aire urbaine de Lyon. L'évaluation des différents degrés de concentrations spatiales viendra dans un deuxième temps préciser ces résultats. Puis, une dernière partie de notre analyse reposera sur un modèle économétrique de choix qualitatif. En effet, cette technique permet d'appréhender deux caractéristiques fondamentales de la localisation des établissements industriels : d'une part, le caractère individuel des choix d'implantation et d'autre part, la décision de localisation comme résultant d'un choix discret entre plusieurs zones d'accueil. Pour l'instant, les établissements de l'aire urbaine, saisis à l'adresse à partir du fichier SIRENE de 1990 et 1999 sont utilisés et répartis au sein du découpage des IRIS 2000 (Caubel, 2006). Cette analyse permettra (i) d'identifier les principaux facteurs expliquant la localisation des établissements sur la zone considérée (ii) de mettre en évidence des déterminants propres au secteur d'appartenance de l'établissement.

Trois grands types de variables explicatives seront mobilisées expliquer ces localisations :

- ✓ les caractéristiques des autres activités de la zone - des critères tels que le nombre d'emplois industriels, ou le secteur d'appartenance (NAF17) seront alors considérés - ;
- ✓ la population résidente et la distribution des revenus au sein de l'IRIS;
- ✓ différentes caractéristiques d'accessibilités, notamment par rapport au centre-ville, par rapport à l'échangeur d'autoroute le plus proche et par rapport aux activités des zones adjacentes.

Une seconde étape consistera à observer les évolutions des localisations au cours du temps, avec deux problématiques :

- ✓ la première concerne l'évolution globale des activités (nombre d'emplois et répartition par grands types), dépendante de la croissance économique et des transformations générales de notre société (mondialisation, baisse de l'activité industrielle et croissance du secteur tertiaire ; vieillissement de la population et montée attendue des services à la personne, etc.). Ces évolutions globales seront prises en compte à partir des travaux déjà réalisés par l'Agence d'Urbanisme (2005) ;
- ✓ la seconde touche à la localisation des activités. Les derniers fichiers SIRENE depuis 1982 seront utilisés. L'évolution de l'impact des différents facteurs explicatifs sur les stratégies d'implantation ou de relocalisation des établissements seront identifiées ici.

3.3. Représenter les mobilités individuelles

Pour calculer les déplacements entre les zones, le modèle Télescopage reprend une procédure classique qui consiste à caractériser chaque zone par sa population et ses activités. Les déplacements émis par chaque zone sont distingués par motif et sont établis en fonction de la population totale de la zone, du nombre d'actifs, d'étudiants, de scolaires du primaire et du secondaire. Les déplacements attirés par chaque zone sont quant à eux fonction du motif et des caractéristiques de l'emploi dans la zone.

Par ailleurs, une relation est posée entre revenu du ménage et nombre de déplacements par personne, permettant d'estimer l'évolution de la mobilité globale en fonction des hypothèses de croissance économique dans différents scénarios. Dans les prospectives qui se fondent sur des hypothèses de croissance plus ou moins forte des revenus, le nombre de déplacements ainsi calculé est alors plus important que dans le cas de la méthode précédente. C'est ce dernier résultat qui est privilégié dans Télescopage, et les déplacements en surplus sont répartis par motif avant d'être spatialisés dans le cadre de la première procédure (voir Masson, 2000).

Plusieurs pistes sont en cours d'exploration pour éventuellement affiner cette procédure, touchant aussi bien le lien revenu - mobilité que l'analyse des déplacements qui pourrait se faire au niveau de la chaîne.

Revisiter le lien revenu - mobilité

Ce lien entre revenu du ménage et mobilité individuelle se vérifie bien par une approche macroscopique. Par exemple, l'équation qui sert de base de calcul dans Télescopage est de type :

$$\text{Mobilité} = 0,4203 * \ln(\text{revenu})$$

avec une mobilité mesurée en nombre moyen de déplacements quotidiens par personne en fonction des revenus moyens des ménages, regroupés en 8 classes. Elle est établie à partir de l'enquête-ménages de Lyon de 1995 et on obtient un coefficient de régression R^2 de 0,95 sur cette base semi-agrégée (Masson, 2000).

Cependant, des changements importants, en termes d'accès à l'automobile et de démographie, se sont opérés ou vont se produire dans la période à venir, dont il convient de bien mesurer l'impact sur la mobilité avant de s'arrêter sur le seul facteur revenu.

Par exemple, l'accès à l'automobile, qui ouvre incontestablement des champs en matière d'activités et de mobilité, apparaît largement conditionné au revenu. Ce lien a été très fort durant toutes les années 60 à 80-90. Les revenus supplémentaires des ménages bénéficiant de la croissance économique permettaient d'acquérir une voiture pour le ménage, puis pour chaque personne pouvant y prétendre. Aujourd'hui, cependant, l'accès à la voiture est, sinon généralisé, du moins en bonne partie réalisé. La croissance du revenu pourra continuer à accroître l'usage de la voiture et les distances parcourues de ceux qui sont déjà motorisés, elle aidera également à ceux qui n'ont pas encore d'automobile de s'équiper, mais à un niveau global, son effet sur la mobilité globale, mesurée en nombre de déplacements quotidien par personne, ne peut aller qu'en s'atténuant. D'autres variables auparavant peu actives et camouflées par ce facteur principal pourront avoir un impact plus sensible dans les prochaines années,

Le statut et les activités sociales qui y sont rattachées jouent tout à la fois sur le niveau de mobilité et sur le niveau de revenu. Les actifs sont en moyenne plus riches et se déplacent plus que les autres individus, mais il convient de faire la part, dans leur surmobilité, entre un effet revenu pur et les déplacements supplémentaires générés par le travail. Autre exemple encore, au

sein du groupe des retraités, l'état de santé et la condition physique, souvent résumés par une distinction entre plus ou moins de 74 ans, ne jouent-ils pas plus que le niveau de revenu proprement dit?

Compte tenu des évolutions démographiques fortes des 25 prochaines années, ces distinctions méritent d'être creusées pour rendre le modèle plus solide.

Ainsi, il convient de s'assurer que le lien revenu-mobilité ne camoufle pas d'autres effets qui pourraient l'emporter dans les prochaines années.

- ✓ pour neutraliser l'effet taille du ménage (déplacements supplémentaires pour accompagner les enfants par exemple), qui explique des revenus différents (ménage à 2 actifs), on estimera un revenu par unité de consommation³ ;
- ✓ par ailleurs, on observera l'intensité de ce lien à l'intérieur de différents groupes de population en fonction de l'âge, du statut, du sexe, de la localisation et de l'accès à l'automobile notamment.

Une analyse des chaînes de déplacement

Une chaîne de déplacements se définit comme l'ensemble des déplacements réalisés entre le départ et le retour à domicile. Elle a une cohérence spatiale dont la génération directe de chaque déplacement par zone ne rend pas compte.

Le rôle structurant du lieu du domicile et du lieu de travail dans l'agencement spatial de la mobilité des actifs reste, à ce niveau, déterminant. Une analyse de ces chaînes sera donc menée pour rendre compte du taux de motifs secondaires et de leur localisation par rapport à l'activité principale. Les chaînes domicile-travail seront particulièrement observées ici, avec par ailleurs une analyse spécifique sur l'allongement des distances entre ces deux activités au cours des 25 dernières années. Les autres chaînes, moins structurées par leur destination, seront également abordées.

La mise en évidence des caractéristiques socioéconomiques des personnes qui réalisent ces chaînes permettra par ailleurs de faire le lien entre les informations fournies par les modules de localisations (activités économiques et résidences) et cette phase de génération-distribution des déplacements.

Les phases de répartition horaire et modale

La répartition modale de ces déplacements reprendra les principes retenus pour Télescopage.

La répartition horaire, quant à elle, distinguera heures de pointe, heures creuses de jour et heures creuses de nuit. Elle s'appuiera notamment sur la répartition horaire des motifs de déplacements constatée dans la dernière enquête-ménages de 1995. Elle fournira au module d'affectation des nombres de véhicules en UVP (réseau routier) et de déplacements (réseau de transports collectifs) moyens horaires pour chaque origine – destination.

³ Calculer directement un revenu par personne ne permet pas de prendre en compte les économies d'échelle qui peuvent être réalisées au sein d'un ménage. L'INSEE propose des coefficients pour corriger cet effet, et l'on parle alors de revenu par unité de consommation. Le premier adulte compte pour 1 unité de consommation, les suivants (âgés de 14 ans ou plus) comptent pour 0,5, et les enfants pour 0,3.

3.4. Les trafics de transit et d'échange

Sur l'aire de Télescopage, les trafics d'échange et de transit représentent respectivement 8 et 1% du nombre de déplacements, mesurés en UVP. Comme ils sont en moyenne plus longs que les autres, ils représentent environ 11 et 3% des distances parcourues, mesurées en UVP.km.

Dans Télescopage, essentiellement deux outils servaient à appréhender ces trafics, avec Quinquin Fret Spatialisé pour les transports routiers de marchandises et SAMI qui apportait l'information manquante sur les trafics routiers de personnes, établis par l'ASFA. Ce dernier permettait également de mesurer l'impact du noeud lyonnais sur la répartition du trafic sur le réseau régional, voire national.

Compte tenu des interrogations de SIMBAD, qui se préoccupe plus de la mobilité des résidents de l'aire urbaine et des répercussions des politiques de transport et d'urbanisme pour ces personnes, il n'apparaît pas stratégique de pousser très avant cette dernière problématique. Nous reprendrons donc simplement les principes établis dans Télescopage pour calculer l'évolution des trafics de transit et d'échange (établie sur la base des hypothèses de croissance économique), sans intégrer les calculs d'affectation en dehors des limites de l'aire urbaine.

3.5. Les marchandises en ville

Le module représentant les marchandises en ville, réalisé en dehors du projet SIMBAD, est aujourd'hui abouti et pourra s'intégrer dans l'architecture d'ensemble. Il est présenté ici de manière synthétique.

3.5.1. Le contexte

Le Transport de Marchandises en ville est **un aspect de la mobilité qui a été abordé tardivement** du point de vue des aménageurs, comme de la recherche. Pourtant le système de transport des marchandises et matériaux de toutes sortes participe directement à la vie et aux transformations urbaines. La quasi-absence dans les documents d'urbanisme de cette activité est liée à plusieurs facteurs :

- ✓ Longtemps, les aménageurs et les principaux acteurs économiques ont considéré les déplacements de marchandises comme restreints aux transports interurbains, tout au plus effectués en bateau, en chemin de fer et en poids lourds.
- ✓ Le terme de poids lourds était systématiquement employé et la préoccupation était essentiellement de limiter les nuisances du passage de ces véhicules sur le territoire urbain : éviction dans le temps ou dans l'espace des poids lourds des centres urbains et à forte densité de population, sans que la fonctionnalité de ces déplacements ne soit réellement prise en compte.
- ✓ Dans les années 90, avec la montée des préférences environnementales, un effort de connaissance a été fortement encouragé par la collectivité et a abouti à la réalisation d'enquêtes spécifiques dont l'objet était de pallier le manque de connaissance de ce secteur essentiel de la dynamique urbaine et de construire un modèle permettant l'aide au diagnostic et à la décision.

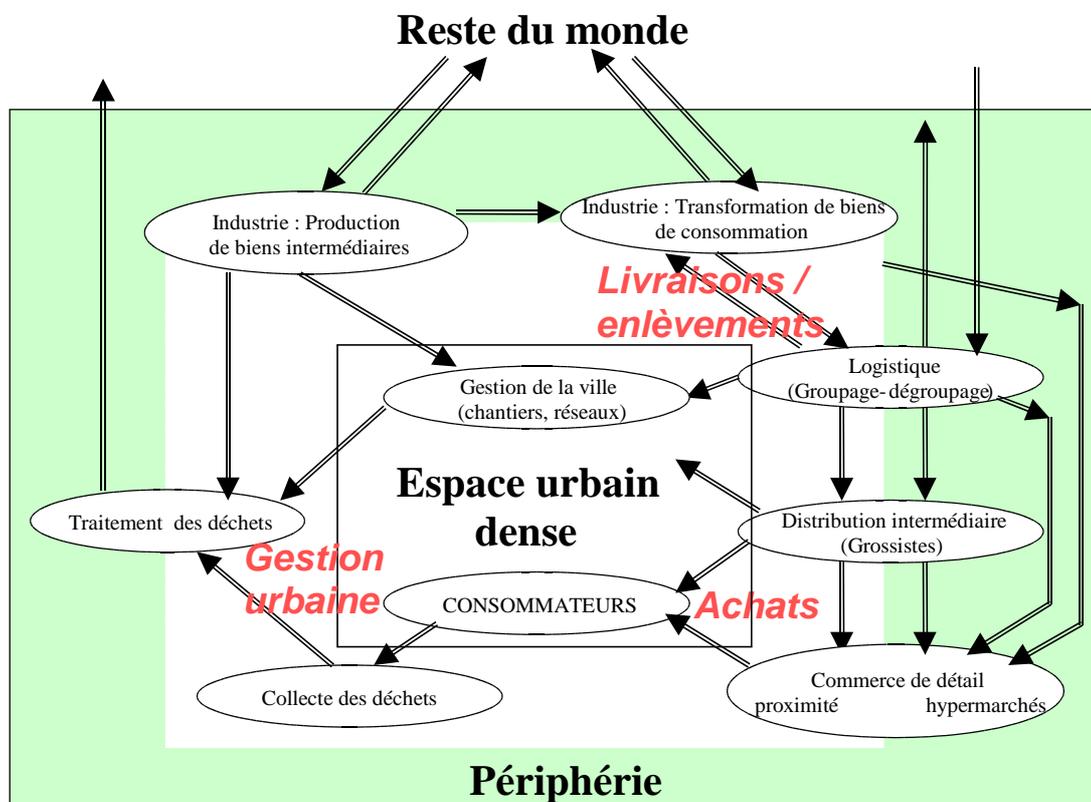
3.5.2. Qu'est-ce que le transport de marchandises en ville ?

Le cycle des échanges de marchandises nécessaires au fonctionnement de la ville et à la vie quotidienne de ses habitants comporte :

- ✓ **la sphère productrice de biens de consommation** (l'industrie lourde, puis l'industrie de biens de consommation et intermédiaires),
- ✓ qui alimente les différents étages du **système de distribution**, (plates-formes logistiques, dans lesquelles s'effectuent en particulier le groupage et le dégroupage de la marchandise, le commerce de gros, puis, plus près des populations, le commerce de détail).
- ✓ Le circuit se poursuit jusqu'au consommateur sur son lieu d'habitat (**les déplacements d'achat et les livraisons à domicile**),
- ✓ sans oublier les flux qui alimentent le système de gestion de la ville (développement et maintenance des réseaux urbains, chantiers de voirie et de construction, déménagements, colis postaux, etc.).
- ✓ Le cycle s'achève par différents **circuits d'élimination des déchets** (Figure 5).

Ce système évolue dans **deux principaux sous-espaces** : les zones centrales où l'on trouve une forte densité d'habitat, d'emplois tertiaires et de commerce ; les zones périphériques où l'habitat et les zones commerciales sont plus dispersés et où l'on trouve maintenant la plupart des activités industrielles et des zones logistiques.

Figure 5 : Le système des transports urbains de marchandises



Cette description sommaire met en évidence qu'en plus des acteurs du transport, c'est la totalité des acteurs **économiques** qui sont impliqués dans les échanges de marchandises dans l'espace

urbain, mais aussi les **ménages** en tant que consommateurs et les **gestionnaires** de la ville pour ce qui a trait à l'urbanisme et au développement des infrastructures.

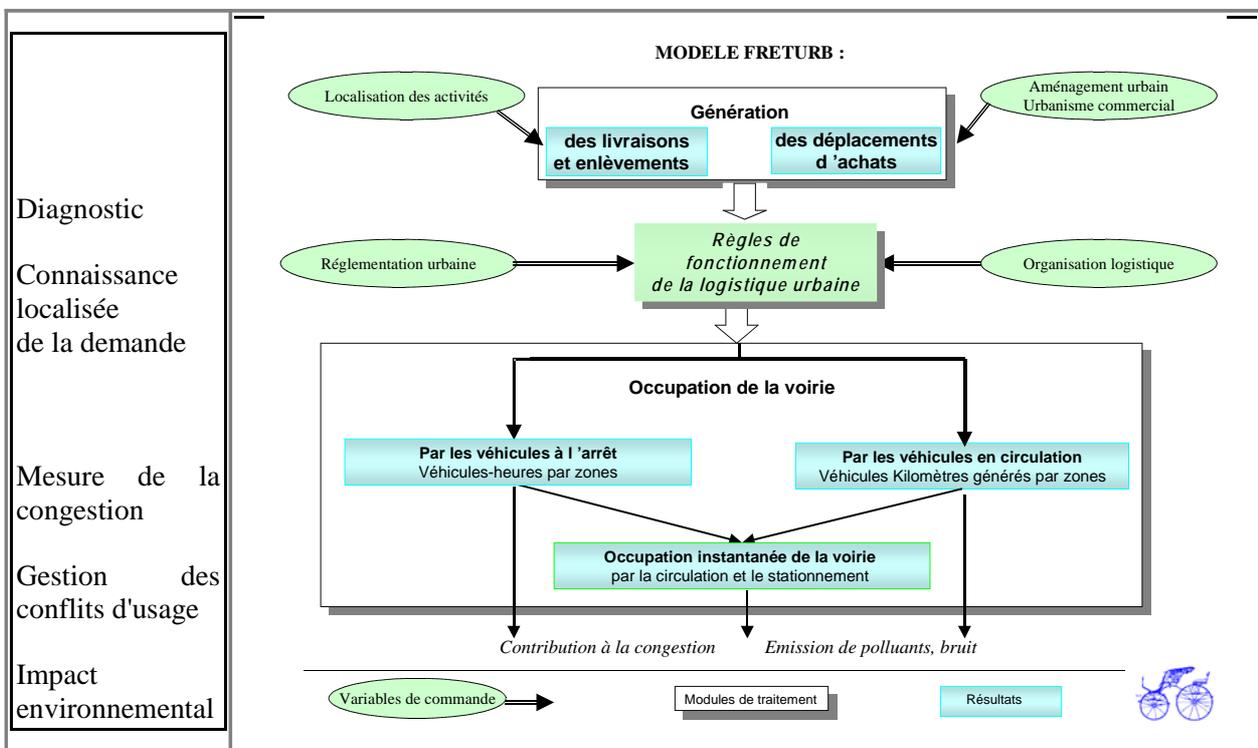
3.5.3. Le modèle Freturb

FRETURB est un modèle de simulation des transports de marchandises en ville. Il s'appuie sur les résultats d'enquêtes lourdes réalisées ces dernières années (enquêtes TMV) selon une méthode spécifique fondée sur la description fine des opérations de livraison et enlèvement de chaque établissement d'une agglomération.

Il fournit les résultats suivants sur un zonage de l'agglomération choisi par l'utilisateur et selon les activités desservies, selon trois types de véhicules et selon chaque mode de gestion et d'organisation du transport :

- ✓ une estimation du nombre de livraison et d'enlèvements réalisés un jour ordinaire,
- ✓ une occupation de la voirie des véhicules en circulation (en véhicules*kilomètres générés par chaque zone),
- ✓ une occupation de la voirie par les véhicules à l'arrêt en cours de livraison sur la voie publique (en véhicules*heure dans chaque zone),
- ✓ la répartition horaire des livraisons,
- ✓ enfin, pour les villes disposant d'enquêtes déplacement auprès des ménages, le trafic de véhicules particuliers générés par les commerces (déplacements d'achats) qui représentent le chaînon ultime de l'approvisionnement urbain.

Figure 6 : Organigramme simplifié du modèle Freturb



Une version en cours de développement permet de réaliser un bilan environnemental du transport de marchandises dans les zones urbaines. On pourra ainsi identifier la part des différents acteurs

de la ville, chargeurs, transporteurs, celle des différents types de véhicules dans la consommation d'énergie, la production de gaz à effet de serre et des principaux polluants atmosphériques.

Les principales étapes du modèle sont : un diagnostic, par une connaissance localisée de la demande, une mesure de la congestion par le calcul d'une occupation de la voirie par les véhicules en circulation et en stationnement sur voirie, la mise en évidence des conflits d'usage de la voirie et l'impact environnemental du TMV.

3.5.4. Questions de méthode

La méthode la plus courante pour modéliser les trafics routiers de marchandises consiste à calculer tout d'abord les lieux d'émission et de réception des marchandises (phase de génération), puis à calculer la matrice origine-destination des flux (phase de distribution) et enfin de calculer les chemins les plus probables suivis pour joindre chaque zone origine et chaque zone destination (phase d'affectation). Un taux de chargement des véhicules permet de définir une clé de correspondance entre les tonnes transportées d'une zone à une autre et le nombre de véhicules impliqués. Alors que cette méthode est efficace pour le transport routier interurbain, il n'en est pas de même en urbain. D'une part, le transport d'un même bien est réalisé par des véhicules de tailles très différentes (du deux roues au 44 tonnes, en passant par les camionnettes et les camions porteurs de tonnages très divers). D'autre part, l'organisation en tournées de tailles diverses associant dans un même parcours des marchandises très variées concerne les trois quart des livraisons réalisées en zones urbaines. Cela interdit de considérer comme équivalent le cheminement de la marchandise et celui du véhicule de livraison.

C'est pourquoi le modèle est construit sur la base d'une unité d'observation : l'opération de livraison ou enlèvement de marchandise réalisée par un véhicule. Cela permet à la fois de qualifier et localiser les points de rupture de charges, de faire le lien entre les modes de gestion et d'organisation du transport (type de véhicule, type d'opérateur, tournée ou trace directe) avec les caractéristiques des établissements desservis (activité, taille, environnement) et la nature des biens transportés (nature, poids, volume, conditionnement).

A partir d'un échantillon construit sur la base d'un fichier d'établissements, il est alors possible d'évaluer le nombre de livraisons et d'enlèvements généré sur un zonage de l'agglomération. En effet, à chaque opération de livraison-enlèvement est associé un déplacement de véhicule ainsi que la durée de stationnement sur voirie correspondante.

De ce calcul découle une mesure de l'occupation de la voirie par les véhicules de livraison à l'arrêt comme en circulation. Cette mesure répond à l'un des deux objectifs fixés : mesurer l'impact des TMV sur l'environnement urbain en termes de congestion, de consommation énergétique et de pollution.

3.5.5. Les sources de données

Le modèle est calibré sur des résultats d'enquêtes.

1/ Les mouvements de véhicules de livraison

L'un des résultats essentiels des enquêtes TMV a été de mettre en évidence de nombreux comportements invariants d'une ville à l'autre, tant sur le plan de la génération des flux que des modes de gestion ou d'organisation de ceux-ci. Ceux-ci ont servi de fondement à la construction du modèle. Trois villes de tailles différentes (Bordeaux puis Dijon et Marseille) ont été enquêtées entre 1995 et 1997. Un échantillon stratifié de 4500 établissements et un échantillon de 2200

chauffeurs ont été constitués, permettant de construire une base de connaissance sur laquelle des ratios, des indicateurs et des fonctions caractéristiques du TMV ont pu être élaborés.

Ces enquêtes fournissent des ratios du nombre de livraisons et d'autres indicateurs selon une typologie spécifique des établissements (selon une post-stratification des établissements), puis les caractéristiques des tournées sont exprimées suivant les types de véhicules et les activités desservies.

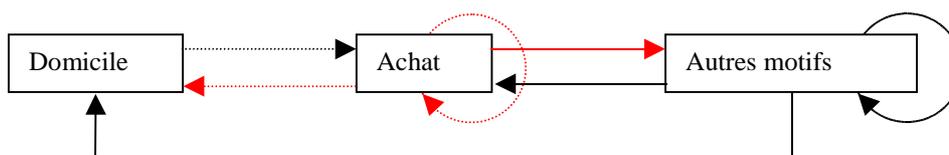
Les fichiers SIRENE permettent d'obtenir une image complète et exhaustive des activités d'une agglomération. Ils servent à redresser les données à l'échelle de l'agglomération concernée.

2/ Les déplacements d'achat des ménages

Les enquêtes déplacements auprès des ménages permettent de calibrer un modèle de génération des déplacements d'achat en voiture particulière selon l'équipement commercial d'une zone (commerce de proximité, commerce d'agglomération, grande distribution).

On peut représenter simplement les flux Achats retenus par FRETURB sur le schéma suivant :

Figure 7 : Les flux achats de FRETURB



Sur ce schéma, les trajets figurés en rouge constituent les trajets Achats. Ceux qui sont en pointillés – quelle que soit leur couleur – sont ceux susceptibles de constituer des navettes achats. Ils ne seront effectivement considérés comme des déplacements d'achat, que si le maillon "Domicile – Achat" (en pointillés noirs) figure dans la chaîne de déplacement. Les trajets indiqués en trait plein noir, ne sont pas des déplacements d'achats.

3.5.6. Les principales corrélations utilisées

La mise en œuvre de ce modèle nécessite quelques précautions. En effet, la mise en cohérence des différentes sources est relativement délicate (zonages pertinents pour les différents modèle, pour le calage du module achats, pour la pertinence du zonage TMV, etc).

1/ Les mouvements de véhicules de livraison

Le nombre d'opérations de livraisons et d'enlèvement d'un établissement dépend essentiellement :

- ✓ de **l'activité principale** (selon la nomenclature des activités de l'INSEE en 700 codes)
- ✓ de **la nature du local** (selon la nomenclature des fichiers SIRENE de l'INSEE)
- ✓ de **la taille de l'établissement** (nombre d'emplois)

La **distance parcourue par les véhicules** de livraisons est exprimée selon le schéma suivant :

- ✓ Le taux de motorisation de la zone,
- ✓ La présence ou non d'une grande surface dans la zone.

L'émission des trajets amonts des navettes achats réalisés en VP

Celle-ci est calculée par régression multiple sur deux variables :

- ✓ le nombre d'habitants (Population),
- ✓ Le taux de motorisation de la zone.

L'attraction des flux d'achat réalisés en VP

Celle-ci est calculée par régression multiple sur deux variables :

- ✓ le nombre d'habitants (Population),
- ✓ La densité d'établissements économiques de la zone (DENSACTI, calculé par FRETURB)

L'attraction des trajets amonts des navettes achats réalisés en VP

Celle-ci est calculée par régression multiple sur deux variables :

- ✓ les trajets amonts des navettes achats réalisés en VP estimés au lieu d'émission
- ✓ Le nombre de commerces de grandes ou très grandes surface situés dans la zone de destination)

3.6. Reprendre la procédure d'affectation

L'objectif de l'affectation dans Simbad est de fournir des temps d'accès des différents modes entre tous points de l'aire urbaine pour alimenter les modules de localisation des activités économiques et de la population. Or :

- ✓ Au départ, Télescopage fait appel au modèle Davisum calibré sur l'agglomération lyonnaise et utilisé par le CETE de Lyon pour répondre à ses besoins en matière d'affectation du trafic. Cependant, cet outil ne permet pas de couvrir correctement toute l'aire urbaine (en 1999, date de référence de Simbad, il n'est opérationnel « que » sur un territoire correspondant au schéma directeur de l'agglomération urbaine élargi). D'autre part et surtout, le contenu des bases de données utilisées étant propriété du CETE, son intégration à la procédure informatique de Simbad n'est pas possible.
- ✓ Le recours à une procédure d'affectation agrégée entre 39 zones proposée par le module MDP-RU de Télescopage reste toujours possible, mais fournit des résultats grossiers pour des accessibilités susceptibles d'alimenter des modèles de localisation.

Il convient donc de s'interroger sur le développement d'une alternative qui puisse être intégrée au projet. Nous proposons d'explorer la possibilité de l'utilisation d'un modèle « mésoscopique » comme METROPOLIS appliqué sur un réseau provenant d'un SIG existant, la base Géoroute de l'IGN, doté d'une résolution spatiale très élevée.

Le problème présente plusieurs facettes :

- ✓ d'une part, l'organisation des **tests à réaliser** pour valider l'intérêt de cette procédure ;
- ✓ d'autre part, la définition d'une série d'**indicateurs** pertinents communs aux différents modules de Simbad ;

- ✓ enfin, la mise en place d'une **technologie** adéquate pour l'interface logicielle qui permette aux modèles de localisation et d'occupation du sol d'accéder de manière transparente aux performances de l'infrastructure de transport sans avoir à tenir compte de la complexité d'un modèle de transport complet.

3.6.1. Vérifier l'intérêt de la démarche

Présentation générale

Le développement de l'application de METROPOLIS à la ville de Lyon a débuté, sur la base d'un réseau finement détaillé provenant de la base de données IGN « Géoroute ». A terme, les simulations de trafic sur ce réseau, qui contient toute la voirie, devraient nous permettre de fournir des indicateurs d'accessibilité :

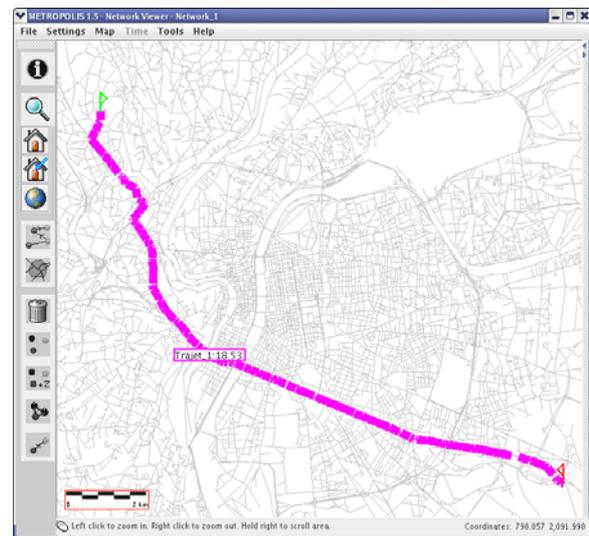
- ✓ au niveau spatial de la parcelle,
- ✓ ventilés suivant l'heure de la journée.

La modélisation retenue se présente comme suit : du point de vue externe de l'occupation du sol, les indicateurs de transport, par mode, sont fournis au niveau parcellaire ou zonal ainsi que suivant l'heure de la journée ou agrégé sur une période.

L'agrégation au niveau zonal pour un modèle détaillé sera réalisée en intégrant les accessibilités sur la couverture géographique correspondante. La désagrégation spatiale pour un modèle agrégé du type du modèle stratégique sera réalisée *via* un calcul de pseudo-accessibilité intra-zone.

Remarque méthodologique sur les modèles « mésoscopiques »

Les logiciels classiques de simulation microscopique du trafic s'appliquent à des études d'aménagement local, et permettent de reproduire fidèlement l'écoulement du trafic et la prise en compte de facteurs dynamiques déterminants dans l'apparition de goulets d'étranglement. Les simulateurs de trafic de type mésoscopique comme METROPOLIS ont pour objectifs de capturer ces effets, non pas au niveau local, mais au niveau du réseau urbain complet. En particulier, ces derniers permettent de calculer les temps de trajet de point à point plus fidèlement que les outils de planification traditionnels basés sur le principe d'une affectation statique du trafic.



Le principe des tests réalisés

L'objectif du premier travail de test consiste à mettre en oeuvre l'application du modèle de simulation sur une partie du territoire de l'aire urbaine de Lyon et à comparer les résultats de celui-ci avec les résultats d'un modèle statique classique pris comme référence. Concernant les

déplacements automobile, l'outil testé est METROPOLIS appliqué sur la base Géoroute de l'IGN et ses résultats sont comparés à ceux de DAVISUM. Le travail est conduit en partenariat avec le CETE de Lyon qui fournit les données adéquates pour réaliser les comparaisons.

3.6.2. Indicateurs

La définition d'indicateurs communs est délicate car chaque modèle possède ses propres spécificités. Par exemple, la définition d'un « coût de transport généralisé par mode » n'est pas universelle et dépendra de la capacité du modèle de transport à prendre en compte différents aspects tels que le temps d'accès au réseau (par exemple via un modèle de simulation du mode piéton), la présence de péage ou le temps de recherche d'une place de stationnement dans le cas d'un modèle de la voiture privée. Une autre difficulté réside dans la résolution temporelle de chaque modèle. METROPOLIS est un modèle dynamique qui peut fournir des indicateurs désagrégés dans le temps. Le choix d'une résolution spatiale présente aussi une difficulté. En effet, la majorité des modèles de transport sont basés sur le concept de zones de trafic : les origines et les destinations des véhicules sont symbolisées par ces abstractions géographiques qui recouvrent généralement un quartier, une commune, voire plus. Ce niveau d'agrégation n'est probablement pas totalement cohérent avec une analyse parcellaire de l'occupation du sol telle que proposée dans URBANSIM. Nous explorons la possibilité de fournir facultativement les indicateurs de transport au niveau parcellaire, en masquant la présence de zones aux modèles de localisation. Actuellement, les indicateurs communs qui ont été retenus sont des accessibilités « classiques » ventilées suivant le mode de transport, de zone à zone et agrégées sur une période horaire (période de pointe ou hors pic). Ces accessibilités sont toutefois difficilement manipulables par un concepteur de modèle de localisation qui préférera généralement disposer de grandeurs géo-codées (par exemple temps de trajet de la position $x0,y0$ à la position $x1,y1$ en utilisant un mode donné).

3.6.3. Technologie

Le choix d'une technologie adéquate pour l'interface logicielle dépend de plusieurs paramètres relatifs aux performances du système final ainsi qu'à sa complexité d'utilisation. Les résultats produits par un modèle de simulation de transport désagrégé dynamique et/ou à haute résolution spatiale dépasse largement la taille d'une feuille de tableur classique, qui peut suffire pour un modèle statique zonal (la matrice des 39x39 accessibilités de zone à zone seront facilement stockées et indexées dans un seul fichier par exemple).

La solution actuellement retenue dans METROPOLIS consiste à stocker, pour chaque segment de demande (p.ex. motifs) et pour chaque tranche horaire, une matrice zonale d'accessibilités dans une base de données de type SQL. Cette solution ne peut pas être étendue au cas parcellaire vu la taille de la matrice (une application sur un contexte urbain requiert de l'ordre de 10^5 parcelles). Le système de requête de l'API proposé consiste à combiner une base de données de type SQL pour stocker les résultats désagrégés (p.ex. les temps de trajet sur les différents axes routiers en fonction du temps) à des modules de calcul performants réalisant « en ligne » l'agrégation spatiale ou temporelle correspondant aux requêtes (p.ex. l'accessibilité d'une zone donnée, ce qui implique des calculs de plus courts chemins depuis cette zone vers toutes les autres). Du point de vue de la mise en œuvre, le système sera distribué de façon à minimiser le calcul et les transferts entre les différents modules.

An niveau de l'infrastructure informatique, nous mettons actuellement en place un serveur de calcul Linux « en grappe » qui devrait permettre à l'issue du projet de simuler les scénarios de transport, de stocker leur résultats et de les fournir aux modèles de localisation. Ce système se compose d'un nœud principal avec une capacité de stockage importante (environ 500 gigabytes) relié à une dizaine de nœuds de calcul performants.

3.6.4. Un travail similaire effectué pour les transports en commun

METROPOLIS est un modèle unimodal, qui s'applique au trafic routier. Un travail spécifique doit donc être réalisé pour les transports collectifs.

Ainsi, l'intégration d'un modèle de calcul d'accessibilités en transport en commun, développé au LET sur la base d'un SIG avec un haut degré de résolution spatiale, est également à l'étude. Cet exercice est du même type que celui réalisé pour la voiture. Une description fine du réseau TC fixée sur SIG est utilisée, complétée d'une procédure de calcul du plus court chemin réalisée sur les temps généralisés. Les résultats obtenus ici sont comparés à ceux fournis par TERESE, en partenariat avec la SEMALY.

3.6.5. Conclusion

Cette partie du projet sur les questions d'affectation est pilotée par Fabrice Marchal au LET, qui mène la même démarche sur d'autres projets de mise en interaction « occupation du sol – transport ». Trois d'entre eux visent à appliquer le modèle URBANSIM aux villes de Lyon (SIMBAD - LET), Paris (SIMAURIF – Université de Cergy) et Zürich (IVT-ETHZ) ; un quatrième s'attache au développement d'une modélisation multi-agents (ILOT – LET). C'est d'ailleurs dans le cadre de ce dernier projet qu'est financée l'équipement informatique évoqué en dernière partie.

Enfin, tout le travail réalisé dans cette partie correspond à une volonté d'améliorer une procédure existante. Si la démarche s'avérait trop lourde, ou méritait d'être encore approfondie avant de pouvoir être intégrée dans le projet SIMBAD, la solution « affectation agrégée » actuellement utilisée dans Télescope pourra toujours être reprise.

4. Une conclusion de transition...

Aujourd'hui, l'architecture générale du modèle est donc posée. Un travail est lancé pour chacun des modules, les résultats et conclusions sont attendus pour l'automne 2006. Les choix définitifs, suivis de l'écriture du modèle proprement dite, se réaliseront à ce moment là. Si une des pistes prospectées actuellement s'avère peu concluante, nous reviendrons à l'option initiale correspondante de Télescopage.

Une autre réflexion concerne l'assemblage général des modules. En effet, il est nécessaire de penser l'optimisation des procédures de calculs, permettant de disposer d'un outil opérationnel réalisant une simulation en quelques heures au plus.

- ✓ Une plate-forme informatique pouvant supporter les calculs nécessaires est en cours de mise en oeuvre pour répondre aux besoins de plusieurs projets menés au sein du LET. Elle bénéficiera également au développement de Simbad.
- ✓ Une collaboration avec un informaticien programmeur est à préparer pour l'hiver 2006-2007, pour développer de manière judicieuse le programme reliant entre eux les différents modules et faisant l'interface avec l'utilisateur.

5. Bibliographie succincte

- Agence d'Urbanisme de Lyon (2005), *La dynamique d'emploi de l'aire métropolitaine lyonnaise*. Lyon, Agence d'Urbanisme, prospective Inter-Scot. 34 p.
- AGUILERA Anne, BLOY Danièle, BUISSON Marie-Andrée, CUSSET Jean-Michel, MIGNOT Dominique (1999), *Localisation des activités et mobilité*. Lyon, rapport LET pour la DRAST dans le cadre du Prédit.
- CAUBEL D. (2006) *Politique de transports et accès à la ville pour tous ? Une méthode d'évaluation appliquée à l'agglomération lyonnaise*. Lyon, Université Lumière Lyon 2, thèse de doctorat en sciences économiques. 444 p.
- de PALMA, A., MARCHAL F. (2003), "Real cases Applications of the fully Dynamic METROPOLIS Tool-box: an Advocacy for Global Large-scale Mesoscopic Transportation Systems", *Networks and Spatial Economics* 2(4). Kluwer Academic Publishers, pp. 347-369.
- KESTENS, Y., *Utilisation du sol, accessibilité et profil des ménages : effet sur le choix résidentiel et la valeur des propriétés*, Université Laval – doctorat en aménagement du territoire et développement régional, 2004
- MARCHAL F., (2005), "A trip generation method for time-dependent large-scale simulations of transport and land-use", *Networks and Spatial Economics* 5(2). Kluwer Academic Publishers, pp. 179-192.
- MASSON S. (2000), *Les interactions entre système de transport et système de localisation en milieu urbain et leur modélisation*. Lyon, Université Lumière Lyon 2, thèse de doctorat en sciences économiques. 566 p.
- PAGLIARA, F., PRESTON, J., *The impact of transport on residential location*, Transport Studies Unit, University of Oxford, 2003
- PATIER D., ROUTHIER J.L., SEGALOU E., GERARDIN B., *Diagnostic du Transport de marchandises dans une agglomération*- Programme National en ville – ADEME, DRAST, avril 2000, 85 p. + CD-rom.
- ROUTHIER J.L., SEGALOU E, DURAND S., ALLIGIER L., TOILIER F., *Mesurer l'impact du transport de marchandises en ville - le modèle de simulation FRETURB (version 1)*, ADEME, DRAST, octobre 2001, 103 p. + CD-Rom.
- THÉRIAULT, M., *Modélisation des choix de localisation et des valeurs résidentielles dans la région de Québec : Apports combinés de la géomatique et de la statistique pour analyser et modéliser les dynamiques urbaines*, Université Laval, 2002
- TOILIER F., ALLIGIER L., PATIER D., ROUTHIER J.L., *Vers un modèle global de simulation de la logistique urbaine :FRETURB, version 2*, rapport pour la DRAST, juillet 2005, 109 p.
- WADDELL, P., *Accessibility and residential location : The interaction of workplace, residential mobility, tenure, and location choices*, presented at the 1996 Lincoln Land Institute TRED Conference
- WEISBROD, G., BEN-AKIVA, M., LERMAN, S., *Tradeoffs in residential location decisions : Transportation versus other factors*, Transportation Policy and Decision-Making, V.1, N.1, 1980

Table des Matières

1. INTRODUCTION.....	3
2. L'ARCHITECTURE GÉNÉRALE DU MODÈLE.....	5
2.1. De Télescopage à Simbad : un héritage et des évolutions.....	5
2.1.1. Le modèle Télescopage.....	5
2.1.2. Tenir compte de l'expérience passée.....	6
2.1.3. SIMBAD : intégrer une problématique de mobilité durable.....	8
2.2. L'agencement des modules proposés pour SIMBAD.....	9
2.2.1. Le coeur du modèle.....	9
2.2.2. Le calcul des indicateurs finaux.....	12
3. UNE PREMIÈRE PRÉSENTATION DES MODULES DE SIMBAD.....	15
3.1. Les localisations résidentielles.....	15
3.1.1. Les facteurs explicatifs de la mobilité résidentielle.....	15
3.1.2. Explorer les données statistiques à disposition.....	17
Les outils utilisés.....	17
Les bases disponibles.....	18
3.2. Les localisations des activités économiques.....	19
3.3. Représenter les mobilités individuelles.....	20
3.4. Les trafics de transit et d'échange.....	22
3.5. Les marchandises en ville.....	22
3.5.1. Le contexte.....	22
3.5.2. Qu'est-ce que le transport de marchandises en ville ?.....	23
3.5.3. Le modèle Freturb.....	24
3.5.4. Questions de méthode.....	25
3.5.5. Les sources de données	26
1/ Les mouvements de véhicules de livraison.....	26
2/ Les déplacements d'achat des ménages.....	26
3.5.6. Les principales corrélations utilisées.....	27
1/ Les mouvements de véhicules de livraison.....	27
2/ Les déplacements d'achat des ménages.....	28
3.6. Reprendre la procédure d'affectation.....	29
3.6.1. Vérifier l'intérêt de la démarche.....	29
3.6.2. Indicateurs.....	30
3.6.3. Technologie.....	31
3.6.4. Un travail similaire effectué pour les transports en commun.....	31
3.6.5. Conclusion.....	31
4. UNE CONCLUSION DE TRANSITION.....	33
5. BIBLIOGRAPHIE SUCCINCTE.....	35