

Rapport de recherche du Laboratoire d'Économie des Transports

Pour le compte de la DRI (MEEDDAT) et de l'ADEME dans le cadre du groupe 11 du PREDIT 3

Simuler les MoBilités pour une Agglomération Durable

Rapport final du projet Simbad

Juillet 2009

Auteurs : Jean-Pierre Nicolas, Patrick Bonnel
Jorge Cabrera, Cécile Godinot, Marius Homocianu,
Jean-Louis Routhier, Florence Toilier, Philippe Zuccarello

Cartographie : C. Godinot

Avec le soutien de l'Agence d'Urbanisme pour le développement
de l'agglomération lyonnaise



Même s'ils n'ont pas participé à la rédaction de ce rapport final, d'autres chercheurs, post doctorants et doctorants sont intervenus dans le cadre des rapports intermédiaires auxquels nous faisons largement référence ici. Il serait injuste de ne pas les citer :

Ghilaisne Deymier, postdoctorante, sur le bilan des modèles d'interaction transport-urbanisme et le choix d'URBANSIM (rapport n°1) ;

Damien Verry, doctorant, sur les indicateurs de mobilité durable (rapport n°2) ;

Nicolas Morice, doctorant, sur la prospective dans les transports (rapport n°3) ;

Fabrice Marchal, chercheur CNRS, sur l'articulation générale du projet (rapport n°4) ;

Aline Bouvard, François Million, doctorants, sur la localisation des établissements (rapport n°6) ;

Elsa Le Van, postdoctorante, sur l'usage des sols au sein de l'aire urbaine (rapport n°7).

Des personnels de l'**Agence d'Urbanisme de Lyon** nous ont accompagnés durant le projet, même si parfois les rythmes de la recherche ne sont pas ceux de l'agenda des politiques territoriales :

Silvia Rosales, Chargée de Mission, qui a assuré le lien permanent avec le LET, et qui a encadré la thèse de Marius Homocianu en bourse CIFRE à l'Agence.

Olivier Roussel, chef de service, qui nous a fortement appuyés dans le lancement du projet.

Nicolas Pech, chargé d'études, qui nous a secondés sur les réflexions en matière de développement du système de transport lyonnais.

Des étudiants de divers horizons ont également participé au projet SIMBAD à travers leurs mémoires de master ou leurs travaux de fin d'études :

François Gitton, élève ENSAE, pour son travail sur la génération des sorties de domicile ;

Isabelle Gossman, élève ENTPE, qui a exploré les logiques de localisation des établissements ;

Mounia Skalli, élève de l'école Hassania au Maroc, et **Julien Pittion**, élève ENTPE, qui ont travaillé sur le codage du réseau de transports collectif ;

Emmanuel Berne et **Benjamin Saubion**, élèves ENTPE, pour leur première confrontation, l'un avec DAVISUM, l'autre avec URBANSIM ;

Jean-Pascal Lavielle, élève ENTPE, qui a souligné les constances de la structure des heures de pointe à travers les 4 dernières enquêtes ménages déplacements lyonnaises ;

Yifan Shao, étudiant du Master TER Lyon 2, qui a travaillé sur le modèle du prix du foncier ;

Valérie Labiche, élève ENTPE, qui a exploité les enquêtes cordon de 1990 et 2005 pour analyser les trafics d'échange et de transit de l'agglomération lyonnaise.

Julien Harache et **Redouane Khelalef**, élèves TPE dont les réflexions de TFE nous ont aidé à vérifier la cohérence des résultats de Simbad

Enfin, d'autres personnes ont apporté une aide technique importante, qui a permis au projet d'aboutir :

Mark Krivobokov, post doctorant au LET, qui a travaillé avec nous à la découverte d'URBANSIM

Frédéric Orvain, chargé de mission à la société PTV qui nous a aidés lors de la prise en main de DAVISUM, puis nous a accompagnés avec patience dans nos questions de chercheurs...

Philippe Zuccarello de la société Informatique Innovation, coauteur de ce rapport final, pierre angulaire informatique du projet, qui a apporté ses compétences pour l'appropriation d'URBANSIM, l'intégration de FRETURB et le développement des interfaces entre tous les modules.

Que tous soient remerciés.

Sommaire

Sommaire	1
1. Introduction : présentation générale du projet SIMBAD	3
1.1. <i>Tester des politique de transport et d'urbanisme à l'aune du développement durable du système de transport</i>	3
1.2. <i>L'articulation globale du projet</i>	12
2. Prendre en compte les interactions entre Transports et Urbanisme	15
2.1. <i>Présentation générale de la plate-forme URBANSIM</i>	16
2.2. <i>Le choix de la neutralisation du module de développement urbain</i>	23
2.3. <i>Le module de prix de l'immobilier</i>	27
2.4. <i>La localisation résidentielle des ménages</i>	31
2.5. <i>La localisation des activités économiques</i>	38
2.6. <i>Conclusion : des outils URBANSIM qui méritent d'être encore travaillés</i>	52
3. Modéliser les échanges entre les IRIS de l'aire urbaine	53
3.1. <i>FRETURB et les échanges de marchandises en ville</i>	53
3.2. <i>Les échanges liés à la mobilité des résidents</i>	63
3.3. <i>Le trafic de transit et les flux d'échange avec l'extérieur</i>	77
3.4. <i>La répartition heures de pointe / heures creuses pour prendre en compte l'impact de la congestion</i>	81
3.5. <i>Conclusion : une production de matrice d'échanges en vue de l'affectation</i>	87
4. Affecter les trafics sur les réseaux routiers et transports collectifs	89
4.1. <i>Codification du réseau routier : vers une codification automatique ?</i>	90
4.2. <i>Codification du réseau de transports collectifs : vers une codification automatique à partir des données publiques ?</i>	104
4.3. <i>Conclusion : un double usage des résultats de l'affectation</i>	112
5. Conclusion : les pistes de développement	115
5.1. <i>Des premiers résultats</i>	115
5.2. <i>Renforcer les briques, un processus itératif qui se poursuit</i>	116
5.3. <i>Adosser la plate-forme SIMBAD à une analyse sur une longue période</i>	117
5.4. <i>A plus long terme...</i>	119
6. Annexe technique	121
7. Bibliographie	195
Liste des Tableaux	203
Liste des Cartes	205
Liste des Figures	207
Plan détaillé	209

1. Introduction : présentation générale du projet SIMBAD

Montée des préoccupations environnementales locales et inquiétude croissante quant aux effets du réchauffement climatique, contraintes financières fortes, sensibilité des citoyens vis-à-vis du libre accès à la ville... Dans ses différentes dimensions, environnementale, économique et sociale, le thème du développement durable intervient aujourd'hui de manière récurrente dans les discours sur l'avenir des transports.

Les démarches Plans de Déplacements Urbains, réactivées par la loi sur l'air en 1996, la loi d'Orientation sur l'Aménagement et le Développement Durable de 1999 ainsi que la loi Solidarité et Renouvellement Urbain de 2000 insistent toutes largement sur la notion de développement durable, avec l'exigence d'une meilleure prise en compte des problèmes environnementaux qui ne néglige pas pour autant les aspects économiques et sociaux des questions traitées. Or si cette volonté d'un développement de notre société respectueux de ces trois facteurs simultanément ne peut être que louée, il n'existe pas, notamment dans le domaine des transports, d'outil permettant d'évaluer à cette aune les politiques envisagées.

Dans ce contexte, le Laboratoire d'Economie des Transports, en lien avec l'Agence d'Urbanisme de Lyon, a développé un axe de recherche consacré au développement du modèle prospectif SIMBAD (Simuler les Mobilités pour une Agglomération Durable). Conçu à l'échelle du bassin de vie d'une agglomération (les enjeux de la croissance urbaine dépassent largement le cadre des centres-villes), son application a été développée sur le territoire de l'aire urbaine de Lyon (Carte 1). Il veut rendre compte des dimensions environnementales, économiques et sociales des trafics qui s'y réalisent. Ainsi différentes politiques de transport et d'urbanisme peuvent être simulées de manière à envisager leurs conséquences sur ces 3 axes du développement durable et à mieux prendre en compte les liens qui existent entre ces derniers. Par ailleurs, l'idée est de développer un outil d'aide à la réflexion plus qu'un outil d'évaluation des projets. L'approche est donc de type stratégique, permettant de rendre compte des impacts de politiques contrastées à l'échelle de l'agglomération plus que de projets particuliers à une échelle fine.

Cette introduction générale est l'occasion de revenir sur la réflexion qui s'est tenue en première phase du projet sur l'idée de développement durable appliquée au système des mobilités urbaines et l'évaluation des politiques publiques dans ce domaine (§1.1). Elle permet ainsi d'éclairer l'articulation générale du projet SIMBAD et la logique de la présentation qui en est faite dans ce rapport (§1.2)

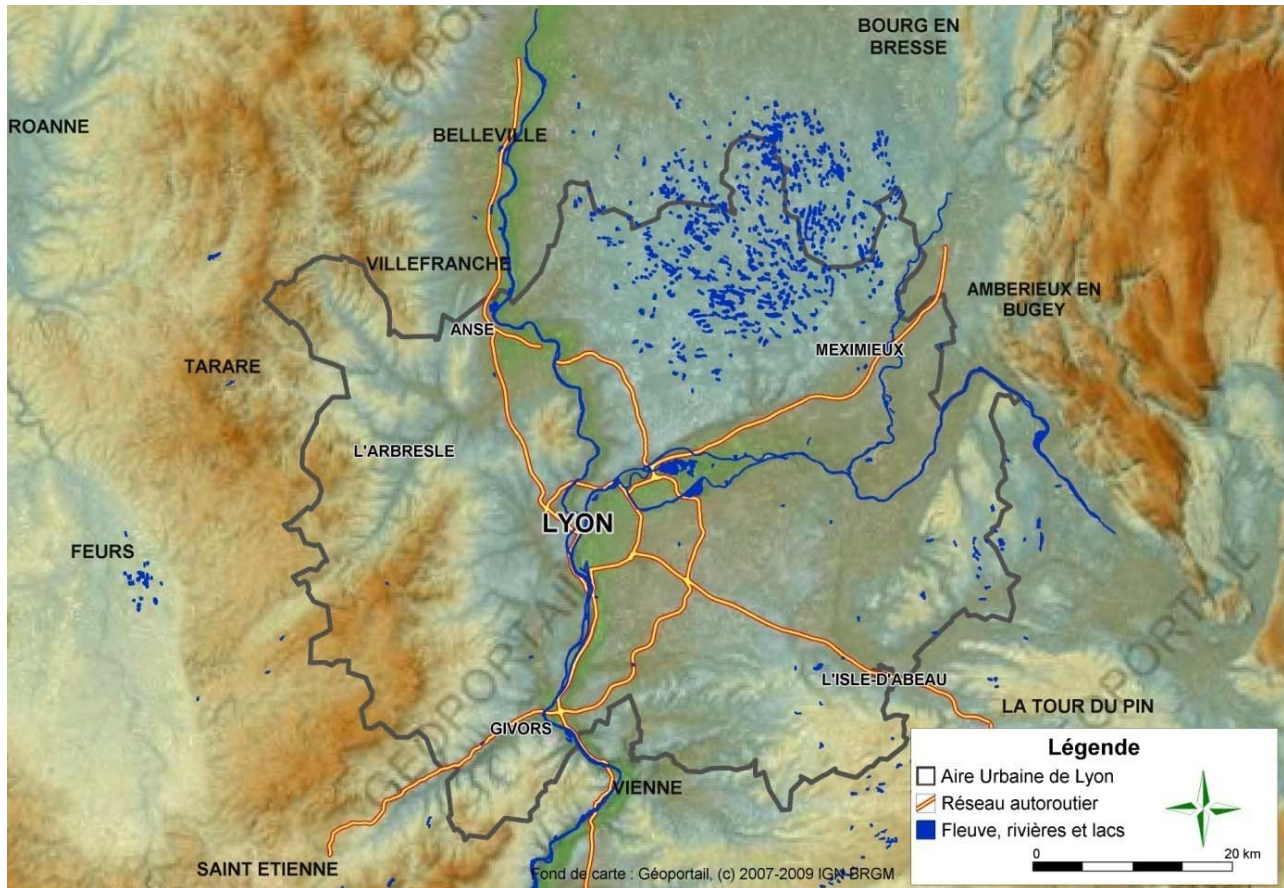
1.1. Tester des politique de transport et d'urbanisme à l'aune du développement durable du système de transport

L'objectif est de disposer d'un outil de simulation des politiques pouvant affecter les trafics urbains pour fournir, *in fine*, un éclairage pertinent sur les impacts économiques, environnementaux et sociaux de ces politiques, au niveau d'une aire urbaine et à un horizon de 25 ans.

Le développement durable reste une notion ouverte qui peut véhiculer des valeurs et porter des projets de société extrêmement différents. De façon générale aujourd'hui, pour qu'une démarche soit reconnue comme relevant d'une préoccupation de développement durable, il faut qu'elle s'attache tout à la fois à articuler court et long terme, local et global, ainsi qu'à prendre en compte simultanément les dimensions économique, sociale et environnementale de la question qu'elle traite (voir par exemple Theys, 2000). D'autres acceptions existent, souvent plus centrées sur une dimension particulière, mais nous nous arrêterons sur celle-ci, qui nous apparaît tout à la fois comme la plus ouverte et la plus en phase avec les préoccupations émergentes de notre époque

(Verry, Nicolas, 2005). Dans le cadre de ce projet, nous retenons donc une approche relativement ouverte du développement durable. L'ambition est d'abord de montrer que d'un point de vue opérationnel, pour juger des conséquences à long terme d'une politique de transports urbains, il est possible de disposer d'un outil analytique qui reprenne de manière cohérente des indicateurs économiques, environnementaux et sociaux.

Carte 1 : L'aire urbaine de Lyon comme territoire d'application de SIMBAD



Source : à partir de Géoportail © 2007-2009 IGN-BRGM

L'idée est également de souligner qu'à ce niveau de l'analyse les résultats obtenus dans chaque dimension sont en partie irréductibles les uns aux autres. La nécessaire prise de décision qui tranche pour une option plutôt qu'une autre, quelle que soit la procédure sur laquelle elle repose (prise de responsabilité d'une seule personne, débat public, calcul technico-économique, etc.), assume à un moment ou à un autre, un, voire plusieurs sauts logiques qui lui permettent d'agrégier et de comparer les résultats de chaque scénario. Le rôle de l'outil que nous proposons ici est de fournir un spectre large pour éclairer ce choix, ainsi que de montrer les éventuelles synergies et contradictions que les évolutions de mobilité peuvent avoir sur ces trois dimensions.

Par contre, en l'état actuel du projet, nous ne proposons pas une vision normative du développement durable. L'idée n'est pas de mettre en avant un modèle de développement urbain idéal à comparer aux résultats des simulations, ni d'établir des niveaux seuil à ne pas dépasser, que ce soient des niveaux d'émissions globaux ou par kilomètre parcouru, des coûts de la mobilité pour l'agglomération ou pour les habitants, etc. Là encore, nous nous situons en amont du traditionnel débat entre soutenabilité faible et soutenabilité forte pour nous focaliser sur l'éclairage et la compréhension des processus qui amènent aux évolutions que nous mesurerons dans chaque dimension, économique, environnementale et sociale.

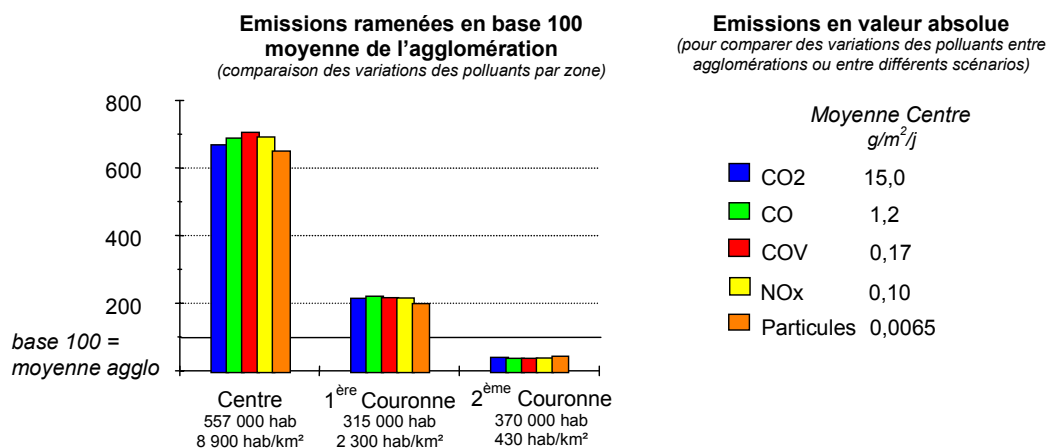
Nous n'envisageons donc pas, avec cet outil, de prédire si tel scénario de politique de restriction de l'automobile en centre ville est durable ou que tel scénario d'étalement urbain ne l'est pas... Tout au plus pourrions-nous dire qu'à l'aune du développement durable, telle politique paraît plus intéressante que telle autre si les indicateurs retenus se trouvent systématiquement mieux orientés pour la première que pour la seconde. L'intérêt du modèle repose donc bien plus sur sa capacité à ouvrir le champ de l'évaluation et à fournir une compréhension des dynamiques sous-jacentes qu'à hiérarchiser différentes situations. Il est conçu à partir d'une logique analytique plus que prescriptive, pour apporter sa pierre au débat, non pour le trancher.

Notre problématique de modélisation de la mobilité urbaine se décline naturellement tout au long des points forts de cette définition, qui conçoit d'abord le développement durable comme une manière d'appréhender les problèmes, sans forcément préjuger des types de solutions à retenir. Ces trois exigences d'articulation du local et du global, du court et du long terme, et de la prise en compte simultanée des questions environnementales, économiques et sociales, sont donc reprises ci-dessous pour aider à préciser les objectifs et le champ d'étude du projet SIMBAD.

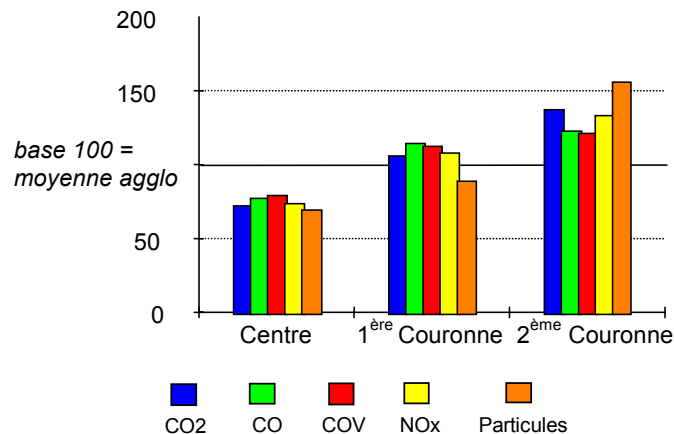
1.1.1. L'aire urbaine, à l'articulation des enjeux locaux et globaux des mobilités urbaines

De fait, les enjeux locaux liés aux trafics concernent d'abord les centres-villes, où les émissions des transports par unité de surface sont environ 15 fois plus importantes dans le centre qu'en périphérie (Cf. par exemple Gallez, 1995, sur Paris, ou Nicolas et al., 2001, sur le cas de l'agglomération lyonnaise) comme l'illustre la Figure 1. Par contre, les enjeux globaux, et notamment l'effet de serre, sont d'abord concernés par la croissance des trafics routiers en périphérie, liée à l'étalement urbain, à l'accroissement de la longueur des déplacements et à leur transfert sur la voiture. A ce niveau, c'est bien l'aire urbaine qui constitue le niveau pertinent, plus que le centre ou le périmètre restreint d'une Communauté Urbaine (Figure 2).

Figure 1 : Taux d'émissions au m² dans les différentes zones concentriques de l'agglomération



Source : Nicolas et al. (2001) à partir de l'enquête ménages déplacements de Lyon 1995

Figure 2 : Niveaux d'émissions par personne et par jour suivant sa zone de résidence

Source : Nicolas et al. (2001) à partir de l'enquête ménages déplacements de Lyon 1995

Le choix retenu dans le projet SIMBAD pour prendre en compte correctement cette tension entre enjeux locaux et globaux a été de travailler sur le périmètre d'une aire urbaine qui permette d'envisager de manière convenable les questions d'étalement urbain et leurs conséquences sur les consommations d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre liées aux mobilités qui s'exercent sur un tel territoire.

Soulignons cependant que si SIMBAD traite de la mobilité de semaine sur une aire urbaine, cela ne correspond pas forcément à la mobilité totale des urbains qui pose, en matière d'enjeux globaux, d'autres questions auxquelles nous ne répondrons pas. Par exemple, la logique des déplacements à longue distance et de loisirs est bien analysée par Orfeuil et Soleyret (2002). A partir de la base statistique utilisée par ces auteurs (l'Enquête Nationale Transport de 1994), on peut ainsi montrer que les déplacements locaux réalisés à moins de 80 km du domicile, représentaient 99% des déplacements en France en 1994, mais n'étaient à l'origine « que » de 60% des émissions de CO₂. De même les perspectives d'un chercheur comme Schafer (2000) soulignent bien l'enjeu, pour les pays occidentaux, de la croissance du trafic aérien et des modes à grande vitesse en matière d'émissions de CO₂. Les déplacements à longue distance, moins fréquents mais beaucoup plus consommateurs d'énergie fossile et émetteurs de CO₂, représentent donc un enjeu important que SIMBAD ne prétend pas couvrir.

1.1.2. Etablir un pont entre le court et le long terme

Comment articuler court et long terme, comment prendre en compte les intérêts des générations actuelles et futures avec des choix balancés qui ne se fassent pas au détriment flagrant des uns ou des autres ? Pour répondre à une telle question, il faut d'abord se doter d'un outil qui permette de faire le lien entre les deux. Pour cela, trois choix ont été faits, concernant la nécessité d'intégrer les interactions entre transports et urbanisme, l'horizon de simulation (25 ans) et la démarche prospective adoptée.

1.1.2.1. Mieux prendre en compte les interactions entre transports et urbanisme

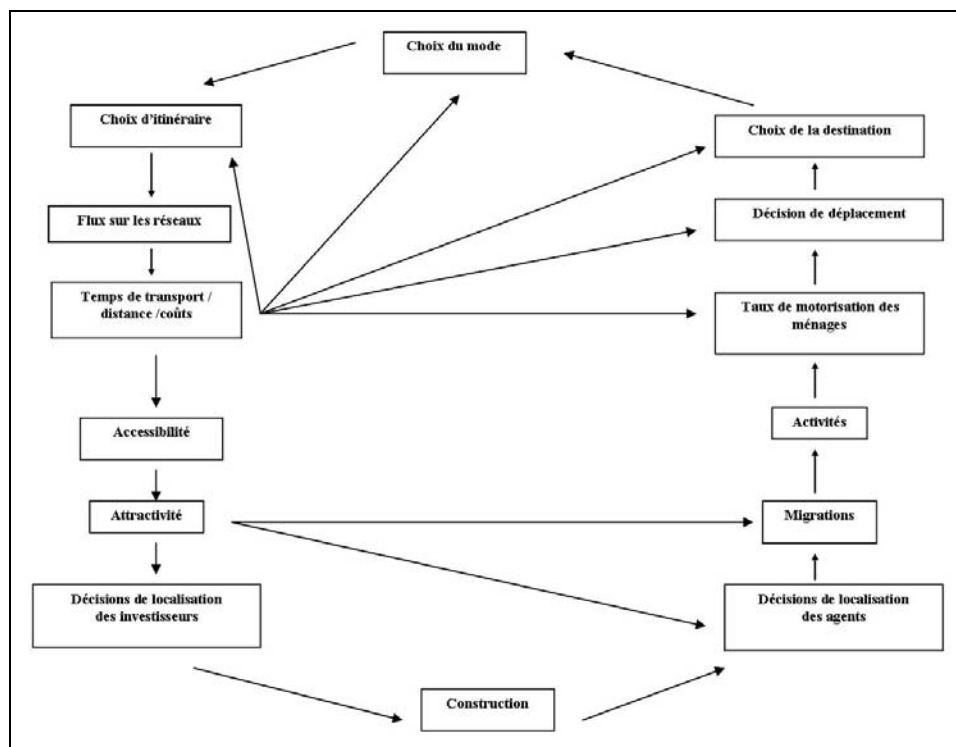
Les travaux du projet TELESOPAGE, menés au LET dans les années 90, concluaient à la nécessité d'intégrer les liens entre transport et urbanisme pour modéliser correctement les évolutions à long terme d'un système de transport urbain (Cabanne et al., 2000). En se plaçant dans le prolongement de cette recherche, SIMBAD se devait de prendre en compte cette thématique.

Concernant les interactions entre transport et urbanisme, Wegener (1994) distingue ainsi huit sous-systèmes, les réseaux, le mode d'occupation des sols, les lieux d'emploi, les lieux de résidence, l'emploi, la population, le transport de marchandises et les déplacements de personnes (Figure 3).

Ils lui permettent ensuite d'insister sur les dynamiques temporelles différenciées qui sont en jeu dans leurs interactions, entre les adaptations à court terme des mobilités et les évolutions à long terme de l'occupation du territoire (Wegener, Fürst, 1999) :

- ✓ Changement très lent : *réseaux, occupation des sols*. Le transport urbain, les réseaux de communications et d'utilité sont les éléments les plus permanents de la structure physique des villes. Les grands projets d'infrastructure nécessitent une décennie voire plus et une fois en place, ils sont rarement abandonnés. La distribution de l'occupation des sols est également stable ; elle change seulement de façon résiduelle.
- ✓ Changement lent : *lieux d'emplois, logements*. Les logements ont une durée de vie supérieure à un siècle et leur construction prend plusieurs années. Les lieux d'emplois (bureaux, usines, centre commerciaux, etc.) existent plus longtemps que les entreprises ou les institutions qui les occupent.
- ✓ Changement rapide : *emploi, population*. Les entreprises s'établissent, se ferment, se délocalisent, etc., et par conséquent créent de nouveaux emplois ou bien affectent l'emploi. Les ménages, en fonction de leur cycle de vie, ajustent leur consommation de logement et leur motorisation ; ce qui détermine la distribution de la population et des propriétaires de voiture individuelle.
- ✓ Changement immédiat : *les biens transports, déplacements*. La localisation des activités dans l'espace donne lieu à une demande d'interaction spatiale sous la forme de biens transport ou de déplacements. Ces interactions sont le phénomène le plus flexible du développement spatial urbain ; elles peuvent s'ajuster à la minute ou à l'heure aux changements de la congestion ou aux fluctuations dans la demande bien qu'en réalité les ajustements puissent être retardés par des habitudes, etc.

Figure 3 : « Boucle de rétroaction » transport-urbanisation



Source : Wegener, Fürst, 1999

C'est la plateforme de modélisation URBANSIM qui a été finalement retenue pour prendre en compte ces interactions dans le projet SIMBAD (Nicolas, Deymier, 2005). Ceci sera développé dans la section 2.

1.1.2.2. La démarche prospective : évolutions du contexte et simulation des politiques urbaines

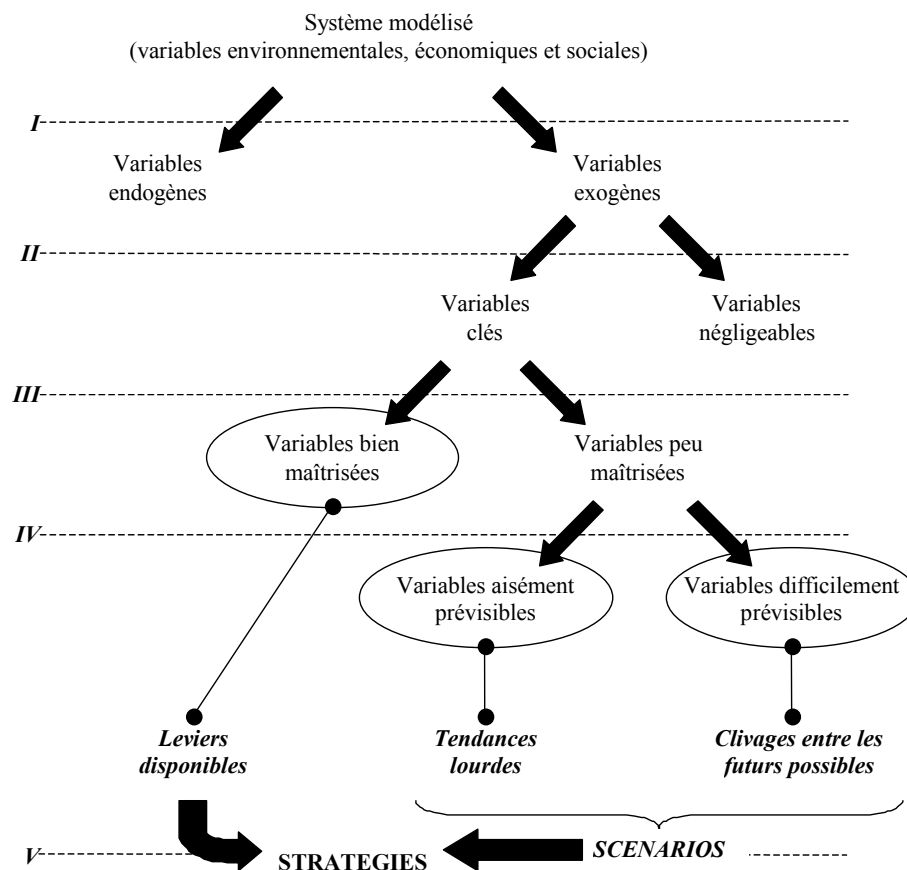
Prospective n'est pas prévision. L'exercice proposé dans *SIMBAD* n'est pas d'annoncer ce que seront les trafics sur l'aire urbaine de Lyon en 2025, ni de prédire les coûts ou le niveau de pollution générés par les transports à cet horizon. Son objectif reste plus modeste : compte tenu de nos connaissances des liens entre les différents facteurs qui conditionnent les mobilités, comment peut-on penser l'évolution des trafics suivant diverses hypothèses de transformation du contexte général, et quelles politiques peuvent accompagner ou modifier ces évolutions ? Tout l'enjeu de la prospective est d'éclairer au mieux cette réflexion stratégique.

Pour construire les scénarios prospectifs, 3 catégories de variables ont été distinguées (Figure 4) :

- ✓ *les leviers disponibles* : variables dont l'évolution est influençable par la puissance publique ;
- ✓ *les tendances lourdes* : variables dont l'évolution n'est pas influençable, mais supposée prévisible ;
- ✓ *les clivages entre futurs possibles* : variables dont l'évolution n'est pas influençable, ni prévisible.

L'idée est donc de définir des scénarios d'évolution générale du contexte à partir des tendances lourdes et des sources de clivage, et de s'interroger sur l'impact des politiques imaginées et mises en œuvre pour agir sur le système de transport (telles qu'elles ont pu être réfléchies et organisées lors des réflexions prospectives du groupe de Batz par exemple). Le modèle a été conçu pour pouvoir travailler dans cet esprit. Des scénarios prospectifs et des politiques publiques ont été préparées, qui sont présentés le rapport *SIMBAD* consacré à cette question de la prospective (Nicolas, Morice, 2006).

Figure 4 : Processus de sélection des variables pour la construction de scénarios prospectifs



Source : Nicolas et Morice, 2006, à partir de Plassard, 2003

1.1.2.3. Un horizon de 25 ans

Enfin, c'est un horizon de 25 ans qui a finalement été retenu pour cette démarche prospective. Plusieurs arguments ont poussé à cet horizon temporel, qui peut apparaître relativement court dans une approche en termes de développement durable :

- ✓ Une contrainte méthodologique tout d'abord. Même si l'intégration des interactions entre transports et urbanisme peut améliorer la prospective, il nous semble peu raisonnable d'aller trop loin dans les projections, au risque de ne plus maîtriser les limites de la modélisation.
- ✓ Un objectif d'aide aux politiques publiques locales dans le domaine des transports et de l'urbanisme, pour lesquelles un horizon de 20 à 30 ans apparaît comme une limite pour réfléchir et programmer la planification.

Il existe d'autres travaux sur le long terme, voir le très long terme, basés sur d'autres types d'approches (Bagard, 2008). Mais ils ne sont pas conçus pour répondre aux questions que peuvent se poser les collectivités locales qui voudraient évaluer a priori la mise en œuvre d'une politique de transports et d'urbanisme particulière.

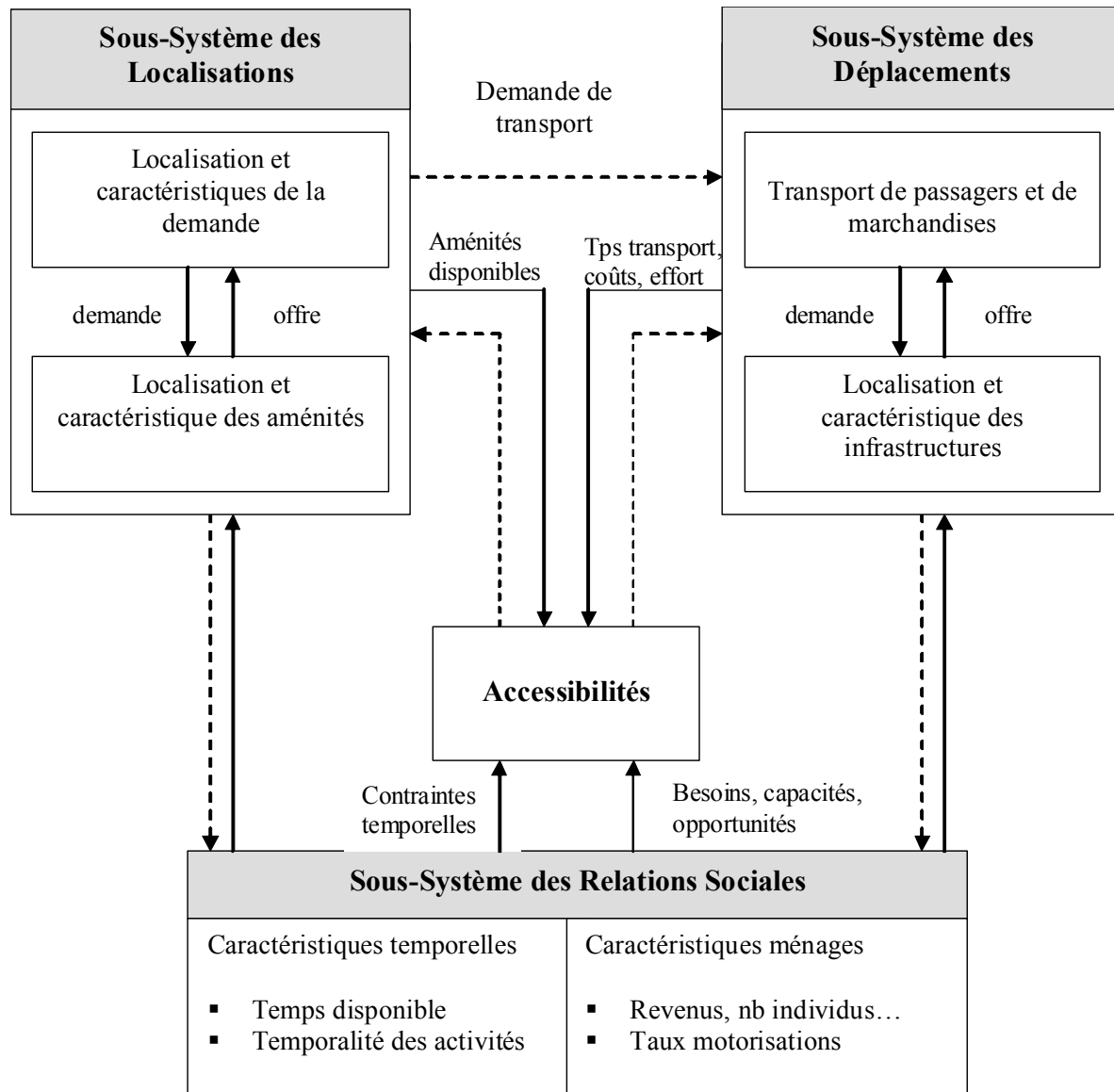
1.1.3. Croiser l'économie, l'environnemental et le social

Une autre dimension traditionnelle de la notion de développement durable concerne l'articulation des problèmes économiques, environnementaux et sociaux. De nombreuses initiatives visant à caractériser la durabilité des systèmes de transports sont apparues ces dix dernières années reflétant ainsi l'importance donnée à ce secteur dans la problématique du développement durable. Ces initiatives se différencient aussi bien par leur nature, administrative ou experte voire académique que par les objectifs poursuivis : évaluation de politique publique, outils d'aide à la décision, information du public, mise en place de processus participatifs. Néanmoins, dans leur grande majorité, elles s'accordent sur le fait que dans le même temps les systèmes de transport fournissent un service vital et produisent des impacts environnementaux, mais aussi sociaux et économiques, négatifs et insuffisamment pris en compte. La problématique de la mobilité durable désigne en raccourci tout ce qui est en jeu dans les tentatives que l'on fait de nos jours pour rééquilibrer les coûts et les avantages dans le secteur des transports (Nicolas et al., 2001 ; Giorgi, 2003).

Dans ce cadre, la réflexion menée pour mettre en œuvre des indicateurs de mobilité durable dans SIMBAD (Verry, Nicolas, 2005) repose sur la représentation des interactions entre transport-urbanisme en trois systèmes de localisation, de déplacements et de pratiques sociales, telle qu'elle a été proposée par Bonnafous et Puel (1983) :

- ✓ le sous-système de localisations renvoie aux différents usages du sol et à leur inscription dans l'espace ;
- ✓ le sous-système des déplacements est constitué d'une part des flux de personnes et de marchandises et d'autre part du système de transport qui permet physiquement l'expression de cette mobilité ;
- ✓ le sous-système des pratiques et relations sociales, dans lequel s'inscrivent les activités de la vie quotidienne, est lié au mode de fonctionnement de la société.

Le sous-système des déplacements est privilégié dans SIMBAD, puisque ce sont ses impacts qui sont évalués. Cependant, ce sous-système ne peut être saisi dans sa dynamique et ses évolutions à long terme qu'à travers ses interactions avec les deux autres sous-systèmes. La notion clé marquant cette interaction est celle d'accessibilité, qui caractérise le service rendu par un système de déplacements dans une configuration spatiale et sociale donnée (voir par exemple, Masson, 2000). Par exemple, l'amélioration de l'accessibilité constitue un des objectifs prioritaires de toutes politiques de transport. Elle est complexe à caractériser puisqu'elle mêle des aspects liés à l'espace, au temps, à la localisation des activités, aux systèmes de transport et aux pratiques sociales. La relation entre l'accessibilité et les trois composantes du système urbain peut être représentée par le schéma ci-dessous (Figure 5).

Figure 5 : Le système transport-urbanisme à travers le concept d'accessibilité

Source : Verry et Nicolas, 2005, adapté de Geurs et Ritsema Van Eck, 2001

Les indicateurs concernent donc les services rendus et les coûts et nuisances des déplacements réalisés au sein de l'aire urbaine, avec une déclinaison selon trois dimensions, économique, environnementale et sociale.

Côté services rendus, l'accessibilité a été retenue comme notion centrale.

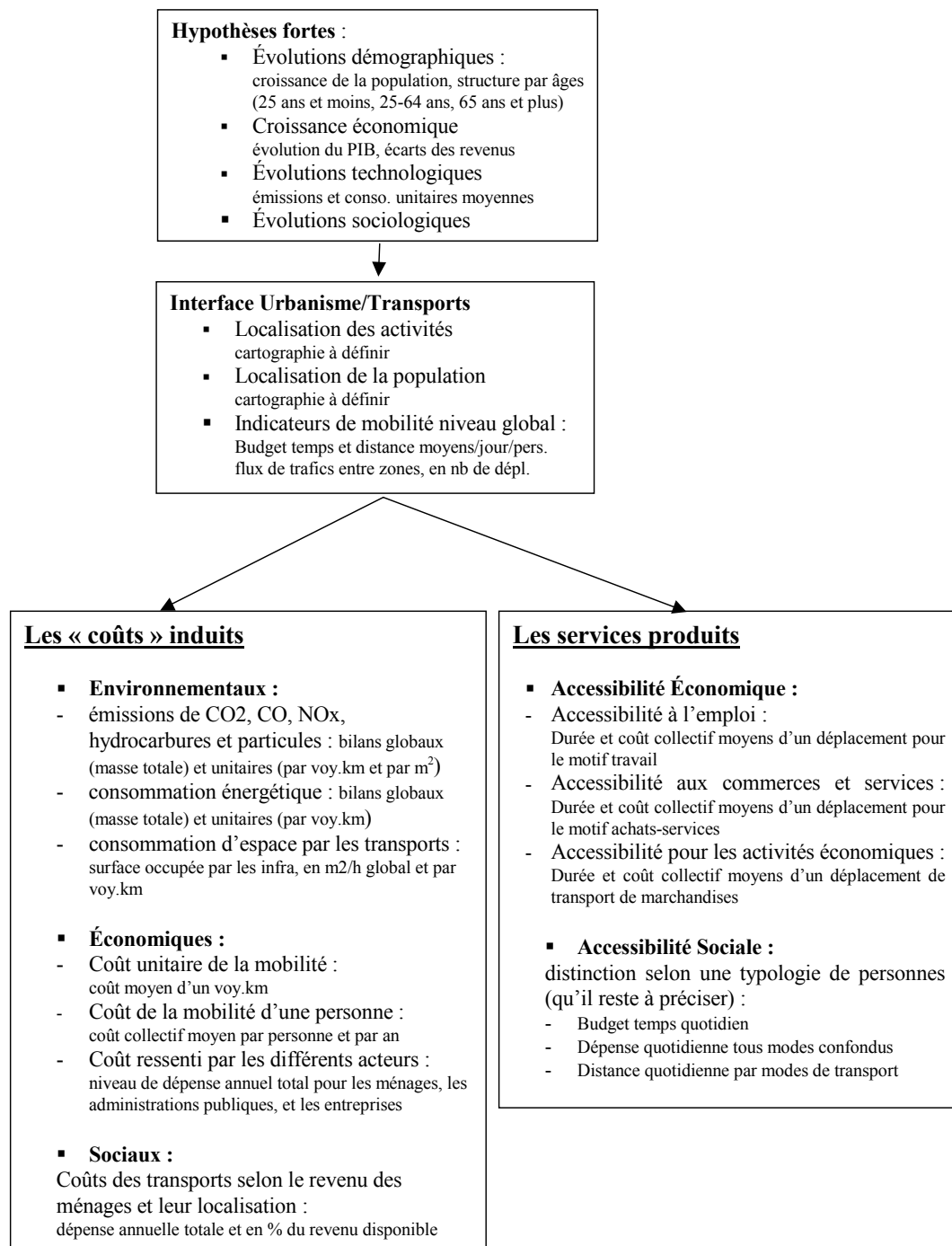
- ✓ L'accessibilité économique, autrement dit de l'efficacité d'ensemble du système des déplacements sur l'aire urbaine, est mesurée ici en reprenant le modèle prix-temps traditionnel de l'économie des transports et en mesurant les budgets-temps et les budgets monétaires moyens pour accéder à deux types d'activité, l'emploi d'une part et les commerces et services d'autre part. Combien de temps faut-il en moyenne sur l'aire urbaine pour atteindre son lieu de travail, et quel coût collectif implique-t-il ? Même question pour l'accès aux commerces et aux services.
- ✓ La dimension sociale de l'accessibilité se mesure selon la même logique prix-temps, mais en décomposant l'ensemble de la population en plusieurs catégories qui seront établies selon la localisation et le revenu des personnes. Les travaux précédents sur les indicateurs de mobilité durable dans l'agglomération lyonnaise (Nicolas et al., 2001) et la typologie alors mise en évidence ont servi de référence ici. Pour chaque groupe le budget-temps et le coût moyen d'un déplacement, tous motifs confondus, sont mesurés.

- ✓ D'un point de vue environnemental, les services rendus par le système de déplacements sont nuls, ce sont ses impacts négatifs qui doivent être représentés.

En matière de coûts induits, les indicateurs de mobilité durable déjà établis lors de nos travaux à partir de l'enquête-ménages déplacements de Lyon ont servi de base (Nicolas et al., 2001) et se retrouvent dans le cadre général proposé dans la Figure 6.

Enfin, en amont de ces indicateurs mettant en balance services rendus et coûts induits, quelques indicateurs synthétiques permettent de caractériser le contexte général dans lequel ils ont été calculés. Ceci concerne d'une part les hypothèses générales d'évolution de la société (évolutions démographique, économique, technologique, et des modes de vie) et d'autre part les grandes résultantes du modèle concernant l'interface entre transports et urbanisme (localisation des activités et de la population, indicateurs de mobilité globaux).

Figure 6 : Les indicateurs caractérisant les coûts et les services du système

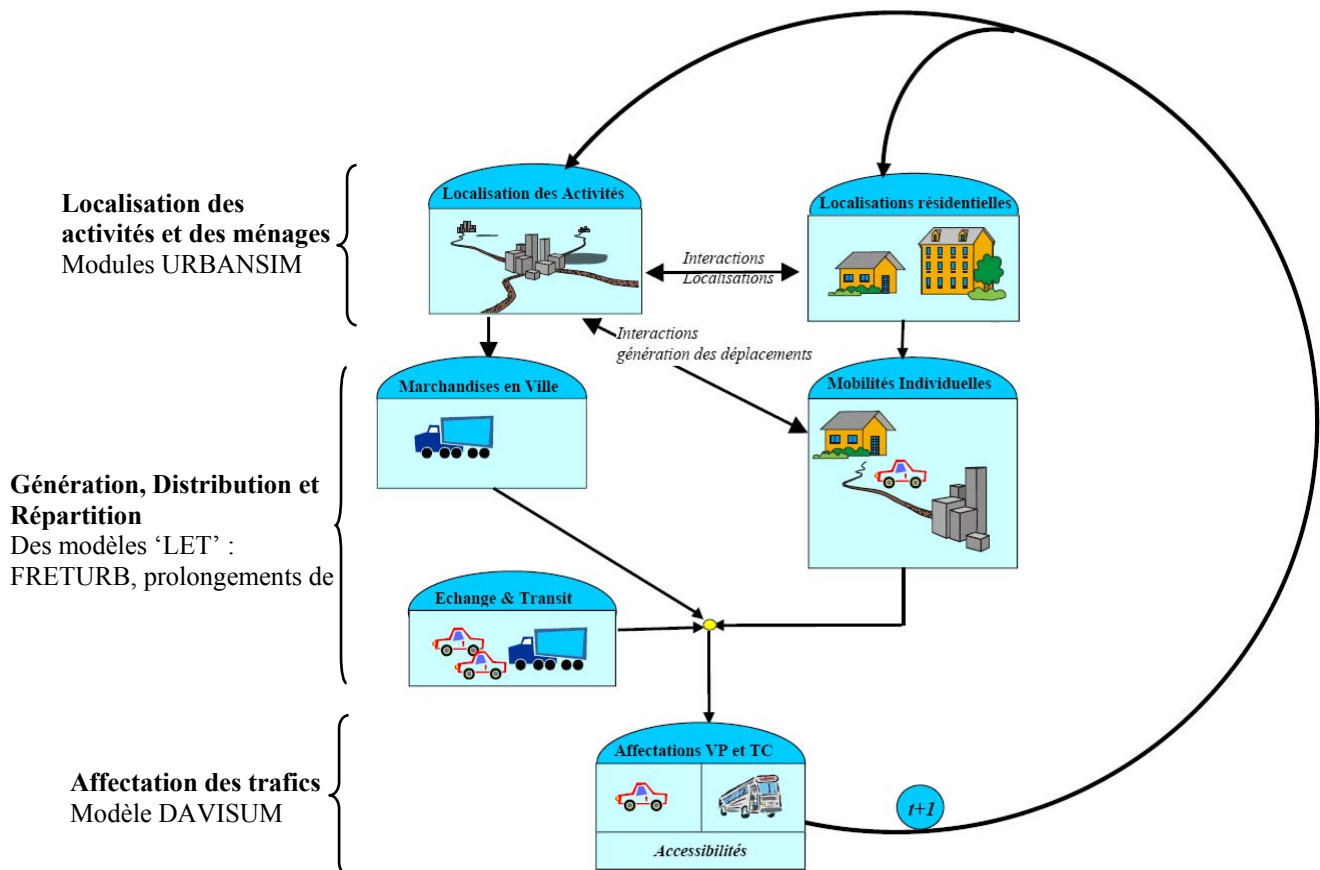


Source : Verry et Nicolas, 2005

1.2. L'articulation globale du projet

Pour répondre à cet objectif de mesure de l'évolution de ces indicateurs, SIMBAD a été conçu pour enchaîner plusieurs grandes étapes de modélisation « localisation des ménages et des établissements » $\Rightarrow$ « mobilités » $\Rightarrow$ « affectation du trafic » qui se bouclent sur 25 pas d'un an (Nicolas et al., 2007 ; voir Figure 7).

Figure 7 : L'architecture du projet SIMBAD



Source : Nicolas, 2007

1. A la période initiale, les localisations des activités et des ménages 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 :
 - ✓ Une suite de modules prend en compte la mobilité des personnes en suivant une logique traditionnelle, avec la génération des déplacements, leur distribution entre les zones du territoire considéré, leurs répartitions modale puis horaire.
 - ✓ Un travail spécifique est réalisé pour les transports de marchandises en ville.
 - ✓ Enfin, 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.
3. Les matrices origines-destinations établies par ces différents modules sont ensuite rassemblées par type de réseau et période horaire pour lancer les calculs de l'affectation. Ceux-ci permettent de déterminer les temps généralisés entre toutes les zones de l'aire urbaine de Lyon.

4. Enfin, ces temps généralisés permettent d'établir des indicateurs d'accessibilité qui sont utilisés dans les modules de localisation des ménages et des activités.

Plusieurs choix ont été faits au niveau des outils utilisés pour réaliser cet agencement. La plateforme URBANSIM a été privilégiée pour la modélisation des localisations des ménages et des activités. DAVISUM a été retenu pour l'affectation des trafics sur les réseaux, voirie comme transports collectifs. La modélisation traditionnelle à 4 étapes a été retenue pour la construction du modèle de transport des personnes. Enfin, les trafics liés aux marchandises sont pris en compte par le modèle FRETURB (Routhier et al., 2001 ; Toilier et al., 2005).

La modélisation des mobilités individuelles prolonge les travaux réalisés dans le cadre du projet TELESCOPAGE (Cabanne et al., 2000), même si des innovations ont été introduites :

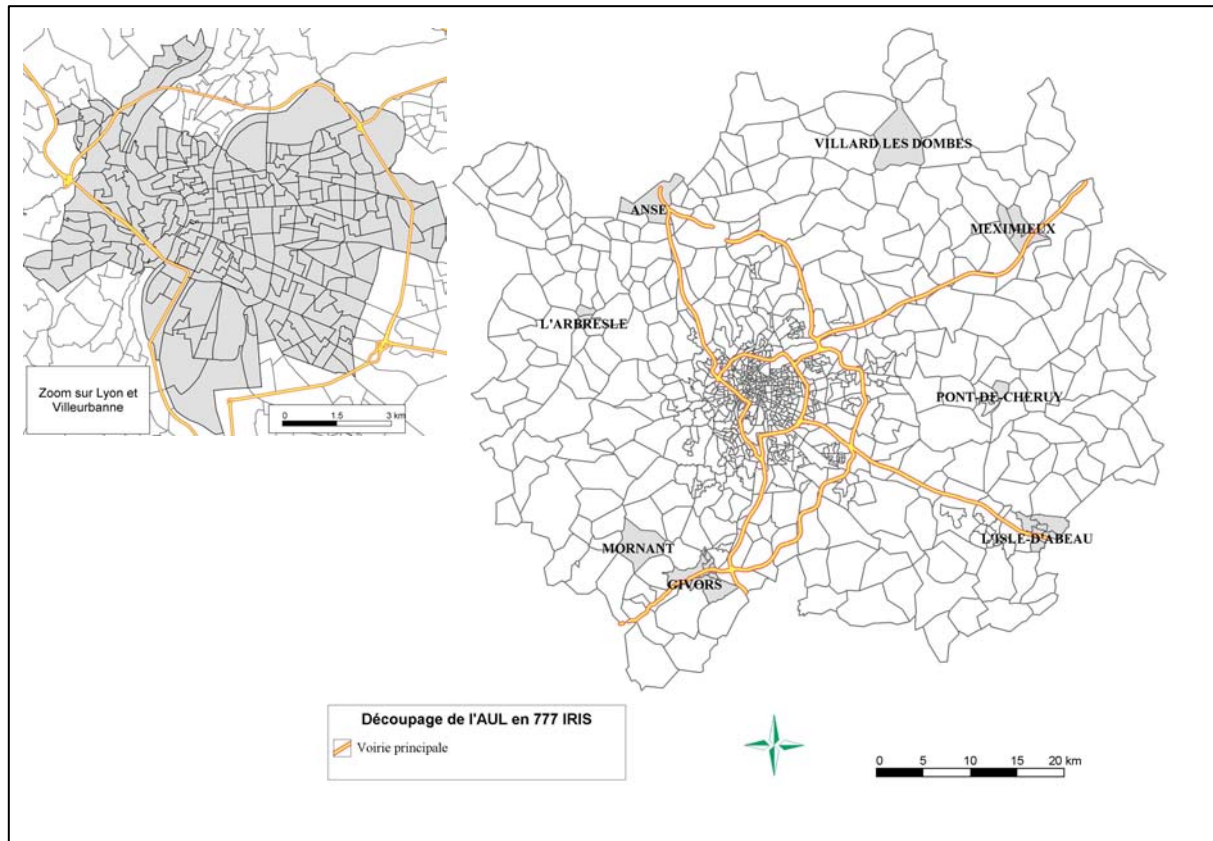
- ✓ La phase de génération est basée sur une microsimulation aléatoire des comportements de mobilité par classes d'individus ;
- ✓ Ce ne sont pas les déplacements, mais les sorties du domicile qui sont modélisées ;
- ✓ Enfin, cette chaîne transport est utilisée trois fois pour distinguer les individus en fonction de leur revenu, modeste, médian ou aisé. Les différentes matrices origine-destination ainsi générées peuvent ensuite être affectées séparément grâce à une procédure multi-classes sous DAVISUM, permettant de suivre l'évolution des mobilités selon les revenus, leurs coûts et les distances parcourues, répondant ainsi aux objectifs de la dimension sociale de SIMBAD.

Ces différents choix seront argumentés au fil du rapport, au moment de la présentation des différents modules concernés.

L'aire urbaine de Lyon a été retenue comme territoire pertinent pour saisir les logiques de développement urbain et les mobilités qu'elles entraînent (voir §1.1.1). L'année 1999 sert de date de référence car de nombreuses informations issues du recensement général de la population de l'INSEE permettent de décrire finement l'aire urbaine. Des données économiques sur la localisation des établissements issues des fichiers SIRENE sont également disponibles. Toutes ces données peuvent être exploitées au niveau fin de l'IRIS¹, qui a été retenu comme unité spatiale de base pour SIMBAD (Carte 2).

Concernant les mobilités, les enquêtes ménages déplacements de 1995 et 2006 encadrent cette date. Une description fine des réseaux peut être constituée à partir des fichiers GéoRoute (IGN) et Navteq de 1999.

¹ Un IRIS (Îlots Regroupés pour l'Information Statistique) forme un « petit quartier » qui se définit comme un ensemble d'îlots contigus qui sert de base pour la diffusion du recensement. La population des IRIS-2000 est comprise entre 1800 et 5000 habitants. Toutes les communes de plus de 10 000 habitants et la plupart des communes 5 000 à 10 000 habitants sont découpées en IRIS. Dans les autres cas la commune sert d'unité statistique.

Carte 2 : Les 777 IRIS de l'aire urbaine de Lyon

Source : traitement LET, à partir des Iris-2000 INSEE

La présentation du rapport reprend les principales étapes que la plate-forme SIMBAD enchaîne :

- ✓ Un premier chapitre est consacré aux interactions entre transports et urbanisme, au choix d'URBANSIM comme outil principal pour les représenter (§2.1) et aux déclinaisons que cela a entraînées en matière de modélisation du développement urbain (module neutralisé pour l'instant, §2.2.), du calcul des prix de l'immobilier (§2.3.) et de représentation des logiques de localisation des activités économiques (§2.4.) et des ménages (§2.5.).
- ✓ Le chapitre suivant se penche sur les premières étapes de modélisation des déplacements que les localisations des activités et des ménages permettent d'envisager. Nous évoquons successivement le cas du transport des marchandises à l'aide du modèle FRETURB (§3.1.), celui des déplacements des résidents de l'aire urbaine (§3.2.) et celui des trafics d'échange et de transit (§3.3.). Une dernière partie indique comment les matrices origines-destinations, produites à la journée, sont éclatées entre heures de pointe et heures creuses (§3.4.).
- ✓ Le dernier chapitre s'attache à décrire la méthodologie développée pour représenter les réseaux de voirie (§4.1.) et de transports collectifs (§4.2.), permettant de réaliser la phase d'affectation et d'estimer les temps généralisés qui alimentent en retour les modules d'URBANSIM.
- ✓ Enfin, la partie conclusive présente les premiers résultats appliqués à deux cas extrêmes de développement urbain (étalement continu et croissance polarisée). Elle permet également de faire un bilan d'ensemble et de proposer les pistes de développement immédiates et celles envisagées à plus long terme.

2. Prendre en compte les interactions entre Transports et Urbanisme

La modélisation des déplacements urbains nécessite une prise en compte des interactions entre transports et urbanisme si on veut qu'elle puisse s'intégrer dans une réflexion stratégique de long terme. Cette perspective est aujourd'hui bien intégrée par le Programme de Recherche et d'Innovation dans les Transports Terrestres, qui a financé plusieurs recherches sur ce thème ces dernières années, comme en témoigne le Tableau 1 ci-dessous.

Tableau 1 : La prise en compte des interactions transport-urbanisme dans les projets de modélisation du PREDIT 3

	Développement urbain	Localisations	Mobilité	Affectation du trafic
SIMBAD	Hypothèses externes	Modèles de choix discrets-URBANSIM	Modèle à 4 étapes Développements propres+FretUrb	DAVISUM
SIMAUURIF	Modèles de choix discrets-URBANSIM	Modèles de choix discrets-URBANSIM	Modèle à 4 étapes	DAVISUM
ILOT		Multi agents		
MOBISIM	Automates cellulaires	Multi agents	Modèle à 4 étapes	
MUP-City	Fractales			
DYNACITE	Dynamique des systèmes	Dynamique des systèmes		
MIRO			Multi agents	
FRETURB			Segmentée à désagrégée	

Source : LET, à partir du séminaire « Modélisation » du 19/12/08 du PREDIT

Comme l'indique également ce tableau, il y a deux questions bien distinctes à traiter concernant d'une part la modélisation de l'étalement urbain et de l'évolution de l'usage des sols, et d'autre part celle de la localisation des ménages et des activités économiques sur les territoires qui leurs sont disponibles. Et, pour chacune de ces deux questions, plusieurs approches différentes sont possibles, avec des outils théoriques et méthodologiques bien distincts.

L'objectif de ce chapitre est d'exposer la manière dont ces interactions entre transports et urbanisme ont été abordées dans le projet SIMBAD.

Une première partie décrit la plate-forme URBANSIM qui a finalement été retenue dans notre projet. Elle propose tout d'abord un état de l'art sur la question, pour mettre en perspective notre choix (§2.1.1). Elle présente ensuite l'articulation des principaux modules qui compose cette plate-forme (§2.1.2), avant de revenir sur la modélisation des choix discrets qui a été l'approche privilégiée par ses concepteurs (§2.1.3).

Nous présentons ensuite la manière dont les différents modules d'URBANSIM sont traités dans SIMBAD : tout d'abord, le choix qui a été fait de neutraliser le module portant sur l'évolution de l'usage des sols est justifié (§2.2), puis le calage des autres modules est exposé, tant concernant la modélisation des prix de l'immobilier (§2.3) que celle de la localisation des ménages (§2.4) et des établissements (§2.5).

2.1. Présentation générale de la plate-forme URBANSIM

2.1.1. Le choix de la plate-forme URBANSIM

De nombreux travaux proposent un état de l'art de la modélisation des interactions entre transports et urbanisme (Wegener, Fürst, 1999; Simmonds et al., 1999; Wegener 2000 ; Waddell et al., 2001, Hunt et al., 2005). Nous reprenons ici rapidement une synthèse des différentes familles de modèles existantes, avec les soubassements théoriques qui les sous-tendent, avant de montrer la logique qui nous a poussés au choix de la plate forme de modélisation OPUS-URBANSIM

Les premiers modèles de transport / urbanisation recensés au début du siècle précédent sont assez descriptifs ou analytiques. Parmi les plus influents, on trouve le modèle de Von Thünen qui a cherché à expliquer la localisation des activités agricoles autour des villes en considérant que le seul facteur de structuration de l'espace est constitué par la distance des terres au marché urbain. Burgess a développé, au milieu des années 20, un modèle fondé sur la théorie des zones concentriques et Hoyt (1939) a construit un modèle basé sur des processus à structure radiale qui délimitent des secteurs particuliers en forme de cône². Bien que dans la majorité des cas, ces modèles n'apportent que de faibles justifications théoriques ou se trouvent dépassés et limités pour décrire la situation des villes actuelles, ils ont fourni un cadre environnemental de simulation urbaine important et une base solide sur laquelle peuvent s'appuyer les travaux les plus récents dans ce domaine. Le facteur important de différenciation entre les modèles descriptifs ou analytiques et les modèles d'interactions, est que les premiers expliquent comment les phénomènes urbains émergent, mais généralement ils occultent la question de savoir pourquoi ces configurations se matérialisent.

Depuis le modèle de Lowry (1964), de nombreux modèles d'interaction entre transport et urbanisme se sont développés. Ils sont très diversifiés, tant du point de vue des soubassements théoriques sur lesquels ils s'appuient, que des techniques de modélisation qu'ils emploient. La théorie de la base et la théorie de la rente urbaine constituent sans doute deux des approches les plus fécondes en la matière. Elles ont ensuite pu être enrichies par des outils conceptuels et méthodologiques qui ont assuré le développement de la recherche sur ce champ de la modélisation. Par ailleurs, un modèle peut combiner différentes approches théoriques et différents outils comme l'illustre le schéma ci-dessous (Figure 8) proposé par Waddell (2005).

Dans la **théorie de la base**, les activités économiques d'une aire urbaine sont distinguées en activités basiques et activités induites. Les activités basiques sont les activités exportatrices par rapport à l'aire d'étude, elles sont considérées comme exogènes au modèle. Les activités induites, *a contrario*, sont générées par la présence des activités basiques.

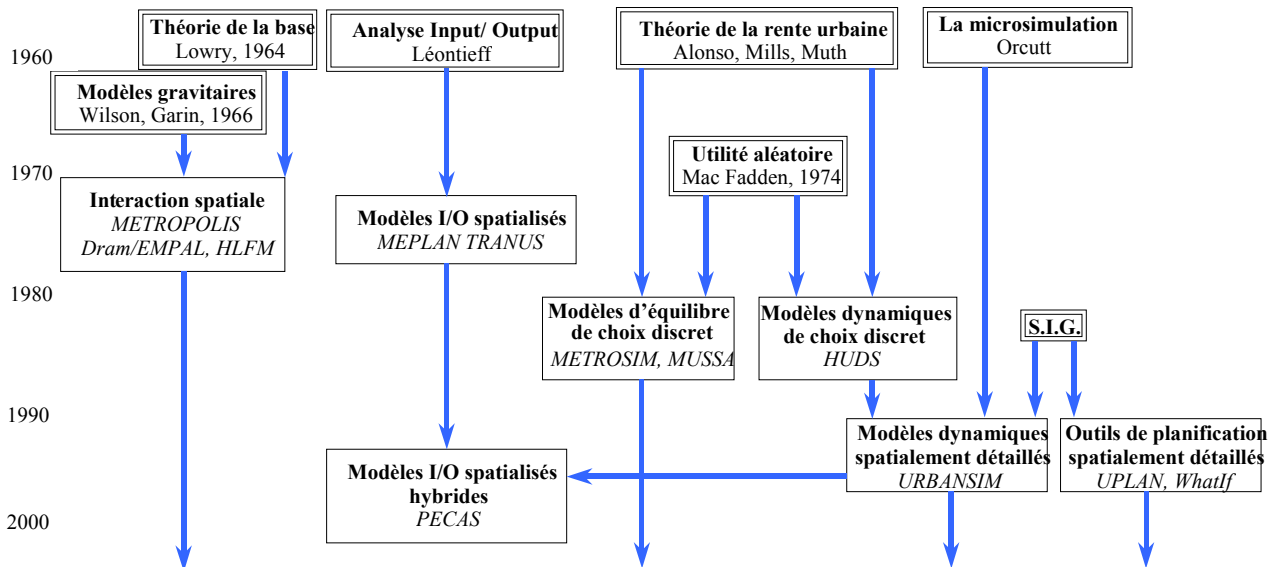
La population employée par ces activités s'installe dans l'agglomération ce qui entraîne l'installation d'activités induites comme des activités de services aux particuliers. Dans le modèle, les activités basiques sont donc exogènes et leur croissance est une donnée. Les activités basiques constituent le moteur de croissance économique de la zone d'étude.

Dans l'analyse de la **matrice Input/Output de Leontieff**, le système d'activités est représenté par un modèle comptable spatial d'entrées-sorties. A partir d'une segmentation des secteurs économiques, la matrice de leurs échanges est définie, ce qui constitue la matrice input/output. Dans les modèles urbains, l'approche des matrices input/output est utilisée afin de représenter les liens entre les acteurs. Tous les secteurs économiques se "consomment" mutuellement. L'industrie "consomme" des ménages qui consomment des services et du terrain. Les activités de service consomment des ménages et du terrain, etc. Ces consommations d'input forment la matrice input/output et permettent de calculer les niveaux des besoins d'échange, c'est-à-dire les "flux

² Pour une analyse plus détaillée de ces modèles nous renvoyons à la littérature existante (Camagni, 1996, Torrens, 2000)

fonctionnels”. Cette mise en forme des données est souvent associée à la théorie de la base pour distinguer les différents types d’activités qui entrent dans la matrice, comme dans les cas des modèles TRANUS ou MEPLAN que nous verrons plus loin.

Figure 8 : évolutions des théories et des outils des modèles LUTI



Source : Waddell, 2005

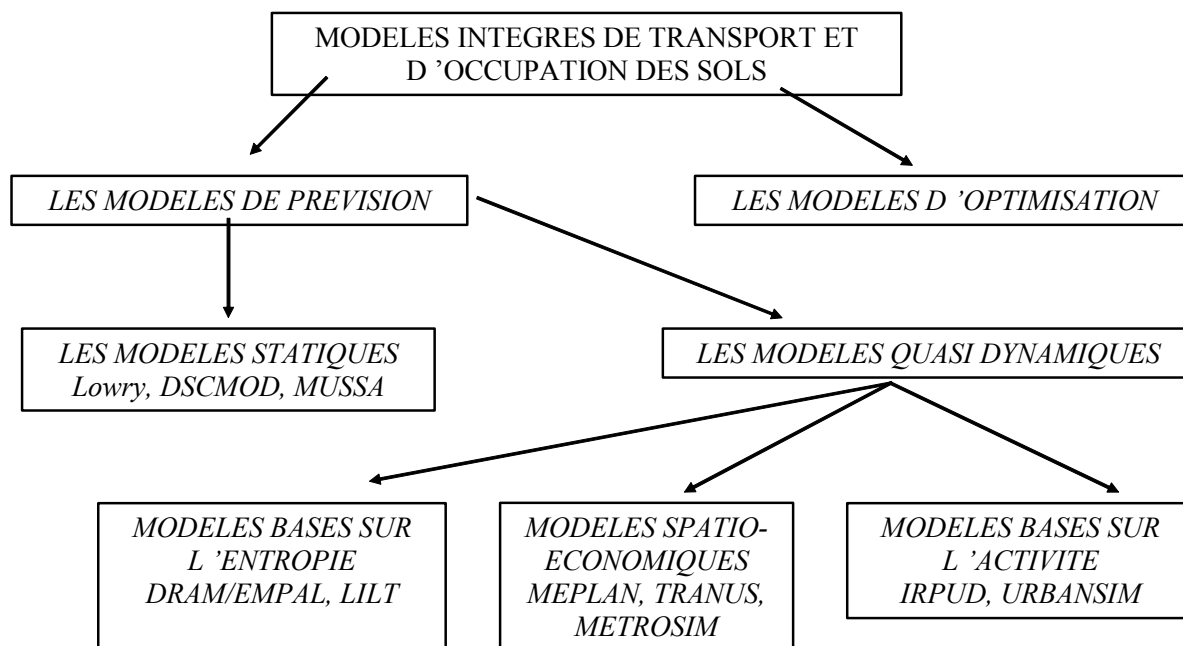
La **théorie de la rente urbaine** suggère que les valeurs des sols résultent d’un arbitrage entre les coûts de transport et l’accessibilité. Elle se base sur l’hypothèse fondamentale du modèle monocentrique (Alonso, Muth, Mills), qui stipule que les coûts de transport augmentent avec la distance au centre d’emploi (CBD) et sont identiques pour l’ensemble des ménages suburbains. Par conséquent, les rentes et les densités diminuent avec la distance au centre. Dans sa forme statique initiale, cette approche débouche sur des **modèles d’équilibre** où, étant donné l’état des variables d’entrée, les valeurs des variables de sortie sont directement calculées et fixées pour l’horizon de la simulation. Certains des prolongements qui ont suivi ont porté sur des **représentations dynamiques** au sein des modèles : les valeurs fournies en période initiale permettent de déduire les résultats en période intermédiaire, qui influent ensuite sur la période suivante, et ainsi de suite jusqu’à l’horizon de la simulation, sans qu’un équilibre ne soit forcément obtenu *in fine*.

Les outils fournis par la **théorie de l’utilité aléatoire** ont également enrichi cette approche du modèle monocentrique. Une formulation probabiliste permet d’envisager des localisations discrètes et de prendre en compte l’existence de différences quant aux préférences individuelles grâce à une fonction d’utilité aléatoire. Un individu choisit une localisation résidentielle parmi un ensemble de choix. Il attribue à chaque localisation une fonction d’utilité définie en fonction des attributs de la zone. En comparant ces différentes utilités, l’individu sélectionne la localisation qui offre la plus forte utilité. Afin de prendre en compte la variabilité dans les comportements individuels, les utilités sont spécifiées comme des variables aléatoires de telle sorte que le choix est probabiliste (voir section 2.1.3.).

Les **modèles gravitaires**, enfin, sont fondés sur les hypothèses mathématiques de la loi gravitationnelle de Newton qui stipulent que la force d’attraction entre deux corps est le produit de leur masse divisé par le carré de leur distance. Transféré par analogie à un contexte géographique, la force peut être représentée par le nombre de flux (de déplacements) entre deux régions et la masse peut être assimilée à une variable structurelle telle que la taille de la population. On se donne ainsi une mesure de la capacité des régions à attirer ou bien à générer des déplacements. Une fonction de résistance temps généralisés remplace la distance.

A côté de cette présentation de l'historique des outils et méthodes proposée par Waddell, Simmonds et Bates (1999) se sont intéressés aux finalités et aux possibilités offertes par les différentes familles de modèles pour déboucher sur la classification en cinq groupes (Figure 9).

Figure 9 : Classification des modèles LUTI en fonction de leurs finalités



Source : Simmonds & Bates, 1999

Un premier groupe de modèles a pour objet **d'optimiser les configurations urbaines** plutôt que de prédire les impacts des politiques de transport sur l'évolution de la structure urbaine. Ces modèles sont généralement utilisés dans une perspective de planification à long terme mais ils ne sont pas, en principe, adaptés à la prévision des impacts des politiques de transport et d'aménagement sur l'évolution des aires urbaines préexistantes.

Parmi les modèles de prévision, on distingue deux classes de modèles : ceux statiques et ceux quasi-dynamiques. Les **modèles statiques** s'appliquent à un moment donné dans l'espace-temps, alors que les modèles **quasi-dynamiques** fonctionnent sur plusieurs périodes de temps. Ils peuvent ainsi prendre en compte les changements du système des transports qui nécessitent généralement plus d'une période de temps pour avoir un impact sur l'occupation du sol.

Les objectifs d'évaluation de politiques publiques du projet SIMBAD, avec notamment (1) la dimension prospective de l'exercice, et la prise en compte des temporalités des différents sous-systèmes en interaction et (2) la nécessité de pouvoir distinguer entre plusieurs types d'acteurs (notamment les ménages en fonction de leur revenu pour rendre compte des éventuels impacts sociaux des politiques testées) nous ont conduit à privilégier les approches quasi-dynamiques et les approches basées sur des logiques de choix discret. A partir de là, la revue de la littérature et le bilan des projets existants et des modèles déjà élaborés nous a conduits à retenir la plate-forme de modélisation URBANSIM développée par Paul Waddell et son équipe à l'Université de Washington.

Ce choix a été motivé par plusieurs raisons (Nicolas, Deymier 2005) :

- ✓ la possibilité de prendre en compte complètement la boucle d'interactions entre transports et urbanisme, et de dynamiser la modélisation par un processus pas à pas ;
- ✓ la solidité de ses bases théoriques, fondées notamment sur la théorie des choix discrets, permettant de prendre en compte des comportements différenciés parmi les agents simulés ;

- ✓ la modularité de la plate-forme, son ouverture et la possibilité pour l'utilisateur de rentrer dans le cœur du système pour adapter l'outil à ses besoins ;
- ✓ le dynamisme de l'équipe de développement et le fait que plusieurs équipes européennes commencent à travailler avec ont également contribué à notre choix, avec la certitude d'échanges possibles pour aider à s'approprier l'outil et l'adapter au contexte européen (Krivobokov et al., 2008).

2.1.2. L'agencement des différents modules d'URBANSIM

Nous proposons ici une présentation très générale d'URBANSIM, qui permet de comprendre comment s'agencent les différents modules les uns par rapport aux autres (Figure 10). La section suivante (2.1.3) expose le cadre de la théorie des choix discrets qui sous-tend l'essentiel de la modélisation proposée par URBANSIM, même si l'utilisateur reste maître d'utiliser ou de développer d'autres outils. On trouvera une présentation complète et détaillée de la plate-forme Opus-URBANSIM dans le Guide de l'Utilisateur disponible en ligne et publié par l'équipe d'URBANSIM (Center for Urban Simulation and Policy Analysis, 2009). Des synthèses sont également proposées par Paul Waddell (Waddell, 2002; Waddell et al., 2003), de même qu'en français, les rapports du projet SIMAURIF apportent un bon éclairage sur l'outil (De Palma et al. 2004, 2005 ; Nguyen-Luong, 2007).

Que ce soit pour la localisation des ménages comme celle des activités économiques, URBANSIM procède selon une même logique en trois phases :

- ✓ Un **module de transition** permet de prendre en compte les évolutions annuelles. Il est nécessaire de lui fournir pour chaque année le nombre et la répartition des ménages selon les caractéristiques retenues. Le module supprime alors les ménages en trop dans la base établie pour l'année précédente et repère ceux qui sont en plus, auxquels il faudra attribuer une localisation géographique.
La procédure est la même pour les activités économiques.
- ✓ Un **module de relocalisation** permet d'estimer les ménages (activités économiques) changeant d'adresse durant l'année. Comme pour le module suivant, un tirage s'opère sur la base de probabilités différenciées établies à partir d'un modèle de choix discret.
- ✓ Enfin, un **module de localisation** va permettre d'attribuer une localisation géographique à tous les ménages (activités économiques) repérés au cours des deux phases précédentes.

Deux autres modules complètent ce premier enchaînement. Le premier est dédié à la détermination des **prix du marché foncier**, qui vont influencer sur les résultats du module de localisation. L'autre module est relatif à **l'évolution des usages du sol** (dit « module de développement urbain ») et permet d'offrir des opportunités de localisation dans chaque zone aux ménages comme aux activités économiques en recherche de résidence ou d'implantation.

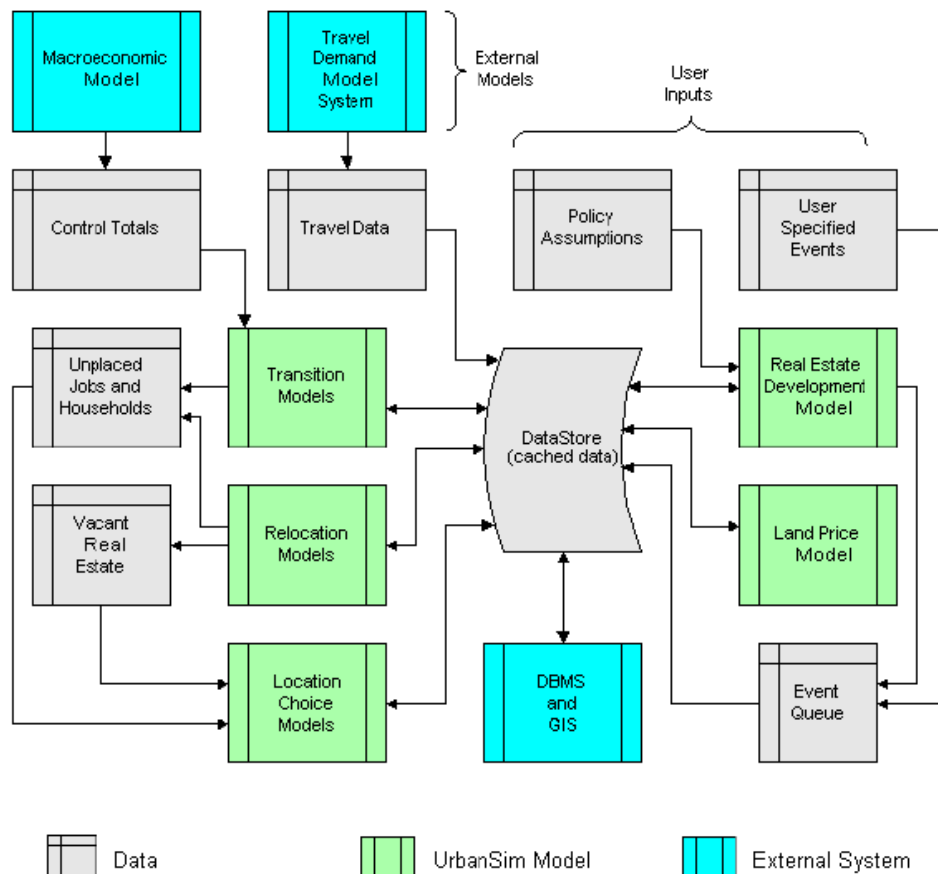
Pour réaliser ses calculs, URBANSIM nécessite deux types d'informations en entrée, en matière de prospective d'une part, et d'accessibilités en lien avec le système de transport d'autre part.

Les hypothèses de prospective du « **module macroéconomique** » externe permettent de calculer et d'alimenter URBANSIM avec les nombres de ménages et d'activités attendus chaque année jusqu'à l'horizon de la simulation. Les caractéristiques permettant leur description peuvent être plus ou moins fines, le module de transition permettant de générer une population détaillée en respectant les répartitions aux marges des sous-types dont l'information manque. On peut par exemple disposer d'hypothèses sur le nombre de ménages en fonction de l'âge de la personne de référence pour chaque année à partir des résultats du modèle OMPHALE de l'INSEE, mais rien sur le fait d'être propriétaire ou locataire pour chacun d'entre eux alors que cette variable est importante pour le module de relocalisation ; dans ce cas le module de transition, après avoir assuré la concordance des nombres totaux sur la variable disponible affectera la caractéristique à chaque nouveau ménage sur

la base d'une loi de probabilité fonction de la répartition initiale de locataires et de propriétaires dans chaque tranche d'âge à l'année n-1.

Les hypothèses liées à la demande de transport sont quant à elles déterminées par la **plateforme de modèles de transport** intégrée dans SIMBAD. Celle-ci fournit les distances, les temps et les temps généralisés entre les 777 IRIS de l'Aire Urbaine de Lyon qui servent à calculer les indicateurs d'accessibilité (au centre-ville, aux emplois, aux différents types de population, aux réseaux de transport, etc.) utilisés ensuite par les différents modules d'URBANSIM.

Figure 10 : La structure du modèle URBANSIM



Source : Center of Urban Simulation and Policy Analysis, 2009

2.1.3. La modélisation de choix discrets comme outil de base pour les simulations

URBANSIM travaille préférentiellement avec des modèles de choix discrets, tant pour les modules de localisation que de développement urbain. Il apparaît donc important de présenter ces modèles et la manière dont ils sont utilisés dans URBANSIM avant de présenter les différents modules estimés et mis en œuvre dans le projet SIMBAD.

2.1.3.1. Principes généraux

Ces modèles sont basés sur l'utilisation de la théorie de l'utilité aléatoire sur des alternatives discrètes, avec comme objectif l'estimation d'un choix à partir de la connaissance d'un ensemble d'alternatives mutuellement exclusives et collectivement exhaustives (Domencich, McFadden, 1975 ; Ben Akiva, Lerman, 1985). La modélisation des choix discrets commence par l'association à chaque alternative constituant l'ensemble étudié d'une utilité qui dépend des caractéristiques des individus et des alternatives. On déduit après, pour chaque individu, la probabilité de choisir une

alternative, en tenant compte du fait qu'il vise à maximiser son utilité. Cette utilité a deux composantes :

$$U_{in} = V_{in} + e_{in}$$

où :

U_{in} – utilité de l'alternative i pour l'individu n

V_{in} – partie observable, déterministe de l'utilité

e_{in} – terme aléatoire, erreur

La partie observable est conçue comme une fonction des attributs de l'alternative i et des caractéristiques de l'individu n :

$$V_{in} = \theta_1 Z_{in1} + \theta_2 Z_{in2} + \dots + \theta_t Z_{int} = \theta Z_{in}$$

où :

θ – vecteur de paramètres

$Z_{in} = f(X_i, S_n)$

X_i – alternative i

S_n – caractéristiques de l'individu n

La probabilité que l'alternative i soit choisie par l'individu n est donnée par :

$$P_n(i) = P(U_{in} > U_{jn}), j \neq i$$

où :

P – probabilité

j – alternative j

L'équation précédente est utilisée pour calculer la probabilité que l'individu n réalise le choix de l'alternative i sous l'hypothèse qu'on peut estimer la distribution du terme aléatoire.

Un problème central est la spécification de V , c'est-à-dire la détermination des variables qui doivent entrer dans la fonction d'utilité déterministe ainsi que de la forme fonctionnelle appropriée pour V . Dans la plupart des cas, on utilise des fonctions linéaires.

Ensuite, se pose la question de la distribution statistique du terme aléatoire. En fonction de l'hypothèse faite sur cette distribution, nous aurons un modèle logit, un modèle probit ou d'autres formulations intermédiaires.

2.1.3.2. Le modèle logit

L'hypothèse la plus utilisée est celle de la distribution des erreurs selon la loi de Gumbel, ce qui génère le modèle logit.

Il repose sur l'hypothèse que les composantes aléatoires des fonctions d'utilité sont indépendamment et identiquement distribuées selon une loi doublement exponentielle (loi de Gumbel). Une variable aléatoire e suit une distribution de Gumbel de paramètres μ et η si celle-ci s'exprime par la formule :

$$F(\varepsilon) = \exp(-e^{-\mu(\varepsilon-\eta)}), \mu > 0$$

et la loi de densité de Gumbel est :

$$f(\varepsilon) = \mu e^{-\mu(\varepsilon-\eta)} \exp(-e^{-\mu(\varepsilon-\eta)})$$

On fait aussi l'hypothèse que la structure de la matrice de variance-covariance du terme d'erreur entre les alternatives est identique pour tous les individus. Cette hypothèse traduit le fait que la variation due aux facteurs non observés est identique entre les individus.

En fonction du nombre d'alternatives de choix dont le décideur dispose, on aura soit une formulation logit binomial (on a deux alternatives de choix) soit une formulation logit multinomial (on a trois alternatives de choix ou plus).

Logit binomial : $P_n(i) = e^{\mu V_{in}} / (e^{\mu V_{in}} + e^{\mu V_{jn}})$

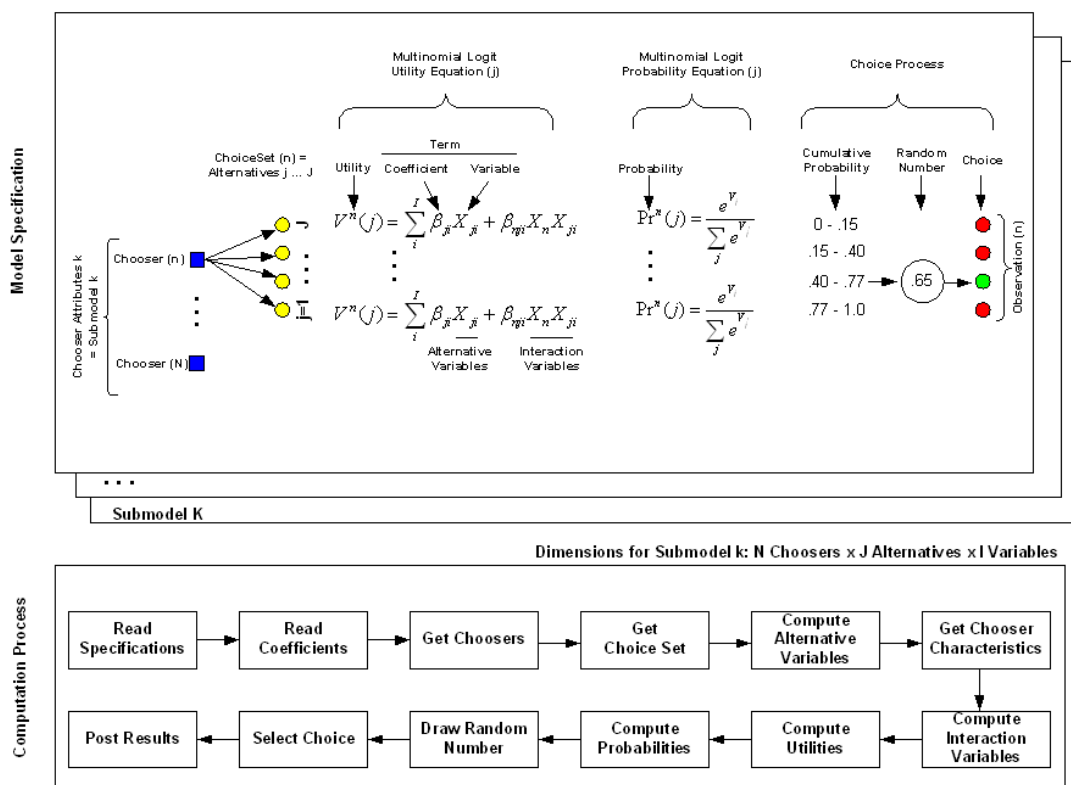
Logit multinomial : $P_n(i) = e^{\mu V_{in}} / \sum_j e^{\mu V_{jn}}$

2.1.3.3. Adapter le logit multinomial au cas d'un très grand nombre d'alternatives de localisations

La logique de modélisation de la localisation des ménages ou des établissements utilisés actuellement dans URBANSIM comporte certaines différences par rapport à la logique générale présentée jusqu'à maintenant. En effet, le nombre d'alternatives possibles pour se localiser est extrêmement important puisqu'il correspond au nombre de zones ou de cellules du périmètre modélisé. Dans la pratique, la puissance de calcul nécessaire pour estimer un logit multinomial devient rapidement énorme et hors de portée. Pour dépasser cette limite, URBANSIM propose de réduire l'univers de choix des localisations en réalisant au préalable un tirage aléatoire d'un nombre réduit d'alternatives parmi toutes celles possibles. On s'éloigne ainsi des standards d'estimation du modèle logit, mais on peut montrer que les résultats obtenus sont convergents avec ceux de la méthode académique (Ben-Akiva & Lerman, 1985).

La procédure suivie au sein d'URBANSIM pour établir le choix de chaque individu statistique suit dès lors le séquençage illustré dans la Figure 11 ci-dessous.

Figure 11 : Procédure de calcul dans les modèles de choix discret d'URBANSIM



Source : Center of Urban Simulation and Policy Analysis, 2009

Ainsi, dans la procédure d'estimation, comme dans celle de simulation ensuite, chaque ménage qui doit être localisé est modélisé individuellement, un échantillon de cellules alternatives étant généré

pour chacun des ménages. Ce nombre d'alternatives tirées au hasard pour établir le modèle est décidé par l'utilisateur, avec un nombre par défaut fixé à 30 dans URBANSIM. Après plusieurs essais de nombres de tirages différents, nous avons constaté une convergence très rapide des résultats, et nous nous sommes finalement arrêtés à 6 alternatives par individu (Homocianu, 2009).

2.1.4. De l'IRIS aux cellules : l'univers des localisations possibles dans URBANSIM /SIMBAD

Compte tenu des ressources statistiques disponibles, le niveau de désagrégation spatial de référence dans SIMBAD correspond à l'IRIS. On pourrait dès lors créer un modèle de localisation à ce niveau géographique. Mais, dans le cadre d'URBANSIM, l'estimation d'une fonction d'utilité pour la localisation des ménages ou des établissements s'avère inefficace. En effet, les IRIS ne sont pas définis en fonction de leur surface (ils ont des surfaces très différentes lorsqu'on part du centre vers la périphérie de l'aire urbaine), mais en fonction des effectifs de population et d'emplois qui s'y localisent. De ce fait, la répartition des ménages et des activités économiques est à peu près uniforme entre les différents IRIS.

Comme la fonction d'utilité à estimer exprime une préférence pour une zone mesurée en termes de nombre de ménages ou d'activités qui se localisent dans cette zone, si l'IRIS est considéré comme alternative de choix de localisation, les utilités des différentes zones sont trop homogènes et indépendantes des caractéristiques des IRIS. La solution adoptée dans SIMBAD pour dépasser ce problème a été de construire des cellules de surfaces égales (250 m * 250 m) et de modéliser les localisations à ce niveau de la cellule. Pour cela, chaque IRIS a été décomposé en autant de cellules qu'il peut en contenir compte tenu de sa surface.

Les cellules de chaque IRIS ont ensuite pu être réparties selon trois grandes fonctions « habitat », « activité », « autres », au prorata des surfaces de tache urbaine et de leur distribution résidentiel-activité indiquées dans la base SIG Géoroute 1999 de l'IGN. Les ménages ont été affectés dans les cellules de type habitat et les activités économiques établissements ont été affectées dans les cellules de type urbanisé (habitat + activité) de manière aléatoire et uniforme à l'intérieur de chaque IRIS (ainsi les cellules d'un IRIS donné ont toutes la même densité ; par contre la densité varie entre les cellules des différents IRIS). Compte tenu de la surface totale de l'aire urbaine, les 777 IRIS ont été finalement éclaté en 52 822 cellules dont 5 810 sont de type « habitat » et 1 204 sont de type « activité ».

2.2. Le choix de la neutralisation du module de développement urbain

Avant de localiser les ménages et les activités économiques, URBANSIM dispose d'un module dit de « développement urbain » qui permet d'envisager l'évolution de l'urbanisation dans chaque zone. La méthodologie proposée consiste à définir des types de zones en fonction de leur densité, du type d'habitat ou d'activités économiques qu'elles contiennent puis d'établir un ou plusieurs modèles logit multinomiaux qui fournissent les probabilités pour un type de zone de basculer vers les autres types en fonction de ses caractéristiques propres et de son environnement (types des zones adjacentes, réseaux à proximité, etc.). Nous exposons ici les raisons qui nous ont conduit à ne pas retenir cette méthode (§2.2.1.), avant de présenter le travail de constitution de la base qui fournit l'espace disponible dans chaque zone pour que les ménages et les établissements puissent s'y localiser (§2.2.2.).

2.2.1. Des données lyonnaises peu appropriées à une modélisation fine du développement urbain

Cette méthode appliquée aux Etats-Unis a pu apporter des résultats intéressants. Nous avons cependant renoncé à l'utiliser dans le cas lyonnais pour deux principales raisons.

- ✓ D'une part les données que nous utilisons ne sont pas établies à un niveau aussi fin qu'aux Etats-Unis, où l'urbanisation peut être décrite de manière précise à l'intérieur de cellules restreintes de 150x150 mètres. Disposant d'informations au niveau de l'IRIS, la caractérisation des zones ne peut être aussi nette. Si, par exemple, des types « IRIS vacant » ou « IRIS urbain dense » pourraient effectivement être identifiés, les IRIS sont trop vastes – même en milieu urbain – pour être suffisamment homogènes et facilement caractérisés.
- ✓ Nous l'avons évoqué dans le premier chapitre avec le schéma de Michael Wegener, les transitions urbaines s'opèrent sur la durée. Il faut donc une observation sur une longue période pour pouvoir observer les changements et disposer d'une donnée suffisante pour pouvoir établir des probabilités de passage d'un type à l'autre. Les difficultés rencontrées sur ce point par l'équipe du projet SIMAURIF, qui disposait de données plus fines que les nôtres sur le cas de l'Ile-de-France, en témoignent (De Palma et al., 2005, pp. 67-80).

Nous avons donc décidé, pour cette première version du projet SIMBAD de travailler avec des hypothèses de développement urbain traitées de manière externes au modèle. Deux options ont été choisies pour comparaison. La première renvoie aux projets de planification de l'Agence d'Urbanisme de Lyon, avec un développement privilégié en 1^{ère} couronne et autour de pôles urbains secondaires bien ciblés ; la seconde correspond au prolongement des tendances 1990/1999 d'évolution relative des zones les unes par rapport aux autres - les deux scénarios étant construits pour permettre d'accueillir les activités et les ménages prévus à l'horizon 2025. Les hypothèses posées correspondent donc plus à un croisement de lignes de désir d'un côté et d'un étalement continué d'un autre qu'à une prospective modélisée à proprement parler. Elles permettent néanmoins de tester les conséquences respectives de deux situations nettement différenciées.

2.2.2. Les surfaces disponibles par zone pour accueillir ménages et établissement

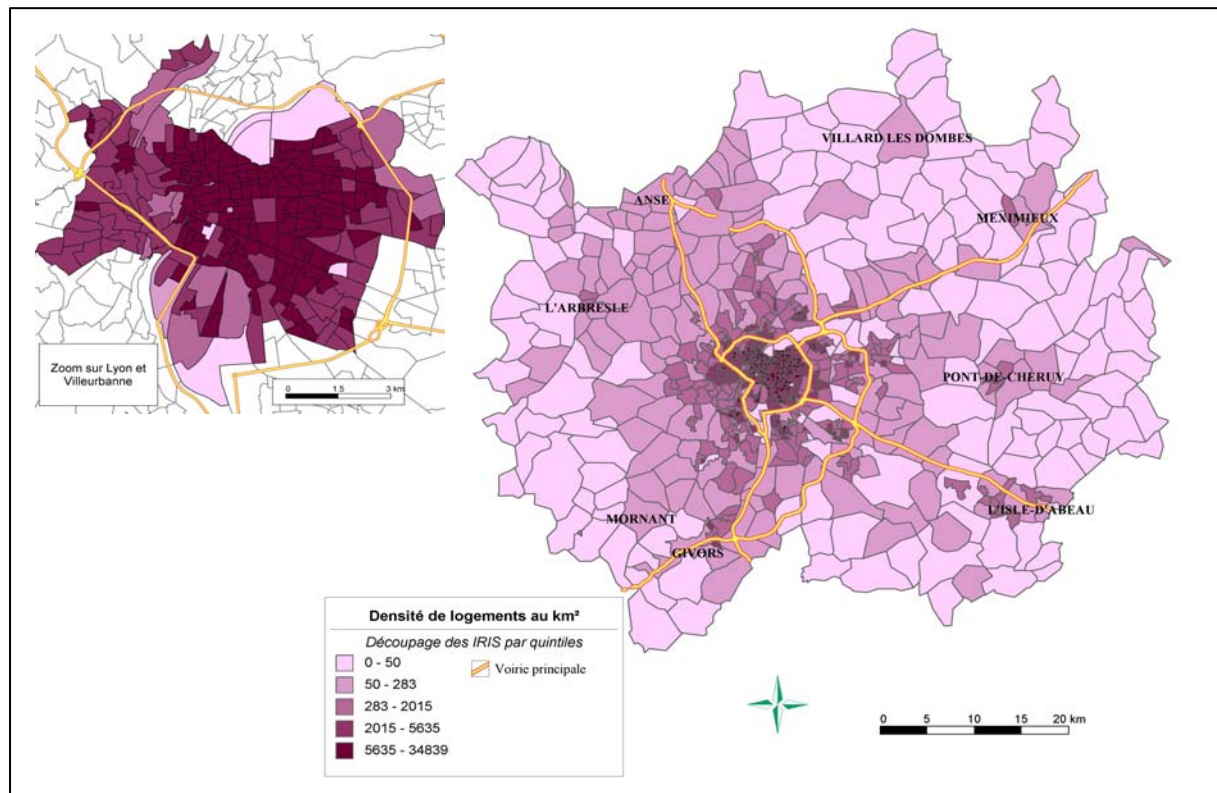
Un travail important a cependant dû être réalisé pour construire une base initiale fournissant l'espace disponible dans chaque zone pour les établissements et les ménages (Le Van et al., 2008).

Pour l'habitat comme pour les activités économiques, nous n'avons pas cherché à établir des surfaces au sol, car elles ne rendent pas compte des possibilités d'etagement des localisations. Le principe retenu a donc été de rechercher l'unité d'espace adéquate en fonction des bases de données disponibles sur l'aire urbaine, avant de systématiser les estimations pour chaque IRIS. Ce travail a été très différent dans le cas de l'habitat et dans celui des activités économiques.

Le cas de l'habitat a pu être traité de manière très simple et rapide car le recensement général de la population de 1999 fournit le nombre total de logements existants dans chaque IRIS (Carte 3), avec une distinction d'une part selon le nombre de pièces et d'autre part selon l'occupation ou la vacance du logement.

Nous avons en première approximation estimé qu'un logement correspondait à une unité d'espace pouvant accueillir un ménage, permettant de disposer immédiatement de l'espace occupé par l'habitat dans chaque IRIS.

Carte 3 : Répartition par IRIS des logements de l'aire urbaine de Lyon en 1999



Source : traitement LET, à partir du RGP Insee, 1999

La recherche de l'unité d'espace adéquate pour les établissements a été plus difficile à mener et a nécessité une investigation beaucoup plus importante.

Du fait des fortes variations dans la taille des établissements et des différences fortes de surfaces nécessaires selon l'activité, l'unité retenue a été la surface hors œuvre nette (SHON) totale dédiée aux activités économiques dans chaque IRIS.

La base servant de référence a été le fichier SIRENE 1999 de l'INSEE, à partir duquel l'ensemble des établissements de l'aire urbaine de Lyon ont été extraits, relocalisés à l'IRIS grâce à leur adresse (Caubel, 2009). SIRENE fournit une description détaillée de chaque établissement, et notamment une répartition fine par classes de nombre de salariés³. Des travaux menés antérieurement dans le cadre de FRETURB ont dès lors permis d'estimer un nombre moyen d'emplois par type d'établissement en fonction de leur classe de taille, de leur localisation et leur secteur d'activité suivant la nomenclature fine de l'INSEE en 700 types (Routhier, Toilier, 2007).

Par ailleurs, un travail important a été mené pour établir des surfaces moyennes par emploi pour chaque type d'activité et, si nécessaire, en fonction de sa localisation. Les principales bases utilisées ont été les suivantes :

- ✓ L'inventaire des commerces et le schéma de développement commercial, qui provient de la Chambre de commerce et d'industrie, et est mis à la disposition du public.
- ✓ Les données de la DDCCRF (Direction Départementale de la Consommation, de la Concurrence et de la Répression des Fraudes).
- ✓ Les données sur les entrepôts et les industries proviennent des enquêtes réalisées par le Laboratoire d'Economie des Transports sur les entrepôts de l'Aire Urbaine, qui fournissent les surfaces logistiques, les surfaces totales, l'activité principale.

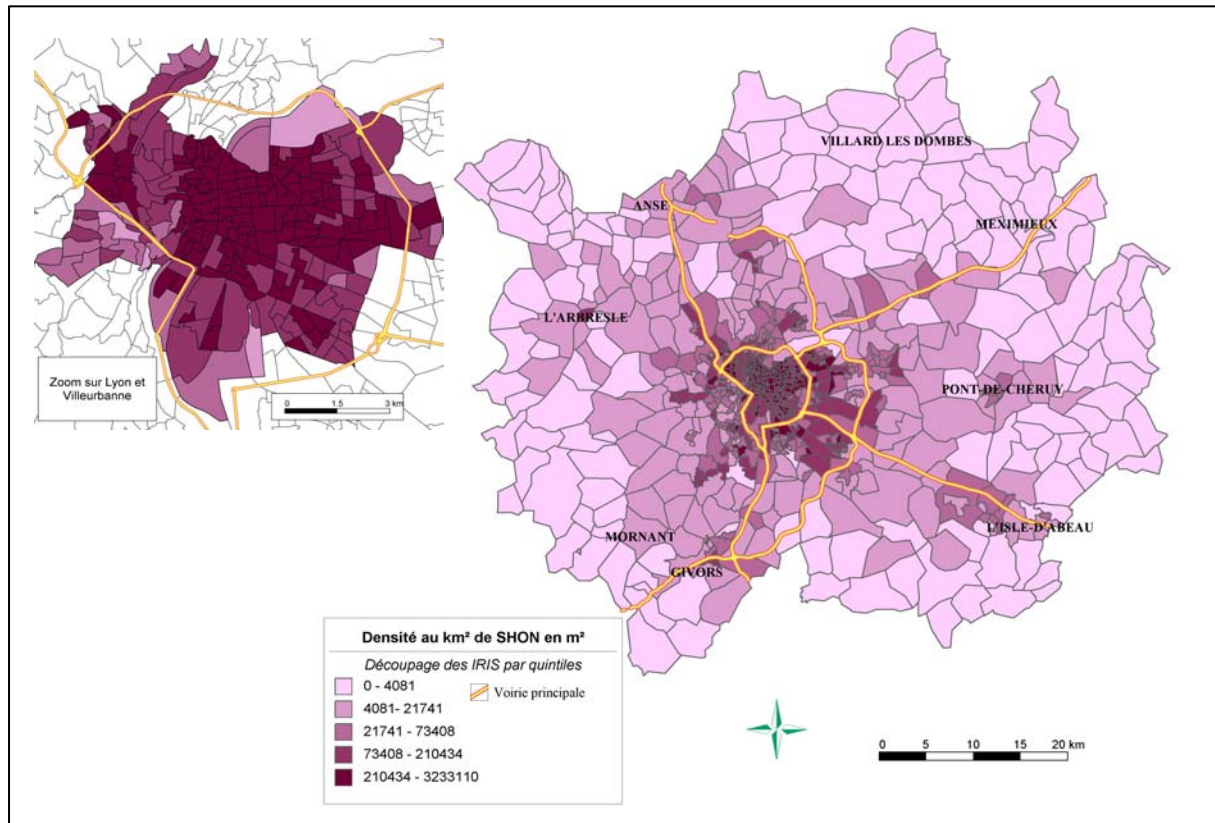
³ Soit les classes 0 salarié, 1 à 2 salariés, 3 à 5, 6 à 9, 10 à 19, 20 à 49, 50 à 99, puis 100 à 199 et toutes les classes suivantes vont de 100 en 100.

- ✓ Enfin, des données relatives à la géographie provenant de l'Atlas de l'Aire Urbaine de l'Agence d'Urbanisme de Lyon.

Le produit de ces deux résultats (nombre d'emplois par secteur * surfaces moyennes par emploi) a permis de déduire une SHON pour chaque établissement recensé dans SIRENE, puis d'estimer la SHON totale dévolue aux activités économiques dans chaque IRIS (Carte 4).

La base ainsi établie permet d'envisager des mouvements d'établissements en fonction des espaces libérés et des espaces nécessaires pour chacun d'entre eux. Elle peut également évoluer d'une année sur l'autre, comme dans le cas de l'habitat, en fonction des scénarios envisagés avec l'Agence d'Urbanisme en matière de politique d'urbanisme et de ses effets.

Carte 4 : Répartition par IRIS des m² de SHON de l'aire urbaine de Lyon en 1999



Source : Le Van et al., 2008

Le travail réalisé lors de toute modélisation est réducteur, et les hypothèses posées pour établir ces estimations ne sont pas neutres. On trouvera dans Le Van et al. (2008) une recension des hypothèses posées et de leurs limites. De notre point de vue, les principales sont les suivantes :

- ✓ Le lien direct posé entre logement et ménage ne tient pas compte de leur taille respective. Cela suppose que, dans chaque IRIS, la structure des logements répartis selon leur taille correspond aux besoins des ménages : sur les 25 ans de la simulation, l'offre anticipera ces besoins et ne contraindra pas les ménages dans leurs choix de localisation – en tout cas pas différemment qu'à la période de référence 1999, qui a servi à établir et estimer les paramètres de ces choix.
- ✓ L'hypothèse d'une surface moyenne par emploi dans chaque secteur, même fin et avec si possible une distinction selon la taille et la localisation, gomme de fait les variations possibles propres à chaque établissement qui peuvent avoir éventuellement un impact sur les surfaces moyennes estimées par IRIS.
- ✓ Par ailleurs, tout espace d'activité économique est ramené en m² de SHON, sans prendre en considération les spécificités des espaces nécessaires aux différents secteurs. Autrement dit,

avec notre procédure, un bureau d'études peut tout à fait se localiser dans un espace occupé à la période précédente par une entreprise industrielle ou de logistique. Comme le montrent les résultats du module de localisation des activités (Voir §2.5), les établissements industriels ont tendance à se localiser à proximité les uns des autres, comme les établissements du tertiaire entre eux, ce qui peut limiter les risques de glissements structurels liés à cette hypothèse. Il n'empêche qu'il convient de l'avoir à l'esprit... URBANSIM propose ainsi une distinction plus dans ses bases initiales, entre surface commerciale, industrielle et services publics. Compte tenu des informations disponibles, cette uniformisation des SHON pourra facilement être levée plus tard, mais nous avons préféré rester avec cette hypothèse simplificatrice pour commencer, quitte à explorer l'apport de sa complexification ultérieurement.

- ✓ Le fichier SIRENE utilisé comme base de référence n'est pas toujours parfait pour rendre compte des localisations. Les grandes entreprises avec plusieurs succursales dans l'agglomération se trouvent parfois situées à une seule adresse, ainsi que tous les emplois qui les concernent. L'actualisation de la base est difficile car si les établissements sont obligés de se déclarer au moment de leur installation (création ou transfert), ils ne le font pas forcément au moment de leur disparition.

Les conséquences de ces limites par rapport à la modélisation mériteront sans doute d'être approfondies dans des versions ultérieures de SIMBAD. Il nous apparaît néanmoins qu'un travail de **mise en œuvre d'un modèle de développement urbain sera prioritaire** car la modélisation des localisations apparaît satisfaisante lorsque les espaces disponibles sont fournis – ce qui signifie qu'au niveau d'exigence de représentation spatiale du projet, les données construites permettent de travailler correctement.

2.3. Le module de prix de l'immobilier

Les prix de l'immobilier constituent a priori un élément important du choix des localisations tant des ménages que des activités économiques, et le module les estimant peut jouer un rôle pivot dans la modélisation des interactions entre transport et urbanisme. URBANSIM propose une modélisation de ces prix à partir d'une régression linéaire, et nous sommes restés sur ce choix méthodologique dans SIMBAD.

Après une présentation des données utilisées (§2.3.1), nous fournissons la régression obtenue à partir des données détaillées recueillies à l'IRIS sur le Grand Lyon (§2.3.2) avant d'exposer les résultats obtenus sur l'aire urbaine et de vérifier leur cohérence avec les zones périurbaines où les données sont beaucoup plus agrégées géographiquement (§2.3.3).

2.3.1. Les données utilisées : une nécessaire adaptation au contexte lyonnais

Les applications américaines d'URBANSIM modélisent de préférence les prix du foncier à ceux de l'immobilier car ils en représentent la composante principale et structurent le développement urbain. Dans le contexte lyonnais (européen en général), les prix des terrains apparaissent comme une composante moins importante et le coût du bâti proprement dit est beaucoup plus déterminant dans les choix de localisation (Nguyen-Luong et al., 2007). De manière concomitante, les données disponibles en France concernent d'abord et avant tout les prix des transactions immobilières, recensées par les notaires, et beaucoup plus nombreuses que les transactions foncières.

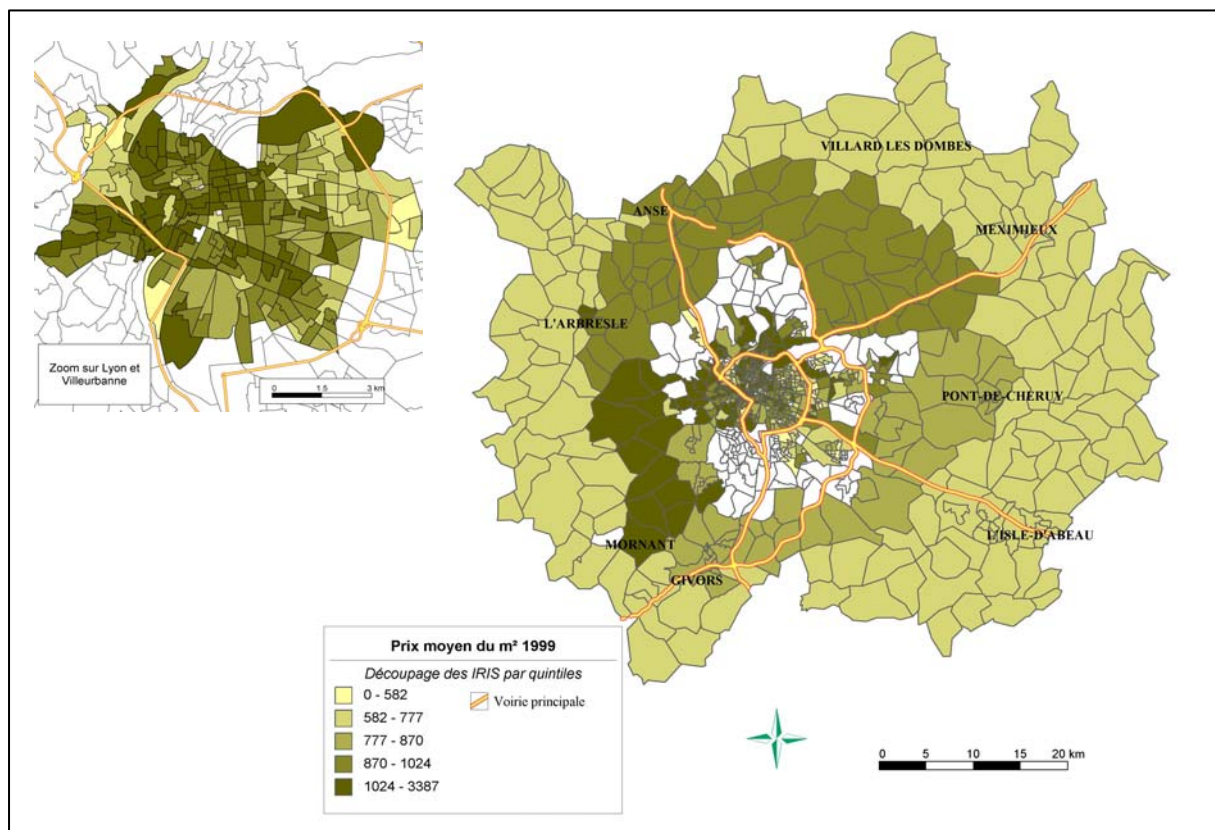
L'Observatoire des Transactions Immobilières et Foncières (OTIF) recense les transactions réalisées sur le territoire du Grand Lyon au niveau de la parcelle cadastrale. Nous avons obtenu l'autorisation d'utiliser les informations disponibles entre 1992 et 2002 sous condition qu'elles ne soient repérées qu'au niveau de l'IRIS. Le fichier segmente le marché de l'immobilier en 4 grands types, en distinguant le neuf de l'ancien et les immeubles collectifs des maisons individuelles. Pour

chaque bien, on connaît la date de la transaction, le prix de vente HT et TTC, la surface, la localisation et quelques caractéristiques du vendeur et de l'acheteur (âge, profession, nationalité et lieu de résidence).

Le prix moyen du m² dans chaque IRIS a été retenu comme indicateur du marché de l'immobilier. L'année de référence choisie pour SIMBAD étant 1999, ce sont les transactions de cette année qui ont servi pour les estimations. Enfin, les 4 types de biens n'étant pas comparables, c'est le collectif ancien qui a été privilégié car c'est sur ce segment que les transactions sont les plus nombreuses ; de plus, le cas des maisons individuelles est plus difficile à traiter car le prix est un prix composite qui intègre tout à la fois la valeur du bâti et celle du terrain qui l'accompagne sans qu'il soit possible de les dissocier dans les données dont nous disposons.

La société PERVAL recueille le même type de données au niveau national dans son fichier MIN. Nous avons ainsi pu acquérir les informations pour le reste de l'aire urbaine de Lyon sur la période 1994 à 2004, mais fournies à de manière plus agrégées. Pour chaque année, nous disposons du nombre de transactions recueillies par PERVAL, du prix moyen, de la surface moyenne et de leurs écarts-types respectifs, pour chacun des 4 segments de marché. Cette information est fournie à un niveau territorial suffisamment agrégé pour disposer d'au moins 5 transactions chaque année, ce qui conduit à un découpage très large (Carte 5). La qualité de ce fichier national est variable selon les régions, car elle dépend du taux de retour des notaires, sachant que les données sur la région lyonnaise sont réputées être correctes.

Carte 5 : Prix moyens du m² observés sur l'aire urbaine de Lyon en 1999 (€99)



Source : traitement LET, à partir des fichiers OTIF (Grand Lyon) et MIN (Perval)

Remarque : les IRIS en blanc au sein du périmètre du Grand Lyon correspondent à des IRIS où il n'y a pas eu suffisamment de transactions en 1999 pour proposer un prix moyen.

2.3.2. L'estimation du modèle sur les données du Grand Lyon

Compte tenu des caractéristiques recueillies ou calculées dans SIMBAD pour qualifier chaque IRIS, une cinquantaine de variables d'accessibilité, de densité et de composition sociale ont pu être

testées pour établir un modèle sur le périmètre du Grand Lyon (Shao, 2008). Une analyse en composante principale et un tri progressif ont permis de n'en retenir que trois (Tableau 2) :

- ✓ la proportion dans l'IRIS des ménages appartenant au 1^{er} quintile de revenu⁴ (Q1),
- ✓ la proportion dans l'IRIS des ménages appartenant au 5^{ème} quintile de revenu (Q5),
- ✓ et la distance au centre mesurée en temps d'accès VP à l'heure de pointe, en mn (Typ).

Pour le prix de l'immobilier, au niveau agrégé de l'IRIS où nous sommes, la distance temps au centre apparaît comme la variable d'accessibilité la plus robuste et la plus significative. Mais ce sont d'abord et avant tout les variables indicatrices de la composition sociale de la zone, mesurée en termes de revenu, qui sont le plus liées aux prix du marché – même si l'analyse révèle des colinéarités avec les autres variables de densité et d'accessibilité.

Le modèle retenu est alors le suivant :

$$\text{Prix} = 935,2 - 9,24 \cdot Q1 + 10,63 \cdot Q5 - 5,44 \cdot \text{Typ}$$

Les statistiques de la régression sont les suivantes :

Observations : 287 IRIS (sur 498 IRIS présents au sein du Grand Lyon)

Tableau 2 : tests statistiques de la qualité du modèle de prix de l'immobilier

$R^2 = 0.75$; R^2 ajusté = 0.75

	Coefficient	Statistique t	Valeur-P
Constante	935.2	23.7	$3.3 \cdot 10^{-69}$
Typ	-9.24	-6.11	$3.3 \cdot 10^{-09}$
Q1	-5.44	-6.40	$6.4 \cdot 10^{-10}$
Q5	10.63	12.84	$4.7 \cdot 10^{-30}$

Source : Shao, 2008

2.3.3. Les résultats obtenus et leur test sur l'ensemble de l'Aire Urbaine

En parallèle des tests statistiques traditionnels, les données agrégées sur l'aire urbaine de Lyon du fichier MIN ont été utilisées pour vérifier si le modèle construit sur le territoire du Grand Lyon restait valide en périurbain (Shao, 2008).

Les prix moyens du m² du collectif ancien ont été estimés pour chaque IRIS à partir du modèle retenu (Carte 6). Un prix moyen par grande zone a ensuite pu être établi à partir de ces valeurs, pondérées du nombre de logements collectifs de chaque IRIS (information issue du recensement général de la population de 1999). La comparaison avec les données issues du fichier MIN s'avère satisfaisante (Tableau 3).

Compte tenu du trop faible nombre d'observations de la zone 1, la comparaison n'y est pas valide. Pour les zones 2, 3, 4 et 5, les écarts varient entre 1,5 et 12% et il est difficile de les imputer plus aux approximations du modèle qu'aux incertitudes inhérentes au fichier MIN. Il apparaît donc qu'il n'y a que dans la zone 6 que le modèle fournit des valeurs manifestement sous estimées.

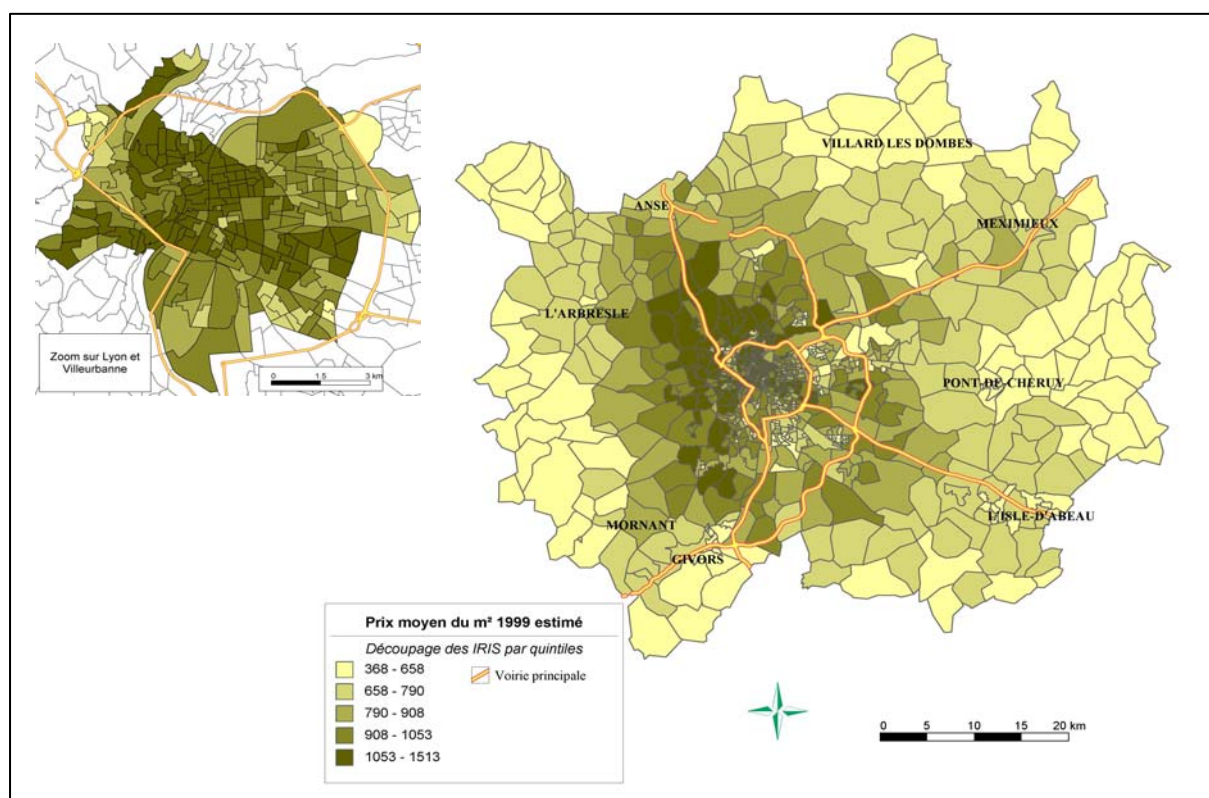
La convergence semble donc satisfaisante, confirmant en périurbain la qualité du modèle établie sur le périmètre du Grand Lyon.

⁴ Les revenus correspondent aux revenus par UC (Unité de Consommation) de 2001 fournis par la Direction Générale des Impôts. Les quintiles ont été établis au niveau global de l'aire urbaine de Lyon.

Tableau 3 : Comparaison des observations MIN et des résultats du modèle sur l'aire urbaine de Lyon

	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5	Zone 6
Fichier MIN						
<i>Nb observations</i>	11	94	131	31	86	53
<i>Prix moyen observé (€ 1999)</i>	503	648	725	796	854	1087
Modèle						
<i>Prix moyen calculé (€ 1999)</i>	653	638	768	846	756	809
Ecart	29,8%	-1,5%	5,9%	6,3%	-11,5%	-25,6%

Source : Shao, 2008

Carte 6: Prix moyens du m² estimés sur l'aire urbaine de Lyon (€99)

Source : traitement LET, à partir de Shao, 2008

La réflexion autour de ce module méritera cependant d'être poursuivie pour des versions ultérieures de SIMBAD car même s'il est relativement bien estimé, le prix moyen du m² dans les logements collectifs anciens apparaît être un indicateur limité pour refléter d'une part les logiques de localisation des ménages en périurbain où l'habitat individuel est majoritaire et d'autre part et surtout les transferts d'établissements, pour lesquels le marché foncier et immobilier fonctionne sur des bases différentes. Un indicateur unique apparaît donc insuffisant et d'autres bases de données devraient être utilisées pour enrichir notre approche.

2.4. La localisation résidentielle des ménages

L'objectif du modèle de choix résidentiels est d'expliquer et de prévoir les choix des ménages en fonction de l'évolution des variables explicatives. Ce type de modèles vise à prévoir la probabilité qu'un ménage change de résidence et son choix en matière de nouvelle localisation. Intégré dans SIMBAD, il sera appliqué pour simuler l'évolution du système urbain sous diverses hypothèses d'évolution du contexte et pour tester des politiques de transport et d'urbanisme.

La décision des ménages en matière résidentielle peut être conçue comme un processus unique qui intègre deux composantes : le choix de changement de résidence (ou de déménagement) et le choix d'une nouvelle localisation. Compte tenu de ce fait, il serait théoriquement plus réaliste de modéliser les décisions en matière résidentielle des ménages (mobilité + localisation) par un seul modèle.

Cependant, pour procéder de la sorte, on a besoin d'une base de données désagrégée sur les ménages, c'est-à-dire des données sur les caractéristiques de chaque ménage, y compris leur localisation précise. Or, on ne dispose pas d'une telle source de données au niveau de l'aire urbaine lyonnaise. L'Enquête Logement, qui est la source principale de données décrivant les aspects liés aux comportements résidentiels des ménages, fournit des informations sur un échantillon de ménages à un moment donné, y compris leurs caractéristiques au moment du déménagement, avec une périodicité de 4-5 ans mais sans maintenir le même échantillon de référence. La seule information de localisation disponible dans cette base est le département d'appartenance du ménage, découpage spatial caractérisé par une forte hétérogénéité, insuffisant par rapport à notre tentative de modélisation de la localisation résidentielle.

Compte tenu de l'absence de données géographiques fines, qui est loin d'être propre au cas lyonnais, les deux facettes de la décision résidentielle sont souvent traitées séparément dans la littérature. Dans ces conditions, la modélisation séparée des deux étapes du processus de décision résidentielle a été retenue. Cette solution est, par ailleurs, proposée par défaut dans la version actuelle d'URBANSIM.

Cette partie fait largement référence au travail de thèse de Homocianu (2009). Elle se présente en trois temps avec tout d'abord une revue de la littérature pour faire ressortir les principaux facteurs explicatifs des mobilités résidentielles (§2.4.1) avant de détailler la construction du modèle de déménagement (§2.4.2) puis celle du modèle de localisation (§2.4.3).

2.4.1. Les facteurs explicatifs des logiques de localisation résidentielle des ménages

L'analyse de la bibliographie (Homocianu, 2009) permet de segmenter les principaux facteurs explicatifs de la localisation résidentielle en deux groupes : les déterminants liés au profil socio-économique du ménage et des individus qui le composent d'une part, les déterminants liés à l'environnement résidentiel du logement.

2.4.1.1. Relation entre le profil socio-démo-économique des ménages et la localisation résidentielle

Une idée généralement admise est que la mixité sociale comme objectif de l'action publique va à l'encontre de la préférence des individus pour « l'entre soi », l'option la plus courante étant de se rapprocher autant que possible de son groupe de référence (Bouzouina, 2008). De nombreuses études ont montré que le comportement des ménages en matière de localisation varie significativement avec la catégorie socioprofessionnelle des individus qui les composent. La typologie par catégories socioprofessionnelles traduit souvent le statut socioéconomique, synthétisé

par deux variables corrélées : **le revenu et le niveau d'études**. La variable clé, qui est le revenu, est certainement une variable explicative de la décision de localisation résidentielle, que ce soit par le jeu du marché du logement, ou bien par l'influence des interactions sociales. Si on classe les ménages en fonction du revenu, de la catégorie socioprofessionnelle ou du niveau d'études de leurs membres, la concentration territoriale est évidente aux deux extrémités de l'échelle sociale, mais elle est choisie à une extrémité, subie à l'autre. La question qui se pose alors est de savoir si la composition sociale des territoires est un critère ou une conséquence indirecte des choix de localisation résidentielle. A cette question, la recherche n'apporte que des réponses nuancées et partielles.

Certains économistes considèrent que le niveau de vie, reflété par le profil socio-économique des ménages, est déterminant dans leurs choix en matière de localisation résidentielle. On peut évoquer dans ce sens les apports classiques d'Alonso (1964), Mills (1967) et Muth (1969), qui soutiennent l'idée que l'offre et la demande sur le marché du logement expliquent la localisation des ménages aisés et des ménages pauvres dans des lieux différents, ou ceux de Tiebout (1956), selon lequel le jeu d'attraction et de répulsion entre différentes catégories de ménages structure l'espace résidentiel selon le niveau de vie. Plus récemment, d'autres auteurs (Mac Fadden, 1978 ; Anas, 1982) ont accordé une grande importance aux caractéristiques socio-économiques du quartier, en insistant sur leur interaction avec le revenu des agents bien supérieure à l'accessibilité aux zones d'emploi. On peut remarquer qu'en France, comme aux Etats-Unis, l'homogénéité des ménages au sein des quartiers est très visible dans le paysage urbain. Ainsi, il est possible de réaliser une typologie des quartiers, séparant les zones dans des classes selon le profil des ménages qui y habitent (Bouzouina, 2008).

Les extensions apportées au modèle standard de l'économie urbaine permettent d'introduire une différenciation dans les caractéristiques des agents économiques, en tenant compte de la **composition du ménage** (taille ou nombre d'enfants du ménage). Les premiers modèles de localisation, comme ceux d'Alonso, Muth et Mills, ne tenaient pas compte de la structure démographique du ménage. Or, un ménage composé d'un nombre important de membres, par exemple, est plus susceptible de choisir une résidence en périphérie, afin de bénéficier d'une plus grande superficie à moindre coût qu'un ménage composé d'un nombre plus réduit de personnes (Debrand, Taffin, 2005).

Les événements du **cycle de vie des ménages** influent tout à la fois sur la décision de déménager, et sur le choix de la localisation ou du type de bien (logement) acheté, en fonction des impératifs comme la naissance des enfants ou la retraite (Rogers, 1988 ; Rérat, 2005). **L'âge des membres ou de la personne de référence** du ménage apparaît comme une variable qui peut représenter la position du ménage au sein de ce cycle de vie.

D'autres recherches suggèrent qu'il existe une asymétrie importante entre les **locataires et les propriétaires** en termes de décisions de localisation résidentielle, ce qui semble logique dans la mesure où le statut d'occupation du logement est corrélé avec des variables comme le revenu du ménage ou l'âge de la personne de référence (Elder, Zumpano, 1991).

Un lien existe également entre la localisation d'un ménage et son **degré de motorisation**, représenté par le nombre de véhicules possédés. L'analyse des données d'enquête, met en évidence une relation positive entre le degré de motorisation des ménages et la distance par rapport au centre de leur résidence (Bonnell et al., 2003). Plus on s'éloigne du centre, qui est le pôle principal des activités de la ville, plus le besoin d'avoir au moins une voiture augmente. Cela influe également fortement sur l'usage des modes, notamment pour se rendre sur le lieu de travail. La part de la voiture augmente à mesure de l'éloignement du centre au détriment des modes collectifs ou de la marche à pied.

2.4.1.2. Lien entre les caractéristiques de l'environnement résidentiel et les choix de localisation résidentielle des ménages

La nouvelle théorie du consommateur de Lancaster met en évidence que le logement (ou la résidence) peut être vu comme un bien multidimensionnel différencié en un ensemble d'attributs variant en quantité et en qualité. Il peut ainsi se décomposer en trois dimensions : ses caractéristiques intrinsèques, les aménités et l'accessibilité (Lancaster, 1966).

Lorsqu'un ménage choisit un logement, il tient compte de multiples variables structurelles, soit quantitatives, comme la superficie ou le nombre de pièces de la résidence, soit qualitatives, comme le type (individuel – maison ou collectif – appartement), l'âge de l'immeuble (neuf ou ancien) ou le niveau d'équipement. Ces caractéristiques d'un logement se reflètent, en général, dans **son prix sur le marché immobilier**, ce prix étant également un critère en fonction duquel les ménages font leurs choix résidentiels. L'approche hédonique du prix immobilier repose sur cette hypothèse que le logement est un bien complexe, dont les caractéristiques sont les facteurs déterminants de son prix.

Le choix de la localisation résidentielle effectué par les ménages est lié à la **qualité de l'environnement social, économique et physique de la zone de résidence**. En retour, ces choix individuels déterminent une dynamique de cet environnement.

Si l'on cherche à prendre en compte l'influence des aménités sur la ségrégation résidentielle, on peut se rendre compte du fait que les ménages aisés donnent une plus grande importance à la présence d'aménités que les ménages disposant d'un revenu plus faible.

Il faut également noter que les caractéristiques socio-économiques des quartiers sont en mesure d'influencer les chances que les habitants accèdent à l'emploi, de même qu'elles peuvent conditionner d'autres décisions prises par les ménages. Ainsi les ressources du voisinage ont une influence sur la formation du capital humain (Ross, 2001).

Le choix de la localisation des ménages dépend aussi de leurs préférences concernant la qualité de l'environnement résidentiel, traduite en termes de présence d'espaces verts et de loisir, de niveau de pollution de l'air... Des chercheurs qui ont investigué l'effet de la présence de la végétation sur la valeur des propriétés, comme, par exemple, Thériault (2002) et Kestens (2004), ont mis en évidence la relation positive qui existe entre ces variables. Des études sur la perception des individus vis-à-vis de la présence des espaces verts dans la proximité de leur résidence ont également confirmé l'existence de cette relation avec la valeur du logement.

Enfin, les choix de localisation des ménages, mais aussi la valeur des logements, dépendent également de leur **proximité aux différents activités et services de la ville**. La présence dans la zone de résidence d'activités économiques, d'établissements d'enseignement ou commerciaux, la proximité au centre et aux grandes infrastructures de transport, le niveau de la densité de la population, sont des facteurs qui vont guider les décisions des ménages de se localiser dans une zone, en fonction de leurs besoins et préférences.

L'hypothèse de capitalisation des avantages retirés de la localisation résidentielle, tels que les aménités de voisinage ou l'accessibilité aux différents services découlent de nombreux travaux théoriques et empiriques en économie urbaine qui convergent vers l'idée que sur un marché immobilier concurrentiel, les consommateurs enchérissent pour les localisations selon leur propension à payer pour les attributs de localisation. C'est l'enchère maximale qui l'emporte et détermine le prix du marché. La valeur d'un bien est le résultat de l'interaction entre l'offre et la demande qui reflète les caractéristiques des consommateurs (leurs préférences, revenus). Or, ce n'est que dans un marché de concurrence pure et parfaite que le prix du marché pour un bien est identique à la valeur de ce bien. En réalité, le marché des biens immobiliers s'écarte de ces conditions idéales en raison des caractéristiques propres aux biens immobiliers – indivisibilité, hétérogénéité, information partielle (Fujita, 1989).

2.4.2. Déménager ou pas ? Un modèle logit binomial de mobilité résidentielle

Les données désagrégées au niveau du ménage de l'Enquête Logement 2002 ont servi à caler le modèle. En tirant de cette base les ménages de l'aire urbaine de Lyon, on a estimé les coefficients de chacune des variables de la fonction d'utilité, qui permet de calculer les probabilités de maintenir ou de changer la résidence pour les différents types de ménages.

2.4.2.1. La mobilité résidentielle décroît avec l'âge

A côté du nombre d'enfants du ménage, la variable âge de la personne de référence doit être considérée pour décrire les étapes du cycle de vie des ménages. Aux différentes étapes du cycle de vie d'un ménage correspond une trajectoire résidentielle particulière, avec des moments, dans certaines étapes, où a lieu un changement de résidence. Par rapport aux différentes tranches d'âge, qui correspondent aux différentes étapes du cycle de vie, on constate que les déménagements sont plus fréquents parmi les ménages plus jeunes, avec une tendance vers l'immobilité avec le vieillissement. L'âge de la jeunesse correspond à une étape de la vie dans laquelle, en général, le ménage n'a pas d'enfants, a moins de chances d'être propriétaire d'un logement, la mobilité professionnelle de ses membres est plus élevée, ce qui fait qu'il adopte un comportement résidentiel plus dynamique. L'avancement dans le cycle de vie tend à un renforcement progressif de ses diverses contraintes, qui fixent le ménage sur un lieu. Une fois ces variables contrôlées, il reste toujours une tendance à rester moins mobile chez les personnes âgées, que nous attribuerons simplement au facteur « âge ».

2.4.2.2. Les locataires déménagent plus que les propriétaires

Parmi les ménages plus mobiles, la part des ménages locataires est nettement plus importante que celle des ménages qui sont propriétaires de leur logement. C'est également une tendance qu'on retrouve dans l'étude bibliographique, qui s'explique notamment par le fait que l'une des raisons principales pour lesquelles un ménage change de logement est le désir de passer du statut de locataire de son ancien logement au statut de propriétaire du nouveau logement.

2.4.2.3. La mobilité résidentielle du ménage se réduit avec le nombre d'enfants

En comparant le profil du nombre d'enfants des ménages qui changent leur résidence avec celui des ménages qui ne bougent pas, on constate qu'à un ménage avec moins d'enfants correspond une mobilité résidentielle plus élevée, constat qui est en accord avec ce que préconise la littérature de la mobilité résidentielle. En effet, il est plus facile pour un jeune ménage sans enfant de changer de logement. Avec l'arrivée des enfants, le ménage a tendance à se stabiliser.

La mise en correspondance entre ce qui est observé et les prédictions du modèle montre que le pourcentage de ménages dont le choix a été correctement prévu est de 87%. Il y a cependant ici risque de confusion car 88,6% des ménages gardent leur lieu de résidence d'une année sur l'autre : un modèle ne prévoyant aucun déménagement obtiendrait de meilleurs résultats que le nôtre... Il est plus intéressant de noter que la prévision de notre modèle est correcte à de 41,2% pour les ménages changeant de résidence dans l'année.

Ce sont des changements d'états qui sont principalement la cause d'un déménagement (changement d'emploi, naissance d'un enfant, mise en couple, etc.). Nos variables explicatives, statiques, sont plus indicatives de la probabilité de changement d'état que du changement d'état lui-même. Pour améliorer les résultats, il serait nécessaire de dynamiser l'approche avec, par exemple, un module de suivi démographique pour représenter le cycle de vie des ménages et des événements qui l'accompagnent. En l'état, avec les données statiques disponibles, prévoir correctement plus de 40%

des ménages qui déménagent pour une année donnée alors que la moyenne globale est de 11,4% apparaît très satisfaisant et révèle une bonne prise en compte de la structure des variables explicatives sous-jacentes.

2.4.3. Où se localiser ? Un modèle logit multinomial de choix de l'IRIS de résidence

Comme dans le cas du modèle de mobilité résidentielle, nous utilisons une formulation logit pour modéliser la localisation des ménages. Il s'agit cette fois du logit multinomial adapté, puisqu'on a un très grand nombre d'alternatives de choix (777 IRIS, qui ont été éclatés en 5 810 cellules de 250x250m de localisations possibles – voir plus haut §2.1.3 et §2.1.4). Nous évoquons d'abord les variables utilisées avant de présenter la construction de ce modèle et les résultats obtenus.

2.4.3.1. Les variables utilisées

Pour caler ce modèle, nous utilisons les données du RGP 1999, plus précisément une population synthétique des ménages dont on connaît, parmi d'autres caractéristiques, la localisation au niveau de l'IRIS (Carte 7).

Le modèle est bâti uniquement à partir des ménages ayant déménagé dans l'aire urbaine de Lyon l'année précédent le recensement de 1999, soit 91 461 ménages sur les 662 249 de l'aire urbaine à l'époque. Grâce à l'INSEE, nous disposons d'une base exhaustive décrivant ces ménages à partir des variables suivantes :

- ✓ IRIS de résidence au moment du recensement ;
- ✓ déménagement l'année précédent le recensement (oui/non);
- ✓ âge de la personne de référence (moins de 30 ans ; 30-44 ans ; 45-59 ans ; 60-74 ans ; 75 ans et plus) ;
- ✓ statut du chef de ménage (travailleur à temps plein ; travailleur à temps partiel ; chômeur ; retraité ; autres inactifs - étudiants et personnes au foyer notamment) ;
- ✓ nombre de personnes du ménage (0, 1, 2, 3, 4, 5 ou plus) ;
- ✓ nombre d'actifs dans le ménage (0, 1, 2 ou plus) ;
- ✓ statut d'occupation du logement (propriétaire ou locataire) ;
- ✓ nombre de voitures à disposition du ménage (0, 1, 2 ou plus).

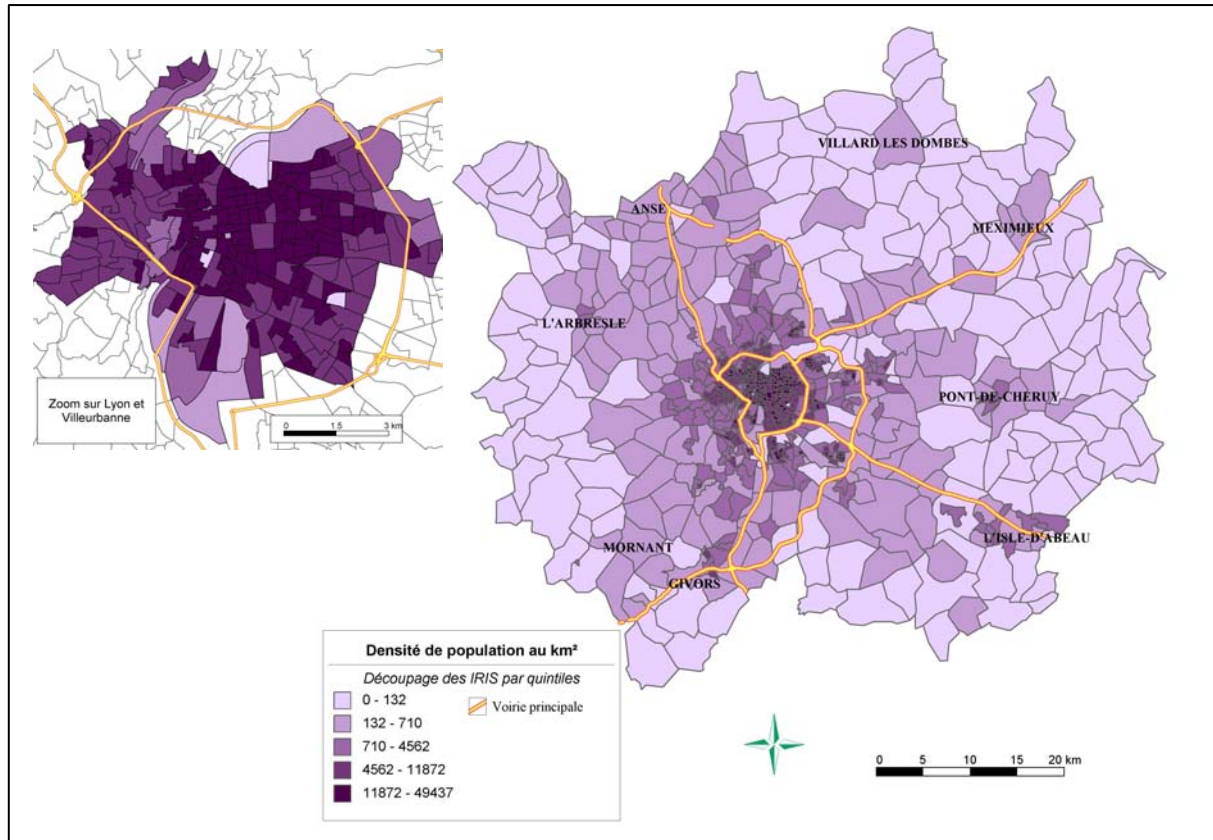
Un revenu par unité de consommation en trois classes a par ailleurs été imputé pour déterminer si le ménage était modeste (les 20% des ménages aux plus bas revenus), moyen (les 60% médians) ou aisé (les 20% aux plus hauts revenus). Pour réaliser cette imputation, nous avons eu recours aux données de l'Enquête Ménages Déplacements de Lyon 2006, au sein de laquelle les variables descriptives précédentes sont toutes disponibles et où 7 000 ménages ont indiqué leur revenu. Nous avons ainsi estimé un modèle explicatif en introduisant toutes les variables potentiellement explicatives du revenu, en essayant de ne retenir que les variables significatives du point de vue statistique. Trois variables ont finalement été retenues :

- ✓ le taux d'activité du ménage
(nb actifs/nb de personnes, en 5 classes : 0,]0 ; 0,33],]0,33 ; 0,66],]0,66 ; 1], 1)
- ✓ le nombre de VP du ménage
- ✓ le statut d'occupation du logement

La qualité du modèle a été satisfaisante, avec 62% de ménages correctement classés. D'autres tests ont été réalisés, en intégrant notamment la localisation ou le statut du chef de ménage, sans obtenir de meilleure estimation. Dès lors, les probabilités d'affectation à l'une des trois classes de la variable explicative du revenu par unité de consommation ont été calculées pour chaque type de ménage (en fonction des différents niveaux des trois variables explicatives on a $2 \times 3 \times 5 = 30$ types de ménages). Elles ont ensuite été utilisées pour affecter à chaque ménage du recensement 1999 une des trois classes de revenu.

Les variables descriptives des IRIS (et de leurs cellules) sont les mêmes que celles utilisées dans le modèle de localisation des établissements, avec une caractérisation de la proximité de la population, des emplois et des réseaux de transports, ainsi que le temps d'accès au centre et le prix de l'immobilier (Cf. §2.5.3.1).

Carte 7 : Localisation de la population dans l'aire urbaine de Lyon en 1999



Source : traitement LET, à partir du RGP Insee 1999

2.4.3.2. Le modèle retenu : un fort impact des variables d'accessibilité

Les variables caractéristiques des ménages sont ensuite introduites dans le modèle en construisant des effets croisés avec des caractéristiques des IRIS. Par exemple, les variables de profil du ménage comme l'âge de la personne de référence ou le revenu sont croisées avec des variables indiquant le pourcentage des ménages du même type dans l'IRIS concerné, afin d'évaluer le degré de mixité sociale ou, au contraire, de ségrégation dans le territoire de l'aire urbaine.

Dans le premier modèle retenu, tous les coefficients sont significatifs et le pseudo- R^2 de McFadden est de 0,40, ce qui indique une bonne qualité du modèle et un pouvoir explicatif important des variables introduites.

Les coefficients correspondants aux termes d'interaction entre les caractéristiques des ménages – âge de la personne de référence, revenu et nombre de personnes – et les pourcentages des ménages ayant les mêmes caractéristiques dans l'IRIS choisi montrent que, en général, les ménages ont tendance à se localiser dans une zone où il y a plus de ménages du même profil. Les ménages à bas revenu et les ménages de taille élevée (ayant des coefficients négatifs) font exception. Ils se localisent plutôt dans des zones où il y a moins de ménages résidents ayant le même niveau de revenu et respectivement de taille (en fait, il s'agit de ménages dont le niveau de vie est plutôt

réduit, et il n'y a aucun intérêt pour ces ménages à s'installer dans des zones où habitent majoritairement des ménages ayant le même profil).

Le signe positif (apparemment contre-intuitif, et qui est d'ailleurs très faible) du coefficient du prix immobilier au m² traduit une relation positive entre le niveau de cette variable et la probabilité d'un ménage de se localiser dans une zone caractérisée par ce niveau du prix. L'explication peut résider dans le fait que le prix capitalise les externalités de la zone, qui peuvent être déterminées par des caractéristiques non introduites dans le modèle. Nous trouvons ici un résultat similaire à celui du projet parisien SIMAURIF, qui a également estimé un coefficient positif pour le prix immobilier dans son modèle de localisation des ménages (De Palma, 2005).

Par rapport aux variables d'accessibilité, le fait que tous les coefficients soient significatifs montre que cette composante joue un rôle important dans les décisions de localisation résidentielle des ménages, et confirme l'hypothèse de l'existence d'un impact des transports sur l'urbanisation. Le signe positif des coefficients pour les variables accessibilité gravitaire aux emplois, accessibilité gravitaire aux établissements secondaires, accessibilité gravitaire aux grands commerces, nombre d'échangeurs accessibles en moins de 15 min et nombre de stations de métro à moins de 1000 m exprime le fait que l'utilité pour les ménages de se localiser dans un IRIS augmente quand l'accessibilité correspondante à ces opportunités est élevée. Les signes des coefficients pour les autres variables d'accessibilité (qui sont apparemment contre-intuitifs) sont à prendre avec précaution, étant donné que les corrélations qui existent entre les variables explicatives d'accessibilité rendent difficile l'interprétation de ces coefficients.

Pour traiter ces problèmes de corrélation, nous avons cherché à synthétiser l'information que ce groupe de variables apporte, en construisant un indicateur agrégé d'accessibilité. En utilisant l'analyse en composantes principales, on a obtenu une première composante qui synthétise presque toute l'information qu'on obtiendrait si on utilisait les neuf variables initiales (85% de la variance globale est expliquée par cette composante). Nous retenons donc cette première composante comme indicateur synthétique d'accessibilité :

$$\begin{aligned} \text{Accessibilité agrégée} = & -0,119 * \text{temps d'accès au centre en heure de pointe} \\ & + 0,124 * \text{nombre d'échangeurs autoroutiers à moins de 15 mn} \\ & + 0,112 * \text{nombre d'arrêts de bus à moins de 1000 mètres} \\ & + 0,092 * \text{nombre de stations de métro à moins de 1000 mètres} \\ & + 0,117 * \text{nombre de gares à moins de 30 minutes} \\ & + 0,129 * \text{accessibilité gravitaire aux grands commerces} \\ & + 0,129 * \text{accessibilité gravitaire aux établissements secondaires} \\ & + 0,129 * \text{accessibilité gravitaire à l'emploi} \\ & + 0,130 * \text{accessibilité gravitaire aux emplois du secteur tertiaire} \end{aligned}$$

Les accessibilités gravitaires sont établies à partir de la formule déjà présentée dans le modèle de

$$\text{localisation des établissements : } A_i = \sum_{j=0}^n \frac{O_j}{t_{i,j}} \quad (\text{Cf. §2.5.3.1})$$

Cet indicateur synthétique a été calculé pour chaque zone. Une valeur élevée de l'indicateur signifie une forte accessibilité aux opportunités. Nous estimons donc de nouveau le modèle à l'aide cette variable en ne conservant que les variables dont la significativité (p-value) est supérieure à 5% (Tableau 4) :

Tableau 4 : Coefficients estimés du modèle de choix de localisation résidentielle à la cellule

Variable	Coefficient	t de Student	p-value
<i>indicateur d'accessibilité agrégé</i>	0.98	141.3	0.000
<i>prix moyen au m² de l'immobilier collectif ancien</i>	$7 \cdot 10^{-4}$	31.1	0.000
<i>Age_pr<30 x taux_men_age_pr<30 ^(a)</i>	6.28	37.0	0.000
<i>Age_pr30-45 x taux_men_age_pr 30-45 ^(a)</i>	1.33	15.5	0.000
<i>Age_pr>75 x taux_men_age_pr >75 ^(a)</i>	3.45	5.0	0.000
<i>Men_revbas x taux_men_revbas ^(a)</i>	-2.863	-16.0	0.000
<i>Men_revhaut x taux_men_revhaut ^(a)</i>	5.19	26.6	0.000
<i>Men_taille1 x taux_men_taille1 ^(a)</i>	2.85	32.2	0.000
<i>Men_taille2 x taux_men_taille2 ^(a)</i>	6.71	23.6	0.000
<i>Men_taille>5 x taux_men_taille>5 ^(a)</i>	-7.24	-15.9	0.000

(a) Toutes les variables ménages sont multipliées par une variable indicatrice qui prend la valeur 1 lorsque le ménage possède les caractéristiques de la variable retenue et 0 dans les autres cas.

Source : Homocianu, 2009

L'introduction dans le modèle de l'indicateur synthétique d'accessibilité à la place des variables considérées antérieurement entraîne une légère baisse du pseudo- R^2 , qui est maintenant de 0,33.

Les constats sont les mêmes que dans le cas précédent. En revanche, on peut maintenant voir clairement la relation positive entre la composante globale d'accessibilité pour une zone et l'utilité retirée par les ménages de la localisation dans cette zone.

2.5. La localisation des activités économiques

URBANSIM propose par défaut une modélisation des emplois et de leur localisation. Compte tenu de l'organisation générale de SIMBAD, et notamment de l'intégration de FRETURB, il est apparu approprié de s'intéresser directement aux établissements qui contiennent ces emplois. En effet, ce sont eux qui génèrent les mouvements de marchandises pris en compte par ce modèle. Disposant des deux derniers fichiers SIRENE de 1999 et 2005 au niveau fin de l'IRIS (travail réalisé par Caubel, 2006), cela permettait également de disposer des chiffres d'emplois⁵ de manière détaillée spatialement et par secteur d'activité. Enfin, une vision à long terme du développement de SIMBAD pousse aussi au choix des établissements. En effet, ce sont eux qui sont transférés, vieillissent, s'agrandissent ou disparaissent, et c'est à partir des établissements et non des emplois qu'il sera éventuellement possible de travailler sur un module de cycle de vie permettant d'affiner le module de transition (Voir conclusion générale).

⁵ SIRENE fournit une description détaillée de chaque établissement, et notamment une répartition fine par classes de nombre de salariés (0 salarié, 1 à 2 salariés, 3 à 5, 6 à 9, 10 à 19, 20 à 49, 50 à 99, puis 100 à 199 et toutes les classes suivantes vont de 100 en 100). Des travaux menés dans le cadre de FRETURB permettent dès lors d'estimer un nombre moyen d'emplois par type d'établissement en fonction de leur classe de taille, de leur localisation et leur secteur d'activité suivant la nomenclature fine de l'INSEE en 700 types (Routhier, Toilier, 2007).

Le traitement des emplois étant trop simplifié dans URBANSIM pour prendre en compte les établissements, nous avons dès lors repris et adapté les modules de déménagement et de localisation des ménages. Les analogies de taille et de genre permettent en effet d'intégrer plus facilement les questions de nombre d'emplois et de secteur d'activité des établissements.

Un premier travail avait déjà bien souligné la diversité des logiques de localisation des établissements dans l'aire urbaine de Lyon (Gossmann, 2006). Il avait ensuite été repris en intégrant les logiques de modélisation d'URBANSIM (Bouvard, 2008) et un bilan global avait pu être proposé dans (Nicolas et al. 2008a). Nous refaisons ici un point sur les principaux facteurs explicatifs des transferts et des localisations pour proposer une typologie des établissements adaptée à notre sujet (§2.5.1). Nous présentons ensuite les résultats obtenus en matière de probabilités de transferts (§2.5.2) puis de choix de localisation (§2.5.3), essentiellement fonction du secteur et de la taille des établissements.

2.5.1. Transfert et localisation des établissements : des facteurs explicatifs intrinsèques convergents

2.5.1.1. Les facteurs explicatifs des transferts

Les entreprises décident de déménager essentiellement pour des raisons internes. En effet, la décision est surtout prise à la suite de modifications de l'activité (hausse, baisse, restructuration, etc.). A bien des égards, le transfert d'un établissement, total ou partiel, peut être considéré comme la mesure d'adaptation ultime de l'entreprise (Fischer, 1994). Autrement dit, un transfert étant toujours très coûteux, l'entreprise n'y recourt qu'une fois épuisées les possibilités d'adaptation sur place. Ce recours le plus tardif possible permet en partie de comprendre l'apparente inertie spatiale des établissements. En France, leur taux de transfert annuel est en moyenne de 4,6% pour les années 1989-1996 (Delisle et Laine, 1998), ce qui correspond également à la moyenne observée sur la région urbaine de Lyon (Battu et Vialette, 2005).

Le plus souvent, ce sont des facteurs immobiliers qui expliquent les motifs des transferts. Quel que soit le secteur d'activité, le motif dominant est l'inadaptation et la vétusté des locaux suivies par le besoin de les agrandir (Benard et al., 1999). Viennent ensuite les motifs relatifs à l'amélioration de l'accessibilité. D'une manière générale, l'examen des motifs les plus importants, que ce soit pour les transferts attendus ou réalisés, conduit à les répartir en quatre groupes : les motifs liés à l'usage direct des locaux ; les motifs liés à l'accessibilité ; les motifs liés à une restructuration, et les motifs liés à des coûts (Benard et al., 1999). Pour les extensions et les transferts, s'il s'agit d'un problème foncier ou immobilier ou d'accessibilité, la distance entre la première et la deuxième implantation peut être réduite car on souhaite conserver sa clientèle, son personnel et son cadre de vie ; à l'opposé, si la volonté est de conquérir de nouveaux marchés ou de réduire ses coûts de main d'œuvre, la distance peut parfois être beaucoup plus grande (Merenne-Schoumaker, 2003).

Par ailleurs, le taux de mobilité d'un établissement varie sensiblement suivant ses caractéristiques (Battu et Vialette, 2005 ; Jourdan, 2004 ; Merenne-Schoumaker, 2003). En suivant la littérature quatre caractéristiques déterminantes ressortent : le secteur d'activité, la taille, l'âge et le type d'entreprise à laquelle appartient l'établissement.

Le secteur d'activité. La mobilité géographique des établissements est très variable d'un secteur d'activité à l'autre. Le taux de mobilité est maximal pour les services aux entreprises (7,01%), les transports (6,11%) et le commerce de gros (6,07%) (Delisle et Laine, 1998). D'après la littérature, la mobilité est facilitée par la présence dans ces activités de nombreux établissements jeunes ou de petite taille, dont on verra qu'ils sont plus sensibles aux transferts. Les services sont donc le secteur le plus mobile. Les services aux entreprises représentent près de 30% des transferts d'établissements sur la période 1998-2000. La mobilité du secteur des services aux entreprises s'explique en partie par sa grande réactivité à la conjoncture : les locaux sont utilisés au plus juste en fonction du

volume de l'activité. En période de forte croissance, ces établissements déménagent pour s'installer dans des locaux plus spacieux et réciproquement en cas de baisse de l'activité (Le Roho, 2006).

La taille des établissements. Les transferts sont avant tout le fait d'établissements d'effectifs salariés faibles. Ainsi, en terme de taille, plus de 90% des établissements transférés ont moins de dix salariés et plus d'un sur deux n'a pas de salarié. A l'opposé, les taux de mobilité décroissent rapidement au-dessus de vingt salariés et les grands établissements sont très peu mobiles. Cependant, du seul fait de leur taille, ces établissements représentent une part importante des effectifs transférés. D'après l'étude réalisée par l'Insee Rhône-Alpes (Battu et Vialette, 2005), compte tenu de leur taille, les établissements de plus de 10 salariés, bien que minoritaires, représentent 62% des effectifs concernés par un transfert. En outre, les établissements de plus de 50 salariés entrés dans la région urbaine de Lyon entre 1996 et 2001 représentent à eux seuls un tiers du total des emplois entrants.

L'entreprise à laquelle appartient l'établissement. La moitié des transferts concerne des établissements appartenant à une entreprise sans salarié. En outre, la mobilité décroît avec la taille de l'entreprise à laquelle appartient l'établissement. Les entreprises sans salarié et les entreprises de moins de 20 salariés (TPE, Très Petite Entreprise) sont les plus mobiles. Nous retrouvons ici des résultats proches de ceux obtenus avec l'examen de la taille de l'établissement. Pour éviter les informations redondantes, nous excluons la taille de l'entreprise dans la suite de notre étude.

L'âge de l'établissement. Les établissements qui déménagent sont en moyenne plus jeunes que les autres. Par ailleurs, on observe que la mobilité est maximale pour les établissements ayant entre 3 et 5 ans d'ancienneté. Les transferts, comme d'ailleurs les défaillances d'entreprises, s'opèrent surtout pendant la phase d'ajustement qui suit le démarrage de l'activité. Autrement dit, la mobilité culmine dans la deuxième phase de vie de l'établissement. Elle décroît ensuite régulièrement avec l'âge. A secteur et taille fixés, l'âge de l'établissement constitue un frein net à la mobilité (Jourdan, 2004).

2.5.1.2. Les facteurs explicatifs des localisations

D'un point de vue théorique, deux facteurs importants jouent sur les logiques de localisation des firmes (Ponsard, 1988 ; Fujita, Thisse, 2003) :

- ✓ Depuis Von Thünen jusqu'à la nouvelle économie urbaine d'Alonso ou Muth, le positionnement spatial des firmes est considéré comme résultant d'un arbitrage entre coûts d'accès au centre et prix du foncier. Les transports et l'efficacité des réseaux jouent un rôle non négligeable ici.
- ✓ Ce premier modèle théorique a ensuite été complexifié en considérant que de nombreuses entreprises ont avantage à se localiser à proximité les unes des autres. Certaines peuvent tirer profit d'être situées auprès d'entreprises similaires (externalités de localisation), d'autres de la diversité sectorielle de leur territoire (externalité d'urbanisation).

Les travaux plus empiriques (Merenne-Schoumacker, 1991, 2003 ; Aguilera et al., 1999) font ressortir par ailleurs que dans l'industrie comme dans les services, les localisations sont influencées par les caractéristiques des établissements et des territoires. Parmi les caractéristiques des établissements, les exigences varient fortement entre les **secteurs d'activité**. Les logiques de localisation des services ont des points communs avec celles des industries, mais elles se distinguent souvent du fait de la dimension en partie immatérielle de l'activité de service et du rôle de l'information dans le secteur tertiaire. La **taille de l'établissement** est également un facteur qui influence le choix d'implantation du fait des besoins d'espace et de main d'œuvre. Enfin, la **taille de l'entreprise** à laquelle appartient l'établissement va jouer : le comportement des grands groupes est différent de celui des PME et TPE.

On le voit, vu sous l'angle des caractéristiques internes aux entreprises, les facteurs explicatifs des transferts et des localisations apparaissent identiques, même s'ils ne jouent pas forcément de la même façon dans les deux cas.

Par contre, les facteurs externes liés aux **caractéristiques du territoire**, vont également jouer un rôle explicatif fort dans les logiques de localisation, que l'on ne retrouve pas pour les transferts. Parmi ces caractéristiques, le **marché de l'emploi** joue un rôle sensible du fait des besoins en main-d'œuvre. Les industries ne sont pas seulement attirées par sa disponibilité et son coût mais aussi par sa réputation ou sa qualification. La main-d'œuvre est importante pour certains services, mais leur standardisation peut entraîner des délocalisations vers des bassins à main-d'œuvre moins coûteuse. **Les infrastructures de transport et l'accessibilité** sont importantes pour les deux types de secteur, par exemple pour l'industrie une meilleure accessibilité peut se traduire par une baisse des coûts de transport et un meilleur acheminement des produits. Pour les services, une meilleure accessibilité peut augmenter la fréquentation d'un lieu.

Pour les services, la **proximité au marché** est importante, car la fréquentation d'un service peut diminuer avec la distance le séparant des usagers potentiels. Par contre, le marché local joue moins pour les industries. Enfin, pour les services comme les industries, les **économies d'agglomération** jouent un rôle significatif (Million, 2004). Les entreprises cherchent à se localiser à proximité des autres entreprises, et les services cherchent également la proximité à la population.

2.5.1.3. Une typologie homogène des établissements par secteur d'activité

A partir de ces constats, les 100 506 établissements du fichier SIRENE de l'aire urbaine de Lyon de 1999 ont été distingués dans une classification en 17 secteurs d'activités, réalisée à partir de regroupements au sein des Nomenclatures Economiques de Synthèse (NES) en 16 et 36 secteurs de l'INSEE.

La mobilité des établissements diffère significativement en fonction du secteur d'activité, de la taille et de l'âge de l'établissement. Les établissements appartenant au secteur des services aux entreprises sont les plus mobiles. Cette mobilité est facilitée par la présence dans ce secteur de nombreux établissements jeunes ou de petite taille, dont on a vu qu'ils sont plus enclins aux transferts. La distinction opérée par la NES fournit ici une première segmentation intéressante que l'exploration empirique a confirmée (Cf. §2.4.2).

Par rapport à la NES 16, nous avons par ailleurs distingué le commerce de gros du commerce de détail en raison de comportements de mobilité comme de localisation différents (Merenne-Schoumaker, 2003). Le commerce de détail achète des marchandises pour les revendre en petites quantités au consommateur ou à l'utilisateur final et le commerce de gros vend des quantités importantes à des revendeurs, des utilisateurs ou des collectivités.

Il est également rapidement apparu que les 4000 entreprises agricoles de l'Aire Urbaine ont des logiques de localisation complètement différentes des autres. Elles ont été laissées à part.

Enfin, les activités immobilières et les activités financières, distinguées dans la NES 16, ont été regroupées dans notre nomenclature car elles ont les mêmes comportements de localisation. Leur taille moyenne et leur activité font qu'elles ont également des taux de transferts similaires.

Au final, une classification en 17 secteurs a été retenue pour travailler sur la mobilité et la localisation des établissements (Tableau 5). Elle a servi à caractériser les 100 506 établissements de l'aire urbaine de Lyon recensés dans le fichier SIRENE en 1999.

Tableau 5 : Les 17 secteurs d'activités retenus par rapport à la NES (16 et 36 postes) et leur répartition dans l'aire urbaine de Lyon en 1999

<i>17 Secteurs d'activités</i>		<i>Nomenclature INSEE</i>	<i>Nombre établissements</i>	<i>% Etab.</i>	<i>Nombre d'emplois</i>	<i>% emplois</i>
Administration, associations	AD	Administration (ER)	4622	5%	56193	8%
Agriculture	AG	Agriculture, sylviculture, pêche (NES 16=EA)	4210	4%	7358	1%
Industries agricoles et alimentaires	EB	Industries agricoles et alimentaires (EB)	2118	2%	12482	2%
Industries des biens de consommation	EC	Industries des biens de consommation (EC)	2574	3%	27254	4%
Industrie automobile	ED	Industrie automobile (ED)	98	0,1%	10393	1%
Industries des biens d'équipement	EE	Industries des biens d'équipement (EE)	1988	2%	35955	5%
Industries des biens intermédiaires	EF	Industries des biens intermédiaires (EF)	2605	3%	52727	7%
Energie	EG	Energie (EG)	342	0,3%	19279	3%
Construction	EH	Construction (EH)	8088	8%	46996	6%
Transports	EK	Transports (EK)	3534	4%	35952	5%
Activités immobilières et financières	EM	Act. immobilières (EM) Act. financières (EL)	5831	6%	36671	5%
Services aux entreprises	EN	Services aux entreprises (EN)	16202	16%	120058	16%
Services aux particuliers	EP	Services aux particuliers (EP)	12272	12%	53764	7%
Education, santé, action sociale	EQ	Education, santé, action sociale (EQ)	13858	14%	103217	14%
Commerce et réparation automobile	J1	Commerce (NES 36= J1)	2660	3%	16224	2%
Commerce de gros, intermédiaires	J2	Commerce (NES 36= J2)	7318	7%	51196	7%
Commerce de détail, réparations	J3	Commerce (NES 36= J3)	12186	12%	57362	8%
Total			100506	100%	743080	100%

Source : traitement LET, à partir du répertoire Sirene 1999, INSEE

La taille des établissements a également été privilégiée comme variable explicative commune, et le découpage suivant a été retenu, en fonction du nombre d'effectifs salariés :

- ✓ 0 salarié,
- ✓ 1 à 9 salariés,
- ✓ 10 à 19,
- ✓ 20 à 49,
- ✓ 50 à 249,
- ✓ 250 à 499,
- ✓ 500 salariés et plus, même si cette dernière classe n'a été finalement que très peu utilisée et n'a pas servi dans les calages des modèles faute d'effectifs suffisants.

2.5.2. Application : les probabilités de transfert

Le fichier SIRENE est à lui seul insuffisant pour établir des probabilités de transfert car il ne contient aucune information fiable sur la mobilité passée des établissements qu'il recense. Pour répondre à cet objectif, une extraction du Répertoire des Entreprises et des Etablissements (REE) a été commandée à l'INSEE. Elle nous a fourni les nombres d'établissements arrivés dans l'aire urbaine de Lyon en 1998, 1999 et 2000 en fonction des variables clés que nous avons retenues, à savoir leur secteur d'activité (NES 36), leur date de création initiale en 5 classes (<3 ans, 3-5, 5-10, 10-20 et >20 ans), la tranche d'effectifs salariés de l'établissement après transfert en 7 classes (0 salarié, 1 à 9 salariés, 10 à 19, 20 à 49, 50 à 249, 250 à 499, 500 salariés et plus) et la tranche d'effectifs salariés de l'entreprise après transfert (en 2 classes: 0 à 499 salariés, 500 salariés et plus).

Les établissements transférés recensés dans le REE appartiennent au champ Industrie, Commerce, Services qui recouvre les activités marchandes de l'industrie, de la construction, du commerce et des services. Les classes « Administration, associations » et « Agriculture » de notre typologie ne sont donc pas couvertes, et nous travaillons ici sur la classification en 15 secteurs d'activités, qui appartiennent au champ ICS (Industrie, Construction, Commerce, Service), soit environ 80 000 établissements sur l'aire urbaine de Lyon en 1999.

Une typologie d'établissements a été réalisée en fonction du taux de mobilité et en croisant les variables relatives au secteur, à la taille et à l'âge des établissements. Seules les variables apparaissant les plus déterminantes dans la décision du transfert ont été retenues, à savoir le secteur d'activité et la taille de l'établissement. L'âge n'a donc pas été repris ; une fois croisé avec les autres variables, son impact reste significatif, mais moins important que les autres ; cette variable reste par ailleurs difficile à prendre en compte dans la version actuelle de SIMBAD.

Les probabilités de transfert obtenues figurent dans le Tableau 6 ci-dessous. La mobilité est maximale pour les établissements appartenant au secteur des services aux entreprises et qui n'ont pas de salariés (8,02%). Globalement, quel que soit le secteur d'activité considéré, le taux de transfert diminue lorsque la taille de l'établissement augmente. Enfin, les probabilités des grands établissements de plus de 250 salariés n'ont pas été calculées car les effectifs concernés étaient trop faibles. Ils restent donc immobiles dans SIMBAD, sauf à être déplacées « manuellement » en cas de transfert anticipé par l'utilisateur.

Ce sont ces résultats qui sont utilisés dans le module de relocalisation d'URBANSIM.

Tableau 6 : Secteur d'activité / Taille / Taux de mobilité (%)

<i>Secteurs</i>		<i>aucun salarié</i>	<i>TPE</i>		<i>PME</i>		
		<i>0</i>	<i>1 - 9</i>	<i>10 - 19</i>	<i>20 - 49</i>	<i>50 - 99</i>	<i>100 - 249</i>
Services aux particuliers	EP	2,30%	0,72%	0,37%	0,41%	0%	0%
Commerce de détail, réparation	J3	3,33%	1,62%	1,23%	1,30%	0%	2,78%
Activités immobilières	EM	6,64%	4,28%	7,02%	3,14%	0%	0%
Services aux entreprises	EN	8,02%	6,71%	6,18%	6,10%	3,97%	2,61%
Education, santé, action sociale	EQ	5,65%	2,54%	0,46%	0,32%	0%	0%
Industries des biens de consommation	EC	4,99%	5,61%	3,43%	5,07%	2,47%	0%
Industries agricoles et alimentaires	EB	4,25%	0,52%	0%	3,62%	1,85%	0%
Construction	EH	6,10%	5,81%	6,05%	4,47%	3,08%	4,63%
Commerce et réparation automobile	J1	4,25%	2,04%	2,03%	2,06%	3,92%	4,17%
Industries des biens d'équipement	EE	4,74%	6,29%	4,71%	5,10%	0%	2,08%
Industries des biens intermédiaires	EF	4,18%	4,63%	4,36%	1,07%	3,17%	3,17% ⁽¹⁾
Commerce de gros intermédiaires	J2	6,19%	6,58%	5,23%	4,07%	1,52%	2,78%
Transports	EK	6,31%	6,59%	7,03%	4,23%	3,43%	0,65%
Energie ⁽²⁾	EG	4,43%			0%		
Industrie automobile ⁽²⁾	ED	3,33%			0%		

Champ ICS (Industrie, Construction, Commerce, Services)

(1) valeur corrigée, elle est égale au taux de transfert des établissements de plus de 50 salariés.

(2) Pour le secteur de l'énergie et de l'industrie automobile, les effectifs sont < 40 établissements par tranche de taille, nous affectons un taux moyen.

Source : traitement LET, à partir du répertoire des entreprises et des établissements INSEE, aire urbaine de Lyon, 1998, 1999 et 2000

2.5.3. La probabilité de localisation

Le type de modélisation adopté pour représenter la probabilité de choix d'un IRIS pour un établissement donné est le logit multinomial proposé dans URBANSIM (Voir plus haut. §2.1.3). L'information de base qui a été utilisée pour établir ces probabilités est le nombre d'établissements d'un type donné (secteur x taille) dans chaque Iris de l'aire urbaine.

Cependant, nous avons vu que les caractéristiques propres à un établissement sont insuffisantes pour comprendre son comportement de localisation. Il est nécessaire de les croiser avec les caractéristiques du territoire lui-même. Nous présentons donc les variables qui ont été constituées pour décrire les IRIS avant d'aborder les résultats de l'exercice de modélisation proprement dit.

2.5.3.1. Les variables qualifiant le territoire

En plus des caractéristiques des établissements, sept grandes familles de variables explicatives qualifiant les IRIS ont été retenues et testées pour la modélisation des localisations. Les données INSEE de population (RGP) et d'établissements (fichier SIRENE) ont servi de base pour qualifier chaque IRIS, et les temps d'accès entre zones calculés par DAVISUM dans SIMBAD (Cf. §4.1 et

4.2) ont complété ces premières informations en permettant d'estimer des indicateurs d'accessibilité plus complexes :

- ✓ **la proximité à la population**, considérée à travers la densité et le nombre de personnes de l'IRIS ;
- ✓ **la prise en compte des économies d'agglomération**. Les économies d'agglomération représentent les avantages que les entreprises retirent à se localiser à proximité les uns des autres. Elles ont été exprimées à travers les densités et les nombres d'établissements et d'emplois par secteur dans chaque IRIS ;
- ✓ **les zones d'activités** peuvent également être un indicateur de ces économies d'agglomération. Mais elles apportent une dimension particulière d'espace spécifiquement dédié aux entreprises, avec des terrains équipés à un prix peu élevé et situé dans un environnement de qualité. L'indicateur retenu a été la part de zone d'activité dans l'IRIS, calculée grâce aux informations disponibles dans la base Géoroute 1999 de l'IGN ;
- ✓ **l'accessibilité**, qui joue un rôle essentiel dans les localisations, a été traduite sous diverses formes. Des accessibilités isochroniques ont été établies, avec un nombre d'opportunités (population, emplois, établissements, etc.) contenues dans un temps donné à partir de l'IRIS considéré. Des accessibilités gravitaires ont également été calculées, avec une forme simple de type : $AO_i = \sum_{j=1}^n O_j / tps_{ij}$
 Avec AO_i = Accessibilité à un type d'opportunités (population, emplois, etc.) de l'IRIS i ;
 O_j = nombre d'opportunités contenues dans l'IRIS j ;
 tps_{ij} = temps d'accès entre les IRIS i et j
- ✓ **le temps d'accès au centre**, indicateur plus simple du modèle monocentrique, a été estimé par le temps d'accès à la préfecture en heure creuse et en heure de pointe ; la distance a également été testée, mais avec de moins bons résultats ;
- ✓ **le prix de l'immobilier**, enfin, a été estimé par le module présenté dans la partie précédente (Cf. §2.3)

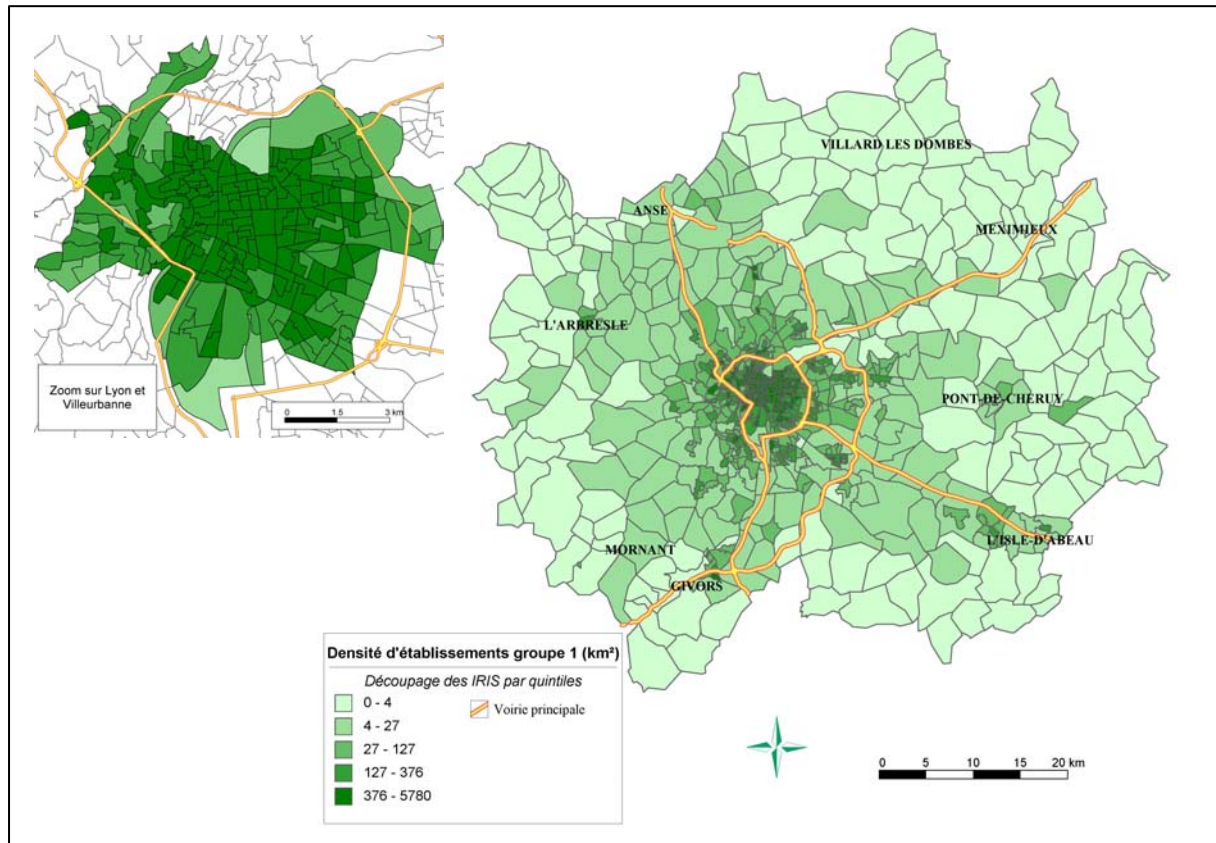
Par ailleurs, nous avons cherché à affiner les logiques de localisation liées aux économies d'agglomération en cherchant à voir quels types d'établissements s'attiraient ou se repoussaient entre eux. Ceci a permis de qualifier les IRIS de manière plus synthétique, en fonction des grands types d'activités qu'ils abritent ou qui se trouvent à proximité.

Ainsi, une première matrice des corrélations a été construite pour pouvoir observer les relations entre les secteurs. Elle représente la corrélation entre les nombres d'établissements de chaque secteur d'activité dans chaque Iris. Elle donne ainsi une mesure de la proximité spatiale des établissements. Trois groupes ont été créés en regroupant les secteurs qui ont des corrélations proches (Tableau 7).

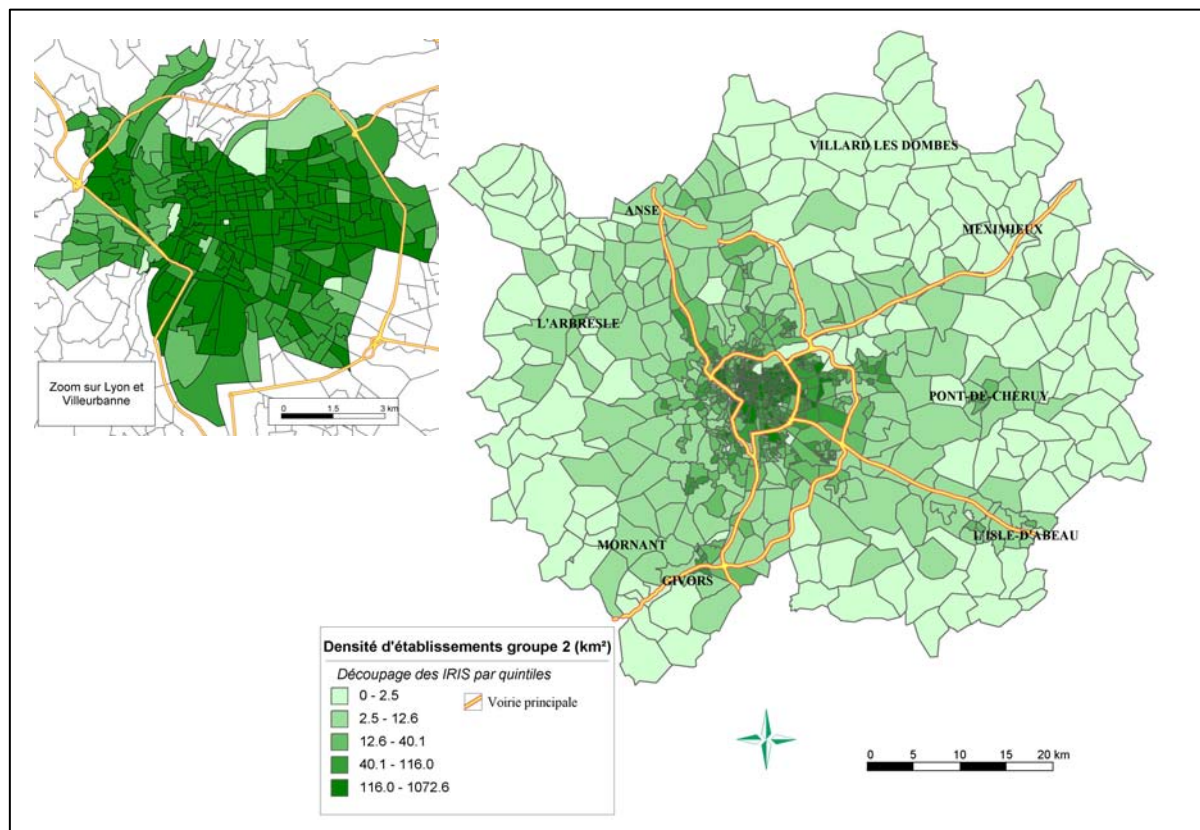
1^{er} groupe : à peu de choses près ce groupe reprend les secteurs des services définis au sens large, qui correspond aux commerces, à l'administration, aux activités financières et immobilières, aux services aux entreprises et aux particuliers, à l'éducation, à la santé et l'action sociale (Carte 8).

2^{ème} groupe : ce groupe est composé des secteurs industriels, plus des secteurs « commerces et réparation automobile » et « commerce de gros intermédiaire » qui n'ont pas la même logique de localisation que le secteur commerce de détail classé dans le groupe 1. S'y rajoutent également les secteurs de la construction et des transports qui apparaissent bien corrélés à ce groupe (Carte 9).

3^{ème} groupe : ce groupe est un peu particulier, composé de trois secteurs aux faibles effectifs, plus concentrés et peu corrélés avec les autres secteurs. On y retrouve les secteurs de l'énergie, de l'industrie automobile et de l'agriculture.

Carte 8 : Localisation des établissements du groupe 1 dans l'aire urbaine de Lyon - 1999

Source : traitement LET, à partir du fichier SIRENE 1999

Carte 9: Localisation des établissements du groupe 2 dans l'aire urbaine de Lyon - 1999

Source : traitement LET, à partir du fichier SIRENE 1999

2.5.3.2. Les résultats de la modélisation

Plusieurs modèles de localisation des établissements ont dès lors pu être estimés. D'une part l'effet du secteur d'activité sur la localisation des établissements a été exploré. 17 modèles différents ont été estimés, soit un modèle par secteur d'activité. L'effet taille a également été pris en compte, pour voir si la contrainte qu'elle impose aux grandes entreprises n'est pas plus importante que les caractéristiques sectorielles proprement dites. Enfin, différents types d'indicateurs d'accessibilité ont pu être testés, calculés en heures creuses et en heures de pointe.

Au final, pour les établissements qui ont une taille inférieure à 50 salariés nous avons réalisé 17 modèles différents selon les secteurs d'activités. Et pour les établissements qui ont une taille supérieure à 50 salariés nous avons créé deux modèles supplémentaires, un pour les établissements qui ont entre 50 et 249 salariés et un autre pour ceux qui ont plus de 250 salariés (Tableau 11).

Les résultats obtenus en distinguant les établissements selon leur secteur d'activité sont très satisfaisants.

- ✓ Ils sont excellents pour les secteurs du groupe 1 (Tableau 8), avec des pseudo- R^2 variant entre 0,52 (administrations) et 0,64 (activités immobilières et financières). Seul le secteur des industries agricoles et alimentaires donne des résultats relativement moins bons, avec un pseudo- R^2 de 0,32. Ce secteur apparaissait déjà en frontière du groupe dans la matrice des corrélations initiale. Son interaction spatiale, relative mais réelle, avec le secteur agricole qui, lui, est resté très mal pris en compte, fournit une piste d'explication.
- ✓ Ils sont corrects pour les secteurs du groupe 2 (Tableau 9), tournés vers les productions intermédiaires. Ainsi les pseudo- R^2 de Mac Fadden varient dans ce groupe entre 0,29 (construction) et 0,51 (commerce de gros intermédiaire).
- ✓ Ces résultats apparaissent beaucoup plus différenciés dans le groupe 3 (Tableau 10), qui est plus hétérogène. Corrects pour l'énergie (pseudo- R^2 de 0,36), juste passables pour l'industrie automobile (pseudo- R^2 de 0,22), ils sont mauvais pour le secteur agricole, que les variables retenues (et quelques autres testées !) ne représentent pas du tout. Soulignons par ailleurs qu'il n'est pas envisagé de faire bouger les entreprises de ce dernier secteur (4% des établissements, 1% des emplois sur l'aire urbaine) dans le cadre de SIMBAD.

Enfin, les coefficients des variables finalement retenues varient de manière homogène entre les secteurs, et dans le sens pressenti par revue bibliographique.

Tableau 7 : Matrice des corrélations entre les secteurs

		GROUPE 1									GROUPE 2							GROUPE 3		
	Somme établissements GROUPE 1	Services aux particuliers	Commerce de détail, réparation	Activités immobilières et financières	Services aux entreprises	Education, santé, action sociale	Administrations, associations	Industries des biens de consommation	Industries agricoles et alimentaires	Somme établissements GROUPE 2	Industries des biens d'équipement	Industries des biens intermédiaires	Commerce de gros intermédiaires	Construction	Commerce et réparation automobile	Transports	Energie	Industrie automobile	Agriculture	
	G1	EP	J3	EM	EN	EQ	AD	EC	EB	G2	EE	EF	J2	EH	J1	EK	EG	ED	AG	
G1	1,00	0,89	0,89	0,90	0,88	0,81	0,79	0,79	0,50	0,42	0,21	0,18	0,53	0,26	0,30	0,31	0,36	0,01	-0,09	
EP	0,89	1,00	0,80	0,72	0,66	0,70	0,73	0,79	0,53	0,35	0,14	0,14	0,42	0,26	0,27	0,25	0,21	0,02	-0,06	
J3	0,89	0,80	1,00	0,75	0,66	0,67	0,61	0,69	0,48	0,32	0,15	0,14	0,38	0,20	0,27	0,27	0,29	0,03	-0,08	
EM	0,90	0,72	0,75	1,00	0,88	0,65	0,67	0,68	0,35	0,35	0,15	0,13	0,50	0,16	0,21	0,26	0,43	0,01	-0,09	
EN	0,88	0,66	0,66	0,88	1,00	0,61	0,68	0,68	0,30	0,51	0,31	0,25	0,66	0,26	0,33	0,34	0,43	0,02	-0,10	
EQ	0,81	0,70	0,67	0,65	0,61	1,00	0,64	0,51	0,48	0,22	0,06	0,02	0,27	0,21	0,19	0,16	0,19	-0,03	-0,12	
AD	0,79	0,73	0,61	0,67	0,68	0,64	1,00	0,56	0,33	0,26	0,11	0,07	0,37	0,12	0,12	0,23	0,41	-0,04	-0,05	
EC	0,79	0,79	0,69	0,68	0,68	0,51	0,56	1,00	0,34	0,47	0,30	0,33	0,53	0,28	0,30	0,31	0,10	0,06	-0,08	
EB	0,50	0,53	0,48	0,35	0,30	0,48	0,33	0,34	1,00	0,36	0,20	0,22	0,26	0,45	0,30	0,27	0,11	0,07	0,33	
G2	0,42	0,35	0,32	0,35	0,51	0,22	0,26	0,47	0,36	1,00	0,86	0,84	0,87	0,75	0,74	0,72	0,20	0,35	0,12	
EE	0,21	0,14	0,15	0,15	0,31	0,06	0,11	0,30	0,20	0,86	1,00	0,83	0,72	0,60	0,59	0,53	0,10	0,38	0,08	
EF	0,18	0,14	0,14	0,13	0,25	0,02	0,07	0,33	0,22	0,84	0,83	1,00	0,65	0,59	0,58	0,55	0,11	0,38	0,08	
J2	0,53	0,42	0,38	0,50	0,66	0,27	0,37	0,53	0,26	0,87	0,72	0,65	1,00	0,46	0,54	0,55	0,25	0,23	-0,02	
EH	0,26	0,26	0,20	0,16	0,26	0,21	0,12	0,28	0,45	0,75	0,60	0,59	0,46	1,00	0,63	0,41	0,08	0,24	0,33	
J1	0,30	0,27	0,27	0,21	0,33	0,19	0,12	0,30	0,30	0,74	0,59	0,58	0,54	0,63	1,00	0,44	0,12	0,31	0,03	
EK	0,31	0,25	0,27	0,26	0,34	0,16	0,23	0,31	0,27	0,72	0,53	0,55	0,55	0,41	0,44	1,00	0,19	0,26	0,09	
EG	0,36	0,21	0,29	0,43	0,43	0,19	0,41	0,10	0,11	0,20	0,10	0,11	0,25	0,08	0,12	0,19	1,00	0,08	0,01	
ED	0,01	0,02	0,03	0,01	0,02	-0,03	-0,04	0,06	0,07	0,35	0,38	0,38	0,23	0,24	0,31	0,26	0,08	1,00	0,03	
AG	-0,09	-0,06	-0,08	-0,09	-0,10	-0,12	-0,05	-0,08	0,33	0,12	0,08	0,08	-0,02	0,33	0,03	0,09	0,01	0,03	1,00	

Corrélation :

	> 0,9
	> 0,8 cor < 0,9
	> 0,7 cor < 0,8
	> 0,6 cor < 0,7
	> 0,5 cor < 0,6
	> 0,4 cor < 0,5
	> 0,3 cor < 0,4

Source :Bouvard, 2008

Tableau 8 : Qualité des régressions pour les secteurs du groupe 1

	<i>EP</i> Serv. Part.	<i>J3</i> Com. détail	<i>EM</i> Act Im. Fi.	<i>EN</i> Serv. Ent.	<i>EQ</i> Educ, santé	<i>AD</i> Adm.	<i>EC</i> Ind BCons	<i>EB</i> Ind AgrAl
Accessibilité gravitaire à l'emploi groupe 1	+	+	+	+	+	+	+	+
	***	***	***	***	***	***	***	*
Accessibilité gravitaire à l'emploi groupe 2	+	+	+	+	+	+	+	+
	***	***	***	***	***	***	***	**
Accessibilité gravitaire à l'emploi total	-	-	-	-	-	-	-	-
	***	***	***	***	***	***	***	**
Accessibilité gravitaire à la population	+	+	+	+	+	+	n.s.	+
	***	***	***	***	***	**		**
Densité de population	+	+	+	+	+	+	+	+
	***	***	***	***	***	***	***	***
Proximité aux établissements groupe 1	+	+	+	+	+	+	+	+
	***	***	***	***	***	***	*	***
Proximité aux établissements groupe 2	-	-	n.s.	n.s.	-	-	+	-
	***	***			***	***	***	***
Prix immobilier estimé	-	-	n.s.	+	-	-	n.s.	-
	***	***		*	***	***		**
Temps d'accès au centre	-	-	-	-	-	-	-	n.s.
	***	***	***	***	***	**	***	
Likelihood ratio index (pseudo-R²)	0,55	0,58	0,64	0,59	0,58	0,52	0,61	0,32

Source : traitement LET, à partir de Bouvard, 2008

Tableau 9 : Qualité des régressions pour les secteurs du groupe 2

	<i>EE</i> Ind BEquip	<i>EF</i> Ind BInt	<i>J2</i> Com Gros Int	<i>EH</i> Construction	<i>J1</i> Com RepAuto	<i>EK</i> Transports
Accessibilité gravitaire à l'emploi G1	+	+	+	+	+	+
	*	***	***	***	*	***
Accessibilité gravitaire à l'emploi G2	+	+	+	+	+	+
	**	***	***	***	**	***
Accessibilité gravitaire à l'emploi total	-	-	-	-	-	-
	*	***	***	***	**	***
Accessibilité gravitaire à la population	n.s.	n.s.	n.s.	+	+	n.s.
				***	***	
Densité de population	+	+	+	+	+	+
	***	***	***	***	***	***
Proximité aux établissements G1	-	-	-	-	-	n.s.
	**	***	**	**	*	
Proximité aux établissements G2	+	+	+	+	+	+
	***	***	***	***	***	***
Prix immobilier estimé	-	-	n.s.	-	-	-
	**	**		***	**	***
Temps d'accès au centre	-	-	-	-	-	-
	***	**	***	***	**	**
Likelihood ratio index (pseudo-R²)	0,38	0,35	0,51	0,29	0,41	0,37

Source : traitement LET, à partir de Bouvard, 2008

Légende :

On peut se référer au Tableau 5 (description des 17 secteurs d'activité retenus) pour une description plus détaillée des secteurs

+ /- : signe du coefficient

p-value : n.s.: $\geq 0,5$; * $\in]0,5 ; 0,01]$; ** $\in]0,01 ; 0,001]$; *** $< 0,001$

Tableau 10 : Qualité des régressions pour les secteurs du groupe 3

	EG Energie	ED Ind. automobile	AG Agriculture
Temps d'accès au centre	- ***	- ***	+ *
Proximité aux établissements du G1	n.s.	n.s.	- **
Proximité aux établissements du G2	n.s.	n.s.	- **
Surface de reste	n.s.	n.s.	- ***
Prix immobilier estimé	n.s.	n.s.	+ **
Likelihood ratio index (pseudo R²)	0,36	0,22	0,02

Source : traitement LET, à partir de Bouvard, 2008

Tableau 11 : Qualité des régressions suivant la classe de taille des établissements

	<i>aucun salarié</i>	<i>1 à 9 salariés</i>	<i>10 à 19 salariés</i>	<i>20 à 49 salariés</i>	<i>50 à 249 salariés</i>	<i>plus de 250</i>
Accessibilité gravitaire à l'emploi G1	+ ***	+ ***	+ ***	+ ***	+ *	+ *
Accessibilité gravitaire à l'emploi G2	+ ***	+ ***	+ ***	+ ***	+ *	+ **
Accessibilité gravitaire à l'emploi total	- ***	- ***	- ***	- ***	- **	- *
Accessibilité gravitaire à la population	+ ***	+ ***	n.s.	n.s.	+ **	n.s.
Densité de population	+ ***	+ ***	+ **	+ ***	+ **	n.s.
Proximité aux établissements G1	+ ***	+ ***	+ *	n.s.	n.s.	+ *
Proximité aux établissements G2	- ***	+ ***	+ ***	+ ***	+ *	n.s.
Prix immobilier estimé	- ***	- ***	- ***	- ***	- *	- *
Temps d'accès au centre	- ***	- ***	- ***	- ***	- ***	- **
Emploi du G1					+ ***	
Emploi du G2					+ ***	
Surface de zones d'activités						+ **
Pseudo -R²	0,43	0,51	0,51	0,51	0,52	0,59

Source : traitement LET, à partir de Bouvard, 2008

Légende :

+ / - : signe du coefficient

p-value : n.s.: $\geq 0,5$; * $\in]0,5 ; 0,01]$; ** $\in]0,01 ; 0,001]$; *** $< 0,001$

Parallèlement à cette approche par secteur, le lien entre localisation et taille des établissements a également apporté des résultats très satisfaisants. Les pseudo- R^2 varient de 0,43 pour les plus petites sociétés, sans aucun salarié, jusqu'à 0,59 pour les grandes entreprises de plus de 250 salariés. Cette progression de la qualité des pseudo- R^2 souligne également la contrainte spatiale forte que connaissent les plus grands établissements pour lesquels le poids de la taille finit par l'emporter sur le poids du secteur dans les logiques de localisation.

Dans l'application pour SIMBAD, il a été également décidé de localiser les établissements de 50 à 249 salariés en fonction de leur taille et non de leur secteur. En termes de qualité des régressions, les résultats se trouvent partiellement dégradés pour les établissements du groupe 1 (56% de l'ensemble des établissements de cette taille et 56% des emplois) mais largement améliorés pour ceux des groupes 2 et 3 (44% des établissements et 44% des emplois des établissements de 50 à 249 salariés). Une réflexion plus approfondie et argumentée mérite encore d'être menée sur ce point, pour mieux jouer sur la taille et le secteur d'appartenance de chaque établissement dans le modèle.

Par ailleurs, plusieurs types d'indicateurs d'accessibilité ont été calculés et testés :

- ✓ D'une part des indicateurs isochroniques, fournissant un nombre d'opportunités (emplois, population, etc.) accessibles dans un temps donné (10, 15, 20, 25 et 30 minutes)
- ✓ D'autre part des indicateurs gravitaires simplifiés, avec le coût d'accès simplement traduit par le temps d'accès en diviseur : $A_i = \sum_{j=0}^n \frac{O_j}{t_{ij}}$ Cette formule a été testée avec t_{ij} et t_{ij}^2

Les indicateurs isochroniques n'ont pas été retenus car d'une part les pseudo- R^2 obtenus étaient légèrement moins bons mais, également, les signes des coefficients sont apparus beaucoup plus erratiques suivant les autres variables en présence.

Pour les indicateurs gravitaires, la surpondération des distances opérée par les t_{ij}^2 n'a pas été concluante. Ce sont donc les $A_i = \sum_{j=0}^n \frac{O_j}{t_{ij}}$ qui ont servi de référence pour établir les résultats

présentés ici. Soulignons enfin que les indicateurs gravitaires de type logsomme, traditionnellement utilisés dans la littérature, seront ultérieurement testés, lorsque les résultats du modèle d'affectation auront été définitivement calés et validés.

Ces indicateurs d'accessibilité ont également été systématiquement calculés et testés avec des temps établis pour l'heure de pointe et pour l'heure creuse. Les résultats obtenus ne changent presque pas. Les pseudo- R^2 ne sont guère modifiés entre les estimations prenant en compte les heures creuses ou les heures de pointe. Par contre, pour les estimations en heures creuses, les indicateurs d'accessibilité gravitaire sont souvent non significatifs. Ce sont donc les indicateurs d'accessibilité calculés en heure de pointe qui ont été retenus dans l'application pour SIMBAD.

2.6. Conclusion : des outils URBANSIM qui méritent d'être encore travaillés

La plate-forme URBANSIM a été privilégiée comme outil support pour rendre compte des interactions entre transport et urbanisme dans SIMBAD. D'un point de vue théorique et méthodologique, les principaux arguments qui nous poussent vers ce choix sont d'une part la possibilité de bouclage annuel qu'elle permet de réaliser entre la chaîne transport et les localisations, apportant ainsi un caractère quasi-dynamique à la procédure de calcul, et d'autre part la modélisation par choix discret qui apparaît bien adaptée et solidement fondée pour représenter les choix de localisation des acteurs modélisés. D'un point de vue pratique, notre choix a également été conforté par la modularité de la plate-forme, son ouverture et les larges possibilités d'échanges avec l'équipe de développement comme avec les chercheurs européens qui utilisent l'outil.

Ce chapitre a permis d'illustrer le bien fondé de ce choix à travers les résultats satisfaisants obtenus en matière de calage des différents modules. Il importe également de souligner certaines limites qui structurent notre conduite et les développements futurs du projet :

- ✓ URBANSIM est un outil complexe, qui nécessite un investissement important pour en acquérir la maîtrise. Nous rejoignons ici complètement le constat de l'équipe du projet SIMAURIF, nous avons rencontré des difficultés similaires à celles décrites dans leur rapport final (Nguyen-Luong, 2007). Nous avons cependant choisi de rester avec cet outil, car les arguments initiaux restent valables, et l'investissement réalisé aujourd'hui par l'équipe nous permet de disposer des moyens et des compétences pour travailler avec en profondeur (pour reprendre ou adapter des modules par exemple). De plus, la nouvelle version d'URBANSIM 4.2.2. (Center for Urban Simulation and Policy Analysis, 2009) est beaucoup plus conviviale d'accès et permet à un nouvel utilisateur de plus rapidement s'approprier l'usage de l'outil et la manipulation des bases de données qui sont derrière.
- ✓ D'un point de vue immédiat, le calage des modules de prix du foncier comme de localisation des ménages et des établissements va se poursuivre pour prendre en compte les nouveaux calages réalisés sur la partie affectation du trafic du fait des nouvelles matrices origines-destinations générées par le calage d'URBANSIM... Il y a là une boucle que nous ne répèterons pas indéfiniment, mais qu'il apparaît pertinent et plus rigoureux d'opérer au moins une fois.

Par ailleurs de nouveaux indicateurs d'accessibilité plus directement en adéquation avec la théorie sous-jacente aux choix de modélisation seront testés.

Enfin, à plus long terme, il s'avère important pour la cohérence d'ensemble de SIMBAD de développer un module d'évolution de l'usage des sols. Nous l'avons vu, l'approche proposée par URBANSIM apparaît peu adaptée au contexte lyonnais et à nos données disponibles. Nous proposons une approche plus macroscopique, basée sur le modèle de Bussière (Bussière, 1972 ; Tabourin et al. 1995). Elle est reprise en conclusion générale du rapport, où nous présentons notre projet général des suites à donner à cette première version de SIMBAD.

3. Modéliser les échanges entre les IRIS de l'aire urbaine

Une fois les localisations des ménages et des établissements déterminées par URBANSIM, la procédure de calcul des déplacements entre les zones de l'aire urbaine peut être lancée. Compte tenu du choix qui a été fait de représenter tous les flux de l'aire urbaine, trois estimations différentes sont réalisées.

La première porte sur les déplacements des marchandises en ville et repose sur les travaux menés au LET autour du projet FRETURB (Routhier et al. 2001 ; Routhier, Toilier, 2007). Un travail spécifique d'adaptation du modèle a été mené pour l'intégrer dans SIMBAD en exploitant les données fournies en sortie d'URBANSIM et en fournissant des matrices origines-destinations de véhicules de marchandises, poids-lourds ou véhicules utilitaires légers. L'approche particulière développée dans FRETURB et ses adaptation au projet SIMBAD sont présentées en §3.1.

Une seconde procédure traite des déplacements des résidents de l'aire urbaine en suivant les phases du modèle à quatre étapes. Des innovations ont été introduites par rapport à l'approche traditionnelle (Bonnel, 2004), notamment en modélisant les sorties du domicile de préférence aux déplacements et en proposant une génération par micro-simulation des comportements des ménages et des personnes qui les composent plutôt que par coefficients plus macroscopiques liés aux caractéristiques générales de chaque IRIS. La partie §3.2 présente le travail réalisé ici.

Les flux de d'échanges et de transit ne sont couverts ni par FRETURB ni par la procédure liée aux déplacements des résidents. La manière de les calculer est présenté en §3.3

Enfin, concernant les trafics routiers, SIMBAD distingue heure de pointe et heures creuses pour mieux prendre en compte les effets de la congestion sur les accessibilités et les localisations d'une part, sur les niveaux d'émissions d'autre part. Une dernière partie §3.4 présente la manière dont la matrice routière d'heure de pointe est construite à partir d'informations traitées différemment pour le cas des trafics de marchandises en ville (enquêtes « marchandises en ville », Patier et al. 1997, 2000), celui des déplacements des résidents (enquêtes-ménages lyonnaises) et celui des trafics d'échanges et de transit (enquêtes cordon).

3.1. FRETURB et les échanges de marchandises en ville

Les flux de véhicules de livraison entre les zones de l'aire urbaine sont simulés à l'aide du modèle FRETURB (Routhier, 2000). Ce modèle est construit sur la base d'enquêtes lourdes spécifiques (Patier et al., 1997, 2000), qui ont permis d'abord de simuler la génération des livraisons et enlèvements de marchandises réalisés par l'ensemble des établissements de l'aire urbaine et leur occupation de la voirie (LET, 2001) puis, dans un second temps de simuler leur distribution zone à zone (Routhier, Toilier, 2007).

3.1.1. Présentation générale du modèle

3.1.1.1. Trois enquêtes pour modéliser la génération des flux de marchandises en agglomération

Trois grandes enquêtes ont été réalisées à Bordeaux puis à Dijon et Marseille (1995-1997) dans le but d'expliquer la formation des flux de transport de marchandises en agglomération. Les principales caractéristiques de ces enquêtes sont :

- ✓ la recherche de l'exhaustivité dans la description des flux générés par l'ensemble de l'activité urbaine,
- ✓ la représentativité de l'échantillon (sur la base d'une stratification a priori), qui permet d'estimer avec une précision suffisante des ratios et des relations fonctionnelles expliquant la génération des flux,
- ✓ le choix d'une unité d'observation statistique susceptible de répondre aux exigences de la modélisation : mesurabilité, pertinence et cohérence avec les questions posées,
- ✓ la production d'informations sur les modes de gestion (identification des acteurs) et d'organisation des flux (type de véhicules, traces directes ou tournées), comme sur les caractéristiques et l'environnement des établissements, qui permettent de construire un modèle de simulation des effets de diverses politiques.

Pour cela, dans chaque ville, deux types d'enquêtes ont été réalisées : l'une auprès d'un échantillon représentatif des établissements de l'agglomération, l'autre auprès des chauffeurs qui ont effectué des livraisons dans ces établissements. L'enquête auprès des établissements a permis de décrire leur organisation logistique et leur environnement, ainsi que l'ensemble des opérations de livraison et d'enlèvement de marchandises réalisées au cours d'une semaine. L'enquête auprès des chauffeurs qui lui est associée a permis de décrire le comportement et l'organisation des opérateurs de transport réalisant ces opérations.

L'unité statistique utilisée est le mouvement, défini comme l'opération de livraison ou enlèvement dans un établissement. A chaque mouvement est associé le véhicule qui sert à le réaliser ainsi que les caractéristiques de la marchandise transportée (poids, nature, conditionnement etc.). A l'aide d'un redressement sur l'ensemble des établissements de la zone d'étude (fichiers SIRENE obtenus auprès de l'INSEE), il a été possible de calculer le nombre de livraisons réalisées dans l'agglomération enquêtée, le nombre de véhicules impliqués, les durées de stationnement sur voirie de ces véhicules et le nombre de kilomètres parcourus dans l'agglomération.

3.1.1.2. La logique de fonctionnement du modèle

Sur la base des résultats de ces enquêtes, le modèle FRETURB a été construit pour simuler les mouvements de véhicules de fret générés par l'activité économique d'une agglomération sans qu'il soit nécessaire d'effectuer d'enquête du même type.

Un modèle systémique

L'objectif d'un tel modèle est de rendre compte des interactions entre les différents agents du système urbain qui sont impliqués dans la formation des flux de transport urbain de marchandises. Nous désignons l'ensemble de ces interactions sous le terme de logistique urbaine.

Le modèle FRETURB n'est pas construit sur l'hypothèse couramment utilisée dans les modèles de transport de marchandises nationaux ou régionaux, qui suppose que l'on peut mesurer de manière équivalente la marchandise et le véhicule qui la transporte. Dans ce cas, une fois que l'on connaît le mode choisi (routier, ferroviaire ou fluvial), une simple règle de trois permet de traduire les tonnes échangées entre deux régions et les véhicules qui les transportent, dans la mesure où les véhicules ont un taux de remplissage moyen connu d'un type de véhicule unique qui est le semi-remorque. Cette équivalence n'est pas opératoire dans le transport urbain de marchandises (Bonnafous, 2000) :

suivant les besoins de chaque destinataire, une même quantité de marchandise peut être acheminée avec des types de véhicules différents, sous des conditionnements variés et avec une fréquence également variable. Ce n'est donc pas la quantité de marchandises émise ou reçue (en tonne ou en m³) qui est déterminante dans la formation des flux de véhicules. Cette dernière dépend du type de véhicule, de la nature de la marchandise, de son conditionnement et de sa fréquence d'expédition ou de réception. C'est pourquoi l'unité d'observation choisie ici n'est ni la marchandise, ni le véhicule seul, mais l'événement que représente l'opération de livraison ou d'expédition de la marchandise dans un établissement. Cette unité permet de mettre en relation deux domaines complémentaires :

- ✓ La sphère économique, par la connaissance du lieu de livraison qu'est l'établissement. Elle permet de renseigner son activité économique, sa localisation, son environnement (type de voirie, densité urbaine) et les conditions dans lesquelles se réalise le chargement ou le déchargement de la marchandise,
- ✓ La sphère logistique, par la connaissance du parcours dans lequel s'insère le mouvement, permet de renseigner le type de véhicule utilisé, le type d'opérateur (mode de gestion) et le type de parcours (tournée, trace directe).

3.1.1.3. Le calcul du nombre de livraisons et enlèvements dans l'aire urbaine

Le modèle permet d'estimer sur un zonage d'une aire urbaine ou d'une agglomération française, le nombre de livraisons et enlèvements de marchandises sur la base d'informations facilement accessibles : il s'agit des fichiers SIRENE d'établissements de l'INSEE, enrichi de leur localisation dans chaque zone et des caractéristiques des zones telles que la population, la superficie, l'excentricité (distance au centre de l'agglomération). Les variables déterminantes de la génération des mouvements sont l'activité économique de l'établissement (en 45 types assez homogènes en termes de comportement logistique) et la taille de l'établissement (exprimée en nombre d'emplois). A cela on ajoute la nature du local (bureaux, commerces par grandes classes de surfaces en m², entrepôts) ainsi que le statut de l'établissement (siège ou non). Ces données sont décrites pour chaque établissement dans les fichiers SIRENE.

Les enquêtes réalisées sur les villes de Bordeaux (1995), Dijon et Marseille (1997) ont permis d'estimer les ratios moyens du nombre de livraisons et enlèvements par semaine sensiblement identiques d'une ville à l'autre. Le nombre de livraisons et enlèvements générés par l'ensemble des activités de la zone est calculée selon 115 types d'établissements, distingués à partir des 45 types d'activité pour différentes classes d'effectifs salariés (LET, 2001). Pour chacune de ces classes, quatre fonctions de répartition ont été estimées : la proportion de chacun des 3 types de véhicules (VUL<3,5T, camions porteurs, ensembles articulés), la répartition des modes de gestion (compte propre réalisé par le destinataire ou par l'expéditeur, compte d'autrui) et le mode d'organisation (en trace directe ou en tournées de différentes tailles). Ces ratios varient peu d'une ville à l'autre et d'une zone à l'autre d'une agglomération. Il a été également démontré qu'ils changent lentement dans le temps. Les principaux changements sont le fait des changements d'activité des établissements, ce qui se traduit par un changement d'effectifs des 115 classes d'établissements. La sommation des mouvements de véhicules associés à l'ensemble des livraisons et enlèvements générées par les établissements d'une même zone constitue une bonne représentation de la réalité des flux de véhicules impliqués dans le transport de marchandises de l'aire urbaine.

3.1.1.4. Calcul de l'occupation de la voirie par les véhicules de livraison

En deuxième lieu, le modèle calcule l'occupation de la voirie des véhicules de livraison selon ses deux composantes : la durée de stationnement pour livraison sur voirie et la distance parcourue dans l'aire d'étude.

La durée de stationnement est mesurée pour chaque établissement où est effectuée une livraison ou un enlèvement de marchandise. L'occupation de la voirie pour le stationnement est calculée dans

chaque zone comme la somme des durées de stationnement de l'ensemble des livraisons ou enlèvements réalisés dans la zone pendant une semaine. Nous ne nous intéressons pas ici à cette composante, bien que le stationnement (fréquent en double file) ait un impact non négligeable sur la congestion, donc sur les vitesses.

La distance prise en compte dans les calculs est la distance parcourue entre deux arrêts pour une livraison. Pour chaque zone, la somme des longueurs des trajets qui touchent chaque point de livraison d'une zone est calculée. La distance parcourue entre deux arrêts dépend essentiellement :

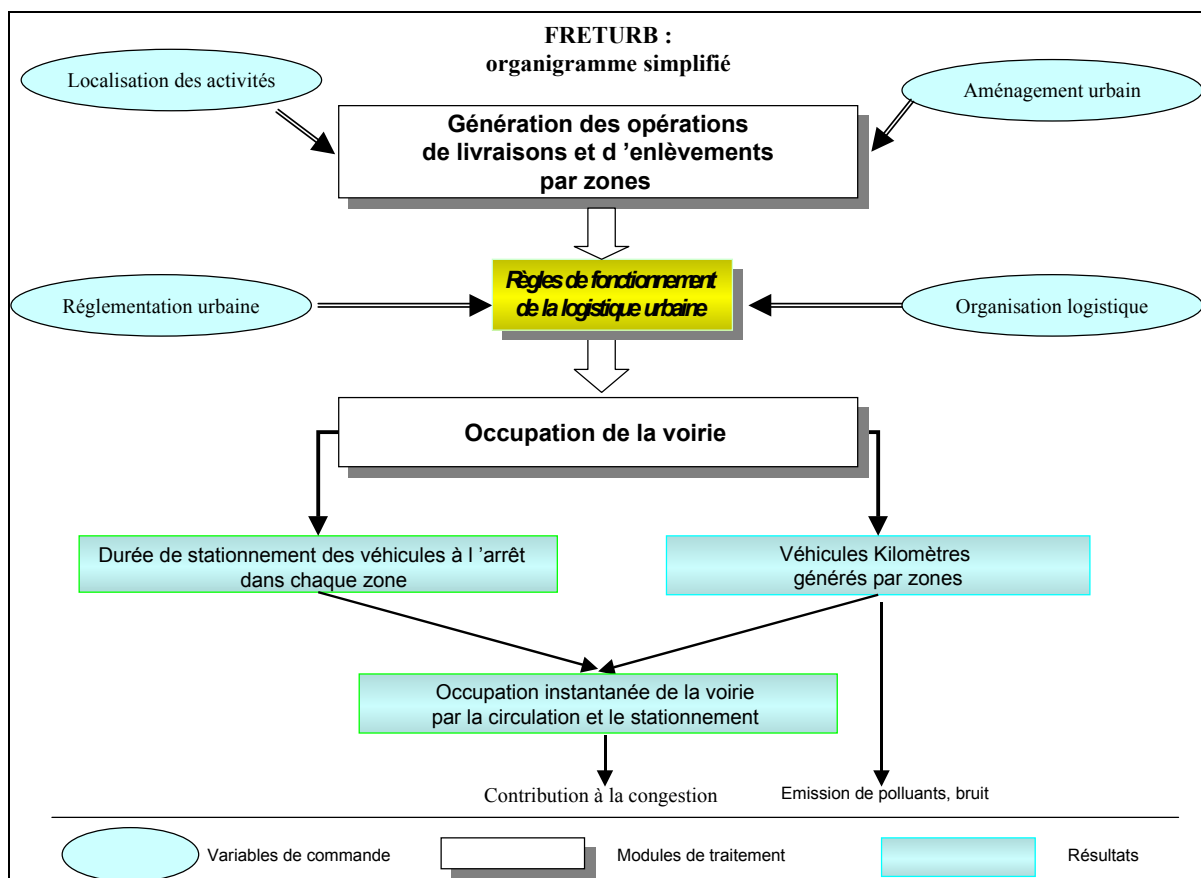
- ✓ du nombre d'arrêts du parcours,
- ✓ du type de véhicule,
- ✓ du mode de gestion.

Dans le schéma suivant, qui décrit le fonctionnement général du modèle, quatre leviers peuvent être activés :

- ✓ la localisation des activités génératrices de flux de marchandises,
- ✓ les aménagements urbains (tels que les nouvelles infrastructures qui modifient les conditions d'accessibilité et de stationnement),
- ✓ la réglementation (sur les horaires d'accès à certaines zones, sur les véhicules admis à entrer en ville),
- ✓ les organisations logistiques (choix des types de véhicules, modes d'organisation des tournées).

Chacun de ces leviers peut refléter aussi bien les évolutions au fil de l'eau que les effets de certaines politiques de transport (Figure 12).

Figure 12 : Organigramme simplifié de FRETURB

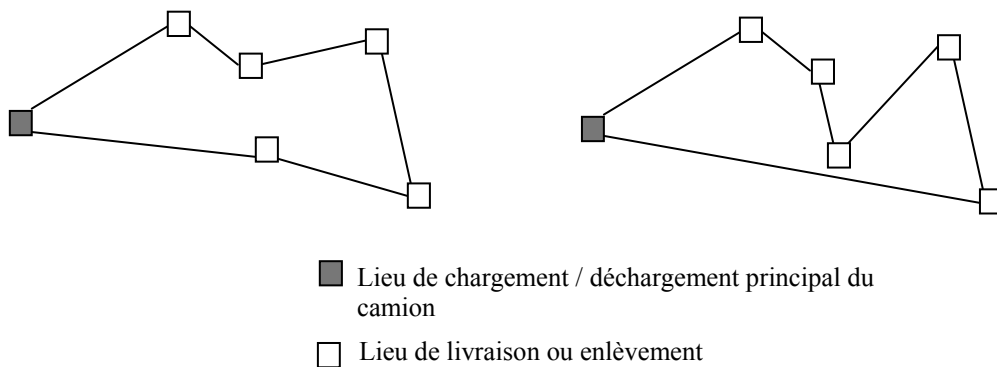


Source : Routhier, Ségalo, Durand, 2001

3.1.1.5. De la génération à la distribution des flux, une approche expérimentale

Un module de génération a été récemment développé. La distribution urbaine des marchandises s'organise principalement en tournées (75% des livraisons), et les modèles gravitaires classiquement utilisés en modélisation transport apparaissent inopérants pour simuler ces flux. En effet, les flux de véhicules sont orientés et ordonnés selon des logiques fluctuantes et non connues du modélisateur, ce qui rend impossible toute modélisation des parcours de tournées, comme le montre l'exemple suivant (Figure 13). La tournée peut se faire en suivant le sens des aiguilles d'une montre, ou en sens inverse, ou encore en empruntant un autre trajet :

Figure 13 : 5 établissements à livrer, plusieurs parcours possibles



Pour lever ces contraintes, la solution retenue dans FRETURB consiste à modéliser les flux entre les points touchés pris deux à deux, sans fixer une orientation à ces échanges. Pour cela, le modèle s'appuie sur une typologie en 25 groupes de fonctions de distances calculées sur les comportements logistiques (Figure 15). Cette typologie est issue des résultats des enquêtes menées auprès des chauffeurs – livreurs. En croisant cette typologie avec les caractéristiques des zones concernées et aux tailles de tournées, on obtient plus de 3000 cas de figure différents sur une ville comme Dijon comportant 46 zones. L'activité de l'établissement livré, non prise en compte explicitement dans la construction des groupes de fonctions de distances, y figure implicitement car l'activité est fortement liée au type de véhicule, et au mode de gestion.

Mise en œuvre pratique

Concrètement, en plus des fichiers SIRENE et ZONE nécessaires pour prédire la génération des déplacements de marchandises, la distribution des flux nécessite l'introduction dans le modèle d'un distancier de zones à zones en kilomètre, construit sur la base du plus court chemin en temps (Figure 14). En confrontant ce distancier aux fonctions de distances calculées pour chaque type d'opération, on identifie les zones susceptibles d'échanger entre elles.

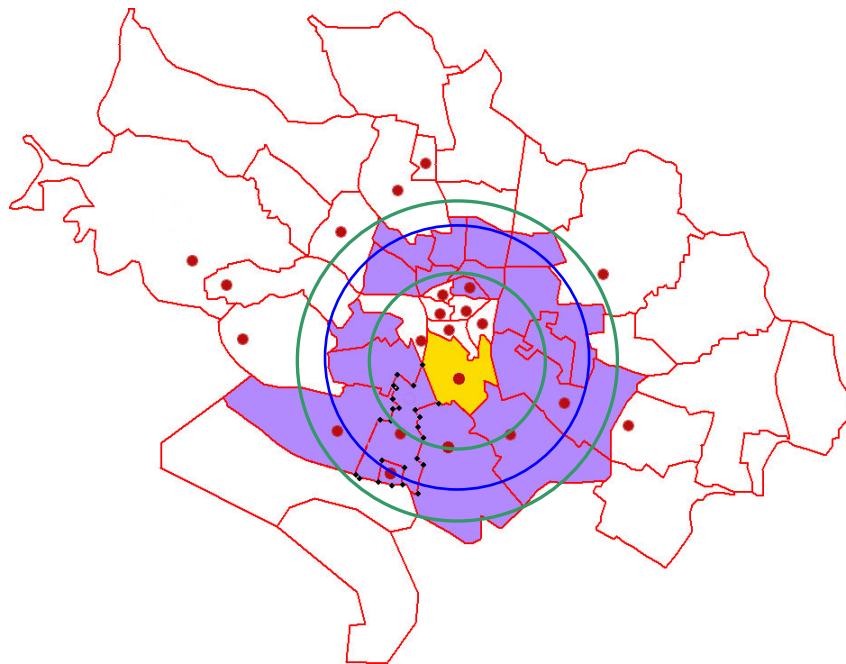
Pour chaque fonction de distance, un intervalle de confiance est calculé qui permet de construire une couronne servant à définir les zones d'échange privilégiées (zones en violet) avec la zone centrale. Le principe qui préside à cette sélection des zones d'échange privilégiées est le suivant :

Tout flux (caractérisé par les critères listés) qui part d'une zone doit arriver dans une autre zone **avec les mêmes caractéristiques qu'au départ** ! Par conséquent si l'anneau ainsi identifié ne permet pas d'accueillir l'intégralité des flux échangés, il est peu à peu élargi en agrégeant les zones les plus proches jusqu'à ce que les capacités d'accueil soient suffisantes. Ensuite la distribution des flux se fait sur la base de 2 critères :

- ✓ la proximité de la zone à la distance calculée par la fonction de distance,
- ✓ le poids des différents types d'activités⁶ dans les zones d'accueil.

⁶ en 8 groupes : agriculture, artisanat, industrie, commerce de gros, grands magasins, commerce de détail, tertiaire, transport

Figure 14 : Mode de construction des zones éligibles à l'aboutissement d'un trajet (exemple de Dijon)



Source : Toilier et al., 2005.

3.1.2. Les interfaces de FERTURB avec SIMBAD

Situé au cœur du modèle SIMBAD, entre les modules de développement économique et de transition urbaine issus d'URBANSIM d'une part et le module de trafic DAVISUM d'autre part, FERTURB a dû être adapté pour lui permettre de dialoguer correctement avec les autres modèles qui composent SIMBAD. En amont, les modifications ont touché au niveau de précision requis pour les données d'entrée du modèle. En aval, elles ont consisté à détailler les résultats pour pouvoir les associer aux flux de personnes dans le module de trafic. Mais entre les deux, il a également fallu aménager le logiciel de façon à obtenir dans un délai d'exécution supportable des résultats suffisamment fins pour être utilisables.

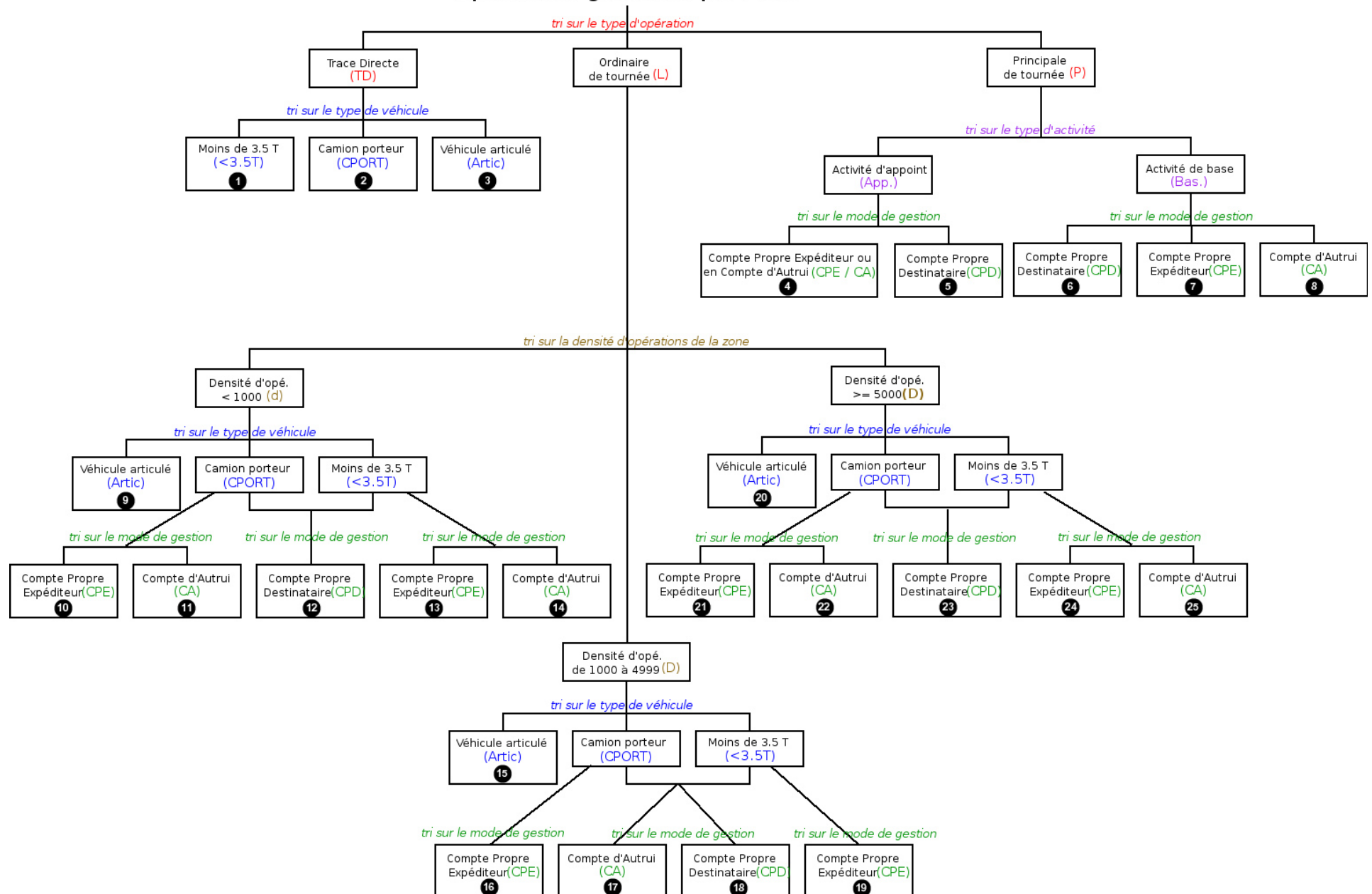
3.1.2.1. En entrée, une perte de précision par rapport à SIRENE

En 1999, année de base du modèle SIMBAD, les établissements économiques sont directement issus du fichier SIRENE, il n'y a donc pas de problèmes de compatibilité avec FERTURB qui utilise également cette source de données. Les établissements y sont décrits avec la finesse d'information requise par le modèle : localisation, activité fine en 700 positions, taille de l'établissement, type de local, statut de l'unité.

Mais les années suivantes, du fait de l'évolution démographique propre aux activités économiques, le fichier SIRENE originel est modifié, certains enregistrements disparaissent tandis que d'autres sont créés. Ces nouveaux établissements sont générés selon les contraintes fixées par le module de transition économique, qui fixe pour chaque activité détaillée selon les 36 rubriques de la NES et les 9 classes de taille fixées par le modèle SIMBAD⁷ le nombre d'établissements annuel sur la période 1999 – 2025 (Cf. § 3.1.2.2.).

⁷ Pour mémoire : effectif inconnu, 0 salarié, 1 à 9, 10 à 19, 20 à 49, 50 à 99, 100 à 249, 250 à 499, 500 et plus.

Figure 15 : La typologie en 25 fonctions de distance
Opérations générées par zone



Source : Toilier et al., 2005

Les nouveaux établissements sont donc connus avec un niveau de précision moindre que ceux issus de SIRENE puisque ni l'activité fine, ni la nature du local, ni l'effectif détaillé à la centaine, ni le statut de l'établissement ne sont fournis. Or ces critères, et principalement l'activité et la taille sont ceux sur lesquels est fondée la génération des flux proposée par FRETURB.

Retrouver le détail des typologies utilisées par FRETURB

Rappelons que 45 classes d'activités homogènes du point de vue de leurs comportements logistiques (ST45) composent la typologie utilisée par FRETURB. Ces catégories sont éclatées en plus de 3300 combinaisons selon le critère de la taille de l'établissement pour permettre d'estimer la génération des opérations de livraisons / enlèvements de chaque établissement. Pour que le logiciel puisse fonctionner, les 36 classes NES des établissements créés par URBANSIM ont été éclatées en 45 classes FRETURB, en se calquant sur la répartition des établissements observée en 1999. Cette méthode est bien entendu approximative mais elle a permis de tester que l'articulation URBANSIM / FRETURB est possible. Elle sera affinée à l'occasion des prolongements de ce travail, d'une part en introduisant la dynamique temporelle dans ce passage des NES36 vers les ST45, d'autre part en prenant en compte le critère de la localisation plus ou moins centrale de l'établissement dans cette affectation en ST45.

Une fois affectés à l'un des 45 groupes, un nombre de mouvements hebdomadaires de livraisons / enlèvement a été attribué à chaque établissement. Pour les établissements situés dans une des classes de taille répertoriées par FRETURB (établissement de 0, 10 à 19, 20 à 49, 50 à 99 salariés) l'attribution a été automatique. Pour les autres, des choix ont été faits, ils seront testés et nécessiteront probablement des corrections. En l'état actuel du modèle :

- ✓ Les établissements de 1 à 9 salariés constituent le regroupement de 3 classes de taille dans FRETURB : 1 ou 2 salariés, 3 à 5, 6 à 9. C'est la valeur de la classe 3 à 5 qui a été retenue.
- ✓ Les établissements de 100 à 249 salariés constituent le regroupement de la classe 100-199 et d'une partie de la classe 200-299 dans FRETURB. La valeur de la classe 100-199 a été conservée.
- ✓ Les établissements de 250 à 500 salariés agrègent les classes 200-299, 300-399 et 400-499 de FRETURB. C'est la valeur de la classe 300-399 qui résume l'ensemble.
- ✓ Les établissements de 500 salariés ou plus regroupent une multitude de classes FRETURB qui fournissent de 100 en 100 des nombre de livraisons / enlèvement par établissement. Pour marquer le fait que les très gros établissements sont rares, c'est la valeur de la classe 800-899 qui a été retenue.

Conserver la procédure classique le plus longtemps possible

Si la preuve devait être apportée, il ressort nettement de ce qui précède que les simulations produites par FRETURB à partir des données URBANSIM sont bien moins précises que celles établies à partir des données SIRENE. Néanmoins, dans la mesure où le flux d'établissements nouveaux est marginal par rapport au stock d'établissements initiaux (un établissement commercial change d'enseigne ou déménage environ tous les dix ans, tout en restant souvent dans le même quartier donc probablement dans la même zone ; les gros établissements sont beaucoup plus stables), l'erreur introduite par cette moindre précision pèsera peu dans le résultat global.

En effet, pour tous les établissements qui perdurent depuis 1999, qu'ils soient sédentaires ou aient déménagé dans l'aire d'étude, le modèle FRETURB classique s'applique année après année. La version corrigée n'est utilisée que pour les seuls établissements pour lesquels l'information sur l'activité fine (APET700) et la taille exprimée à la centaine n'est pas disponible.

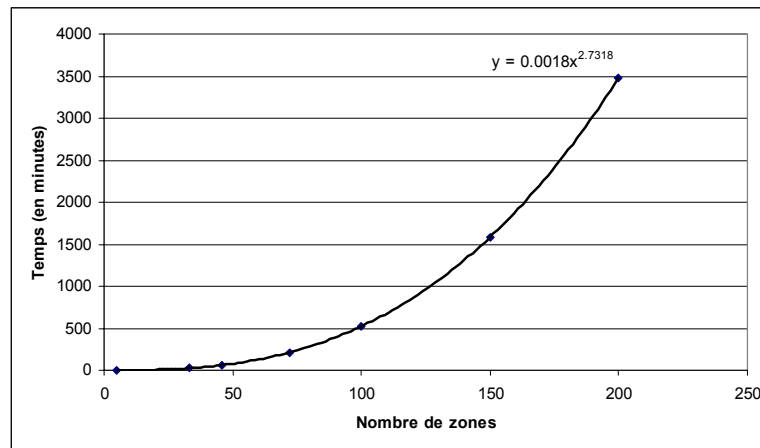
3.1.2.2. Le recours à un macrozonage pour accélérer la production des résultats

La distribution des flux sous FRETURB se fait au moyen des 25 fonctions de distance établies en fonction du type d'opération, de gestion, de véhicule et de densité de zone (Figure 15). En confrontant ces fonctions au distancier et aux capacités d'accueil des zones, on établit une liste de

zones avec lesquelles une zone donnée est susceptible d'échanger. La lourdeur de la procédure et le type de programmation utilisé (VBA sous Access) induisent des temps de calculs importants et dont la croissance est exponentielle selon le nombre de zones à traiter.

Ainsi, il faut 3 minutes pour distribuer les flux entre 5 zones, 1 heure pour 46 zones, plus de 3 heures pour un découpage en 72. En ajustant ces points sur un graphique (Figure 16), la fonction obtenue prédit une durée de 3 jours pour les 777 zones du périmètre SIMBAD, à condition que l'ordinateur soit en mesure de le supporter et que la base de données Access, reste en deçà de la limite de 2 Go imposée par le logiciel...

Figure 16 : temps de calcul de FRETURB en fonction du nombre de zones



Source : traitement LET

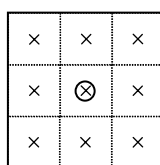
Pour permettre à la simulation sur 25 ans de se dérouler dans une durée raisonnable, la distribution des flux de marchandises n'est réalisée que tous les 5 ans et porte sur un macrozonage en 34 zones. Les flux ainsi distribués sont ensuite éclatés en 777 zones.

Le passage au macrozonage

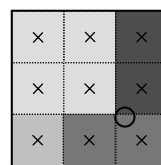
Un découpage de l'aire urbaine en 34 secteurs, issu des travaux antérieurs du LET sur le modèle TELESCOPAGE (Cabanne et al., 2000), a été retenu pour servir de macrozonage. Il permet à la distribution d'aboutir en 35 minutes.

Le changement de zonage suppose d'adapter le calcul du distancier aux zones élargies. Plutôt que de recalculer les distances zone à zone à partir de leur barycentre géométrique, le parti a été pris de prendre en compte les mouvements de marchandises simulés par FRETURB dans la construction de ce distancier. C'est ainsi que le barycentre des macrozones a été calculé en pondérant chacun des barycentres des zones composant la macrozone par le poids de ces zones dans la génération des opérations de livraisons / enlèvement. Au bout du compte, la zone la plus proche de ce barycentre « marchandises » est retenue comme représentative de sa macrozone dans le calcul du distancier et la distance entre chacune des macrozones est calculée en se calant sur les distances de cette zone représentative aux autres zones représentatives des macrozones du périmètre (Figure 17).

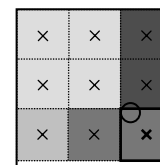
Figure 17 : Estimation du barycentre « marchandises » d'un découpage agrégé



Barycentre géométrique d'une macrozone composée de 9 zones



Barycentre calculé sur le poids des zones dans la génération des déplacements de marchandises



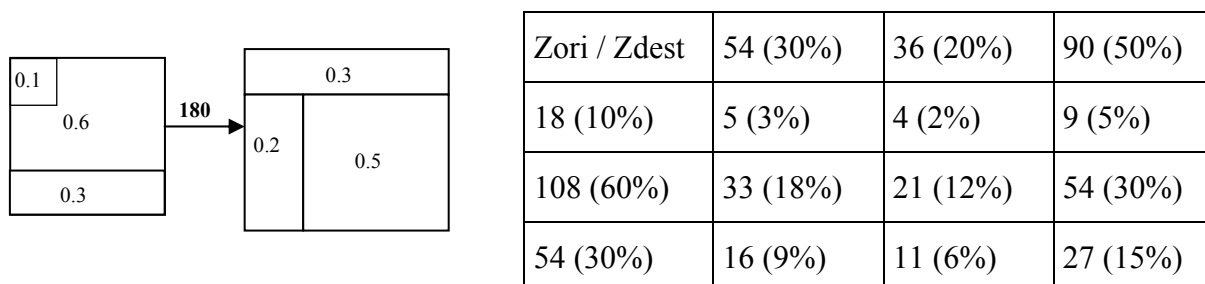
Sélection de la zone représentative pour le calcul du distancier

L'intérêt de cette démarche est de permettre de calculer le distancier à chaque utilisation de FRETURB afin de faire évoluer la position du barycentre en fonction de l'évolution des localisations des activités génératrices de déplacements de marchandises dans l'aire d'étude. Le distancier est ainsi toujours en phase avec la répartition spatiale des établissements modélisée par URBANSIM.

L'éclatement des flux distribués en 777 zones

Une fois la distribution réalisée entre les 34 zones du macrozonage, l'affectation sur le réseau et la confrontation aux déplacements de personnes suppose de revenir au découpage initial en 777 zones. De manière analogue à la procédure suivie pour restreindre le nombre de zones, l'éclatement est pratiqué au prorata du poids de chacune des zones dans la génération des flux (Figure 18).

Figure 18 : Un exemple de répartition de 180 paires entre deux zones (sous hypothèse d'indépendance)



3.1.2.1. En sortie, des flux de même nature que ceux des déplacements de personnes

L'affectation des trafics de marchandises sur le réseau routier suppose que les flux soient orientés, fournis en UVP, et détaillés selon la période de la journée (pointe ou heure creuse).

L'orientation des flux

Comme présenté en § 3.1.1.5., du fait des spécificités de la logistique urbaine et du mode de recueil des données dans les enquêtes ayant servi à élaborer le modèle FRETURB, les flux de marchandises simulés ne peuvent être orientés. Ce sont alors des flux échangés entre deux zones, car il n'est pas possible de dire si c'est la zone A qui émet vers la zone B ou l'inverse car les tournées peuvent se faire dans un sens différent selon les contraintes de circulation, les horaires d'ouverture des magasins, les stratégies des chauffeurs... FRETURB propose donc en sortie des flux échangés entre deux zones. Cependant, pour les besoins de SIMBAD, les flux ont été artificiellement orientés en posant comme principe que les flux de A vers B sont identiques à ceux de B vers A (la matrice est symétrisée).

Le passage en UVP

FRETURB distingue 3 catégories de véhicule, pour chacune un coefficient multiplicateur a été appliqué aux flux afin de les rendre comparables aux voitures particulières en termes d'occupation de la voirie et de contribution à la congestion. Ainsi, les moins de 3,5 tonnes ont été multipliés par un coefficient de 1,5 ; les porteurs par 2 et les articulés par 2,5.

3.1.2.2. Prospective 2025 : passer d'un nombre d'emplois à un nombre d'établissements

En prospective, c'est un nombre d'emplois qui sera établi, lié d'une part aux projections démographiques du modèle OMPHALE de l'INSEE qui fournissent un nombre d'actifs potentiels, et de l'hypothèse de croissance économique envisagée, qui permet d'estimer un taux de chômage.

Pour calculer, ensuite, les établissements nouveaux à créer, un dialogue est établi entre URBANSIM et FRETURB, en amont de la procédure d'ensemble de SIMBAD. Il permet de traduire en nombre d'établissements le nombre d'emplois projeté à l'horizon du modèle. Une matrice $[ETAB_NES36.Tefet8]_{a_n}$ du nombre d'établissements par NES36 et par 8 tranches d'effectifs salariés (Tefet8 : 0 salariés, 1 à 9, de 10 à 19, de 20 à 29, de 30 à 39, de 40 à 49, de 50 à 59, de 60 à 69, de 70 à 79, de 80 à 89, de 90 à 99, de 100 à 149, de 150 à 199, de 200 à 249, de 250 à 299, de 300 à 349, de 350 à 399, de 400 à 449, de 450 à 499, 500 et +) est estimée pour chaque année a_n du modèle.

Celle-ci est connue pour l'année de référence a_0 (2005). Le calcul de cette matrice $[ETAB_NES36.Tefet8]$ est obtenu à l'issue des étapes suivantes :

- ✓ Calcul du nombre d'emplois moyen en 2005 dans chaque cellule de la matrice $[EmpMoyen_NES36.Tefet8]_{a_0}$.
- ✓ L'analyse des fichiers SIRENE des années 1982, 1990, 1999 et 2005 sur la zone d'étude (ensemble des communes qui se retrouvent dans les quatre périodes) permet de mesurer un coefficient d'évolution linéaire des NES36 et des Tefet6 pour chaque NES36 pour la période 1982-2005.
- ✓ Par prolongement de tendance, ces coefficients d'évolution sont utilisés pour l'année de l'horizon a_n du modèle. On peut alors calculer l'évolution entre a_0 et a_n de la proportion des établissements par classe de taille dans chaque NES36 ainsi que l'évolution de chaque NES36 toutes tailles d'établissements confondues (calcul aux marges).
- ✓ Calcul de la matrice des proportions d'emploi $[%Emploi_NES36.Tefet8]_{a_n}$:
On effectue le produit du nombre moyen d'emploi par la proportion de chaque type NES36.Tefet6 dans la population totale des établissements ; On obtient alors la proportion en termes d'emplois de chaque type par normalisation de la matrice.
- ✓ Calcul de la matrice :
 $[Emploi_NES36.Tefet8]_{a_n} = [%Emploi_NES36.Tefet8]_{a_n} * EmploiTotal$
- ✓ Calcul de la matrice :
 $[ETAB_NES36.Tefet8]_{a_n} = [Emploi_NES36.Tefet8]_{a_n} / [EmpMoyen_NES36.Tefet8]_{a_0}$

A partir de la connaissance de l'emploi total dans l'aire urbaine à l'horizon a_n on peut donc prédire le nombre d'établissements par NES36 et classes de taille à l'année a_n

3.2. Les échanges liés à la mobilité des résidents

Les échanges liés à la mobilité des résidents ont été modélisés à partir de l'approche traditionnelle à 4 étapes, qui séquence la génération des déplacements, leur distribution entre les zones, leur répartition modale avant de passer à la phase d'affectation. Cependant, le travail dans le cadre de SIMBAD a été l'occasion de proposer quelques innovations par rapport à ce schéma classique.

D'une part, le modèle de génération est le plus souvent construit par régression linéaire sur des données d'enquêtes déplacements. Le nombre de déplacements par zone est « expliqué » par un vecteur de variables socio-démo-économiques des zones incluses au sein du périmètre d'études (Bonnell, 2004 ; Ortuzar, Willumsen, 2001). Ces modèles présentent des limites importantes et notamment : pouvoir « explicatif » généralement faible, mauvaise prise en compte de la variabilité des comportements individuels, difficulté à bien rendre compte des évolutions démographiques au niveau zonal, difficulté à bien prendre en compte les sorties du domicile (enchaînement des activités-déplacements entre un départ et un retour du domicile), absence de prise en compte des évolutions comportementales, utilisation d'un zonage assez grossier. Pour dépasser ces limites, nous proposons une approche méthodologique nouvelle qui s'appuie sur les travaux qui se développent en micro-simulation (Wannel, Gravel, 2002 ; Dupont et al., 2003). La méthode consiste à construire des typologies de profils de mobilité individuelle définie par une approche en termes de sortie domicile. L'application sur les enquêtes ménages déplacements lyonnaises a permis de vérifier

l'opérationnalité de la méthode qui a été intégrée au sein de SIMBAD (Gitton, 2006). Ces résultats sont présentés en §3.2.2.

D'autre part, la chaîne transport a été modélisée trois fois pour représenter les mobilités des personnes suivant leur classe de revenu (20% les plus modestes, 60% médianes et 20% les plus aisées). Les gains apportés par une telle segmentation sur les revenus restent limités pour deux raisons. En mobilité locale, cette variable joue un rôle significatif mais reste de second rang par rapport à l'ensemble des déplacements contraints qui sont mieux pris en compte par le statut et la localisation (Nicolas et al., 2001). Par ailleurs, les gains statistiques susceptibles d'être apportés par la segmentation sont en partie compensés par la réduction des effectifs qu'elle entraîne dans chaque classe. Par contre, avec une affectation multi-classes sous DAVISUM et le module de localisation sous URBANSIM qui prend en compte les revenus, cette segmentation du modèle permet de suivre les évolutions de localisation des ménages en fonction du revenu et leurs conséquences sur les mobilités et les distances parcourues par leurs membres. Elle permet ainsi sur la mise en œuvre des indicateurs sociaux prévus dans SIMBAD. Les estimations liées à cette triple chaînes sont présentées en §3.2.3.

Cependant, avant d'explorer ces deux parties, nous présentons rapidement le module qui permet de calculer le taux de motorisation des ménages qui ont été relocalisés dans URBANSIM à l'étape précédente (§3.2.1.).

3.2.1. Recalculer le taux de motorisation des ménages qui ont été relocalisés dans URBANSIM

Les ménages localisés par URBANSIM à la période précédente sont dotés soit d'un taux de motorisation *a priori* s'ils sont de nouveaux arrivants, soit du taux de motorisation lié à leur localisation précédente s'ils étaient auparavant résidents de l'aire urbaine de Lyon. Si l'on part du principe que la localisation est un facteur déterminant du nombre de véhicule des ménages, cela entraîne qu'après une relocalisation, leur taux d'équipement se trouve remis en question. Comme cette variable a ensuite des conséquences importantes en matière de mobilité et de choix modal, un module de calcul du taux de motorisation des ménages a été placé entre URBANSIM et la chaîne des modules transport proprement dite.

Un modèle logit a été implémenté pour fournir une probabilité de disposer de 0, 1 ou 2 voitures ou plus à chacun des ménages qui viennent d'être relocalisés. Une exploration statistique des données disponibles dans URBANSIM pour décrire les ménages (Cf. §2.4) a été réalisée. Trois variables explicatives ont finalement été retenues : la taille du ménage, son nombre d'actifs et son IRIS de localisation, caractérisé par le quartile de densité auquel il appartient.

Dans ce modèle, 62,1% des ménages se voient attribuer un taux de motorisation correct. Par ailleurs, les erreurs de classement se font essentiellement sur la classe voisine. Seuls 4,5% des ménages se font affecter 2 voitures ou plus alors qu'ils n'en ont pas ou réciproquement.

Un autre travail est cependant en cours pour développer ce module sur une base mieux référencée et pour disposer ensuite d'un outil plus adapté à la dimension prospective de SIMBAD, prenant notamment mieux en compte l'évolution des revenus ou des coûts de l'automobile et des carburants.

3.2.2. Un module de micro-simulation aléatoire pour la génération des chaînes de déplacements

L'approche traditionnelle de la génération des déplacements au sein de la chaîne de modélisation à quatre étapes consiste à estimer des lois de génération sur la base des données de déplacements individuels collectés lors d'une enquête déplacements (Bonnell, 2004 ; Ortuzar, Willumsen, 2001). Dans ce projet, nous avons toutefois effectué des choix méthodologiques différents. D'une part, nous avons privilégié une approche par micro-simulation aléatoire de comportements de déplacements. D'autre part, nous avons abandonné la logique « déplacements » des enquêtes pour privilégier une approche en termes de sorties du domicile. Nous présentons et justifions ces choix section 3.2.2.1. La section 3.2.2.2 expose le développement de la méthode et particulièrement les choix de typologies des individus d'une part et des sorties d'autre part. Enfin, section 3.2.2.3 nous présentons le pouvoir prédictif de la méthode à partir d'une analyse des données des enquêtes de 1985 et 1995.

3.2.2.1. Choix méthodologiques : micro-simulation des comportements et sorties du domicile

Au sein de la chaîne de modélisation à quatre étapes, l'étape de génération vise à estimer le volume de déplacements émis par chacune des zones de l'agglomération. Elle correspond sur le plan du comportement individuel au choix de se déplacer ou non. Pour estimer ces modèles, on dispose généralement des données des enquêtes ménages déplacements. La méthode habituellement retenue vise à expliquer le nombre de déplacements de chacune des zones à partir des variables socio-économiques disponibles au niveau des individus ou des ménages auxquels ils appartiennent, le plus souvent par régression linéaire (Bonnell, 2004 ; Ortuzar, Willumsen, 2001). Cette méthode présente toutefois plusieurs limites. La première concerne le choix du zonage qui doit tenir compte d'un arbitrage entre la nécessité de disposer d'un effectif de déplacements enquêtés suffisant pour chacune des zones, ce qui conduit à des zonages plus agrégés, et le souhait de privilégier le zonage le plus fin afin d'avoir des zones les plus homogènes possibles et d'accroître la variance interzones. La seconde tient à la forte multicolinéarité entre les variables socio-économiques disponibles, qui impose le plus souvent le choix d'un nombre limité de variables explicatives au sein de la régression.

De ce fait, ces modèles ont souvent un pouvoir explicatif assez limité. Le fait qu'ils contiennent un nombre limité de variables socioéconomiques ne leur permet pas de rendre compte de manière fine de l'impact de l'évolution des structures socio-démographiques de la population. Cette limite est acceptable pour des horizons temporels de court ou moyen terme. Elle devient de moins en moins acceptable pour des horizons plus lointains comme dans le cas de SIMBAD. Nous avons donc privilégié une approche alternative basée sur la micro-simulation des comportements individuels.

Prenons l'exemple d'une simulation à 2025 à partir des données de l'enquête ménages déplacements de 1995 pour illustrer le principe. Le modèle classique consiste à estimer les lois de génération, puis à partir des caractéristiques agrégées de population de chacune des zones à l'horizon 2025 d'appliquer ces lois. Son application est très simple et facile à mettre en œuvre à l'aide d'un tableur. Pour le modèle de micro-simulation le principe reste simple, mais la mise en œuvre est en revanche beaucoup plus lourde. Il consiste à énumérer la population de chacune des zones à l'horizon 2025 à partir d'un modèle de création de population synthétique. Pour chacun des individus énumérés qui est doté d'un certain nombre de variables socio-démographiques, il faut choisir, parmi la population de l'enquête de 1995, un « donneur » qui dispose évidemment des mêmes caractéristiques socio-démographiques. La mobilité observée de ce « donneur » sera appliquée au receveur de 2025.

Dans la mesure où nous prenons en compte de manière fine les caractéristiques socio-démographiques des individus, nous pouvons rendre compte de manière fine de l'impact de

l'évolution des caractéristiques socio-démographiques de la population à l'horizon 2025 : vieillissement de la population, évolution de la motorisation, des revenus, diminution de la taille des ménages, évolution de la structure des ménages, entrée plus tardive sur le marché du travail, âge de départ à la retraite... pour autant que les variables correspondantes soient prises en compte dans l'énumération de la population synthétique. Nous avons volontairement simplifié la présentation de la méthode. Il reste en effet à déterminer ce que l'on entend par « un « donneur » qui dispose des mêmes caractéristiques socio-démographiques ». Cela revient à déterminer les variables qui influent le plus sur les comportements de mobilité des individus (section 3.2.2.2).

En revanche, une limite évidente apparaît tout de suite. Cela revient à considérer que les individus qui possèdent certaines caractéristiques socio-économiques en 1995, se déplacent de la manière que ceux qui disposent de ces caractéristiques en 2025. Nous faisons donc l'hypothèse de la stabilité des comportements entre 1995 et 2025 à caractéristiques socio-démographiques données. L'hypothèse peut paraître forte. Mais même si cela apparaît moins clairement, la méthode classique fait exactement la même hypothèse, sauf à changer les coefficients des lois de génération estimés lors de la régression. L'estimation de l'évolution des coefficients suppose toutefois de disposer de données en série chronologique, ce qui n'est pas le cas. Tout au plus dispose-t-on de quelques enquêtes ménages déplacements (1976, 1985, 1995 et 2006 pour Lyon) permettant de tester la stabilité des coefficients de génération et dans la négative de faire des hypothèses sur leur évolution. C'est exactement la même opération qui peut être effectuée avec la micro-simulation que nous présentons section 3.2.2.3.

Le second choix méthodologique consiste à travailler non pas en termes de déplacements, mais en termes de sorties du domicile (enchaînement des activités/déplacements entre le départ du domicile et le retour successif au domicile). Dans l'enquête ménages déplacements, un déplacement est défini par un mouvement entre un motif à l'origine et un motif à destination. Un individu qui part de chez lui, s'arrête pour déposer un enfant à l'école, puis va au travail, puis rentre chez lui le soir en s'arrêtant acheter de l'essence sur le trajet du retour à fait une sortie, mais quatre déplacements : domicile – dépose ; dépose – travail ; travail – achat ; achat – domicile. Cela correspond à deux déplacements basés au domicile (domicile – dépose et achat – domicile) et à deux déplacements que l'on dénomme « secondaires » car ne disposant pas d'une extrémité au domicile (dépose – travail et travail – achat). Dans la modélisation classique, tous les déplacements secondaires sont regroupés pour estimer une loi de génération dont le pouvoir explicatif est généralement très faible. La définition en termes de déplacements revient donc à perdre ce qui est très probablement le motif principal de la sortie du domicile réduisant d'autant la pertinence des lois de génération. Le problème va subsister pour les étapes suivantes de distribution ou de répartition modale où chaque déplacement va être modélisé de manière indépendante. A l'issue de l'étape de répartition modale, la sortie peut très bien commencer à pied pour aller à l'école, continuer en voiture pour aller au travail, se poursuivre en transports collectifs pour aller acheter de l'essence et enfin finir en deux roues ! La cohérence des choix ne peut être garantie. En revanche, dans une approche en termes de sortie, le motif principal justifiant la sortie peut être conservé et la cohérence interne à la sortie peut être assurée.

Nous avons donc construit un fichier de sorties du domicile à partir du fichier déplacements de l'enquête ménages déplacements. Le motif principal de la sortie est défini en retenant comme motif, le plus élevé des motifs présent dans la sortie en suivant la hiérarchie suivante travail >> école >> collège, lycée >> université >> achats/services >> accompagnement >> loisir >> autre. Les sorties sont ensuite définies comme simples si elles ne contiennent qu'un seul aller-retour pour le motif principal ou complexes si elles contiennent au moins trois déplacements.

3.2.2.2. Définition des typologies d'individus et de sorties

Le choix des caractéristiques socio-démographiques à prendre en compte mérite une attention particulière (la méthode est détaillée dans (Gitton, 2006)). Dans l'idéal, il serait souhaitable de

prendre le plus de variables socio-démographiques possibles puisque si l'on connaît la distribution de la population, les propriétés de l'analyse de variance nous permettent de décomposer la variance en une variance interclasse expliquée par la segmentation et une variance intraclasse non expliquée. Cette segmentation de la population en classes est toutefois soumise à certaines contraintes :

- ✓ La distribution de la population selon la variable utilisée pour la segmentation doit être connue dans l'ensemble de la population. Par exemple, il est sûrement pertinent de segmenter la population active entre temps plein et temps partiel pour expliquer le nombre de sorties pour le motif travail. Toutefois, pour utiliser cette variable, il faut d'une part qu'elle soit présente dans les données de l'enquête ménages déplacements et d'autre part que l'on connaisse la distribution de la population selon cette variable pour chacune des années de simulation, ce qui est loin d'être évident en ce qui concerne le poids du travail à temps partiel dans le futur ;
- ✓ Chacun des segments de population doit être d'une taille suffisante pour que le nombre d'observations au sein de l'enquête ménages déplacements soit suffisant. A défaut, la variance empirique de l'estimation du nombre de boucles sur chacun des segments risque de plus augmenter que le gain de variance interclasse expliquée par la segmentation. Les analyses conduites sur les données de l'enquête ménages déplacements de 1995 ont conduit à un seuil minimum de 80 individus enquêtés par classe (Gitton, 2006).

Le choix des variables entrant dans la segmentation est important pour maximiser les gains apportés par cette segmentation. Le principe de la méthode consiste à choisir un donneur pour chaque individu de la population synthétique pour chacune des années de la simulation. L'ensemble des déplacements du donneur sont attribués à l'individu. Il faut donc définir les variables socio-démographiques qui permettent de différencier le plus possible les comportements de déplacements individuels de sortie du domicile.

L'analyse des sorties, a conduit à identifier plusieurs centaines de sorties différentes en fonction des motifs présents au sein de ces sorties. Toutefois, certaines sorties sont plus fréquentes que d'autres :

- ✓ Les 18 sorties les plus présentes représentent 80% des sorties ;
- ✓ Les 59 sorties les plus présentes représentent 90% des sorties ;
- ✓ Les 175 sorties les plus présentes représentent 95% des sorties.

De plus un profil de mobilité individuel au cours d'une journée correspond à un agencement de une ou plusieurs sorties pour les personnes mobiles. Les profils sont donc encore plus nombreux que les sorties. La probabilité d'occurrence devient extrêmement faible pour certaines sorties ou certains profils. Il est donc nécessaire de procéder à des regroupements pour limiter le nombre de types de sorties. Les analyses ont conduit à retenir une nomenclature en 16 types de sorties (Gitton, 2006) : 8 sorties simples pour chacun des 8 motifs de sorties + 8 sorties complexes regroupant toutes les sorties complexes en 8 classes fonction du motif principal de la sortie. Il faut ensuite définir des profils types. Pour cela, le nombre de sorties présentes pour un individu donné est codé 0, 1 ou 2 selon qu'il effectue 0, 1 ou 2 et plus sorties du type correspondant. Avec cette définition, les 32 profils les plus fréquents regroupent 75% des individus. Aucune structure n'apparaît pour les 25% restants qui sont regroupés dans un 33^e profil.

Diverses méthodes d'analyses multidimensionnelles de données ont été utilisées pour analyser les profils de mobilités sur la base de la segmentation en 16 types de sorties. La méthode finalement retenue est celle de la segmentation par arbre de segmentation ou arbre de décision (Lebart et al., 2006). Elle a conduit à retenir les variables suivantes dans la construction des arbres de segmentation :

- ✓ Pour les actifs : distance au lieu de travail ; le fait d'être célibataire, en couple ou avec des enfants ; sexe ; accès individuel à la voiture ; localisation du ménage (définie en 4 classes : hypercentre de l'agglomération, reste de Lyon et Villeurbanne, 1^e couronne, couronne plus lointaine) ; revenu disponible. La segmentation conduit à définir 20 classes ;
- ✓ Pour les enfants scolarisés : âge de la personne ; distance domicile – établissement scolaire ; revenu des parents ; localisation du ménage (11 classes) ;

- ✓ Pour les étudiants : localisation du ménage ; accès individuel à la voiture ; âge de la personne (5 classes) ;
- ✓ Pour les retraités : accès individuel à la voiture ; revenu ; localisation du ménage ; sexe ; âge de la personne (10 classes) ;
- ✓ Pour les personnes au foyer : accès individuel à la voiture ; âge de la personne ; le fait d'être célibataire, en couple ou avec des enfants ; la localisation du ménage (5 classes) ;
- ✓ Pour les autres (essentiellement des chômeurs) : l'accès individuel à la voiture, âge de la personne ; sexe (4 classes).

La segmentation nous conduit donc à définir 55 profils individuels. Lors de la simulation, chaque individu de la population synthétique est ainsi classé parmi cette segmentation en 55 classes et un donneur lui est affecté parmi les individus de l'enquête ménages déplacements appartenant à cette même classe par tirage aléatoire.

3.2.2.3. Analyse du pouvoir prédictif

La méthode a été testée sur les données de l'enquête ménages déplacements de 1995. Pour cela, l'échantillon a été scindé en une base de construction du modèle (75% de l'échantillon initial) et un échantillon de test (25%). La séparation a été constituée par tirage aléatoire de la base de construction du modèle. Le modèle a été appliqué sur les 25% de l'échantillon de test. Pour chacun des individus receveurs de la base de test, un donneur est tiré dans la base de construction et son comportement est affecté au receveur. Il est ensuite possible de comparer pour chacun des 55 segments de population, le nombre de sorties estimées par le modèle et de le comparer au nombre de sorties réellement observées dans l'enquête. Afin de mesurer un écart moyen qui ne dépende pas de la simulation, l'opération est renouvelée 100 fois, ce qui permet de calculer un écart moyen.

Globalement les résultats sont bons avec des erreurs moyennes faibles pour les sorties les plus fréquentes. Par exemple, l'écart est inférieur à 3,6% pour la moitié des simulations pour la sortie simple achats/service et l'écart moyen calculé sur les 100 simulations est de 4,4%. L'écart moyen reste inférieur à 10% pour toutes les sorties simples, mais est supérieur pour certaines sorties complexes. Si l'on agrège toutes les sorties, l'erreur moyenne est de 1,1% et est inférieure à 2,8% pour 95% des simulations. Le nombre total de sorties est ainsi bien reconstitué. Gitton (2006) propose une analyse beaucoup plus fine des résultats.

La méthode permet donc de reproduire l'observé avec une qualité tout à fait appréciable si on la compare avec les méthodes plus classiques par régression qui ne permettent pas une désagrégation aussi fine des motifs de sorties. Reste à tester sa capacité prédictive, et plus particulièrement à tester la validité de l'hypothèse de constance des comportements à structure socio-démographique donnée. Le test a été réalisé à l'aide des données des enquêtes de 1985 et 1995 (le test a été réalisé en 2006 alors que les données de l'enquête de 2006 n'était pas encore disponible (Gitton, 2006)). L'analyse conduite sur 1995 a donc été renouvelée pour 1985. La typologie des individus a été reprise en utilisant la même méthode qu'en 1995. Elle conduit à une typologie légèrement différente, mais on retrouve sensiblement les mêmes variables explicatives. En revanche, la typologie des boucles et des profils a été conservée. La simulation pour 1995 a été conduite en utilisant la population de l'enquête de 1995. Pour chaque individu receveur de 1995, des donneurs ont été tirés, par tirage aléatoire avec remise au sein du segment d'individus appartenant à la classe du receveur. Afin de s'assurer de l'indépendance des résultats vis-à-vis du processus de tirage aléatoire, 1000 donneurs ont été tirés pour chaque receveur. Le choix du périmètre d'analyse est délicat. Il est possible de raisonner à périmètre constant afin de faire abstraction de l'extension du périmètre entre 1985 et 1995. Mais la ville s'est étendue sous l'effet de la péri-urbanisation et un périmètre constant ne fournit qu'une illusion de stabilité. Nous avons donc comparé les résultats d'une part à périmètre constant et d'autre part en tenant compte de l'extension du périmètre.

L'application de la méthode de micro-simulation permet de bien prendre en compte les modifications de structure de population (tout au moins celles contenues dans les variables utilisées pour la segmentation de la population). On peut ainsi comparer les comportements effectifs en 1995 avec ceux simulés. L'analyse des résultats (Gitton, 2006) conduit à une conclusion assez mitigée. La mobilité des sorties les plus contraintes est assez bien simulée et les changements de structure de population expliquent une bonne part des évolutions de mobilité en termes de sorties. En revanche, les résultats sont beaucoup moins satisfaisants pour les motifs considérés comme moins contraints avec globalement une augmentation de la mobilité entre 1985 et 1995 qui ne résulte pas d'un effet de structure de population et qui n'est pas prévu par la simulation. Les résultats sont globalement similaires selon que l'on travaille à périmètre constant ou que l'on conduise la simulation sur l'ensemble du périmètre de 1995.

Deux interprétations sont possibles. La première consiste à considérer que les évolutions de mobilité observées à partir des données d'enquêtes ménages déplacements sont davantage dues à des évolutions de comportements qu'à des évolutions de structure de population, tout au moins pour les motifs de sorties considérées comme moins contraintes. La seconde, beaucoup plus prudente conduit à relativiser les données issues des enquêtes ménages déplacements. L'analyse des données pour les agglomérations disposant de quatre enquêtes ou plus au cours du temps met en évidence des évolutions le plus souvent erratiques entre enquêtes successives (CERTU, 2009) dont une partie peut être expliquée par les aléas liés aux méthodes d'échantillonnage, mais dont une partie est très probablement liée à la complexité de réalisation sur le terrain des enquêtes ménages déplacements qui ne permet pas de garantir de manière extrêmement stricte une comparabilité temporelle, malgré l'application d'une méthodologie qui n'a pas variée depuis les années 70 (Bonnell, 2004). Il serait donc souhaitable d'approfondir l'analyse sur une plus longue période.

3.2.2.4. Synthèse

La méthode de micro-simulation retenue présente certains avantages par rapport aux méthodes plus classiques d'estimation de lois de génération par régression linéaire multiple :

- ✓ Prise en compte fine et explicite de l'incidence des changements de structure de population, tout au moins pour les variables prises en compte dans la définition des segments de population ;
- ✓ La génération des profils de mobilité à partir d'un tirage aléatoire au sein d'une population de donneurs permet une bonne représentation des profils peu fréquents et donc conserve la diversité des comportements qui est extrêmement forte dans la population ;
- ✓ La méthode est compatible avec une approche en termes de sorties du domicile dans la mesure où l'ensemble du profil de mobilité d'un donneur est affecté à un receveur. On retrouve donc la diversité des sorties du domicile sans devoir passer par une agrégation des sorties au sein d'une typologie forcément réductrice par rapport à la variété observée dans les données d'enquêtes. La typologie que nous avons construite ne sert qu'à la définition des segments d'individus et non pas à la génération de la mobilité ;
- ✓ La méthode étant complètement désagrégée, elle permet de conserver les caractéristiques des individus et notamment le revenu nécessaire à l'évaluation sociale des politiques de déplacements et d'urbanisme.

Si les avantages sont nombreux et déterminant, la méthode n'est toutefois pas exempte de limites. La principale a trait à l'hypothèse de constance des comportements à caractéristiques socio-démographiques données. Cette limite est toutefois commune à toutes les méthodes de génération, sauf à disposer de données en série temporelle pour estimer les variations de comportements. Nous envisageons de tenter de la réduire dans des travaux ultérieurs visant à développer l'outil SIMBAD en analysant l'estimation du modèle à quatre étapes sur chacune des enquêtes ménages déplacements afin de tenter de dégager des tendances d'évolutions des comportements qui

pourraient alors être introduites dans les simulations sous forme de scénarios d'évolution de comportements.

3.2.3. Distribution et répartition modale : 3 chaînes de modèles pour 3 classes de revenus

La distribution – deuxième étape du modèle à quatre étapes – permet de relier entre elles les émissions et les attractions produites à l'issue de l'étape de génération, présentée précédemment. Elle permet de produire la matrice origines-destinations (O-D) des déplacements (§ 3.2.3.3). L'étape suivante conduit au choix du moyen de transport. Elle vise à répartir la matrice O-D en autant de matrices de déplacements qu'il y a de moyens de transport (§ 3.2.3.4). L'offre de transport influe bien évidemment sur ces choix. Cette offre est généralement mesurée par l'intermédiaire du temps généralisé (§ 3.2.3.2).

Avant de présenter la formalisation des modèles retenus et leur calage, nous abordons les spécificités de l'approche retenue au sein de SIMBAD (§ 3.2.3.1). La génération conduit à produire des émissions et attractions en termes de sorties et non pas en termes de déplacements. Nous analysons les conséquences de ce choix. La méthode retenue pour la génération permet d'associer les caractéristiques socio-économiques des individus réalisant les sorties. Il est donc possible de segmenter la distribution et la répartition modale selon ces caractéristiques. Nous avons retenu une segmentation en fonction du revenu afin d'apporter des éléments permettant d'alimenter la dimension sociale au sein de l'évaluation des politiques de transport et d'urbanisme.

3.2.3.1. Choix méthodologiques : une approche en termes de sorties et une segmentation des individus en fonction de leur revenu

Le module de microsimulation retenu pour l'étape de génération conduit à une approche de la mobilité en termes de sorties et non pas en termes de déplacements. Dans une approche en termes de déplacements, la distribution conduit à relier les émissions et attractions entre elles. Elle conduit donc à relier l'origine et la destination des déplacements. Dans une sortie, l'origine et la destination sont au domicile. Il est donc nécessaire d'adapter la méthode pour identifier l'origine et la destination de chacun des déplacements inclus dans la sortie. Dans la pratique, il s'agit de déterminer le lieu de réalisation de chacune des activités incluses dans la sortie.

L'analyse est rapidement complexe dans la mesure où l'analyse des sorties met en évidence la variabilité du nombre d'activités présentes au sein des sorties et surtout la très grande diversité des combinaisons d'activités. Il est donc difficile de définir des typologies simples. Celle retenue pour l'analyse des comportements de mobilité a permis de segmenter les sorties en 16 types (Gitton, 2006 : 8 sorties simples pour chacun des 8 motifs de sorties + 8 sorties complexes regroupées en fonction de leur motif principal). Toutefois, l'analyse du nombre de sorties complexes observées dans l'enquête ménages déplacements met en évidence la faiblesse des effectifs. Pour réaliser un calage correct des modèles de distribution et de répartition modale, avec une bonne précision de l'estimation des coefficients, l'agrégation des sorties s'avère nécessaire.

L'analyse des sorties complexes à partir des données de l'enquête ménages déplacements de 2006 montre que la distance supplémentaire générée par les activités autres que celle correspondant au motif principal de la sortie (Cf. définition §3.2.2.1) est très faible par rapport à la distance aller-retour entre le domicile et le lieu du motif principal de la sortie. Nous avons donc fait le choix d'agréger les sorties simples et les sorties complexes ayant le même motif principal. Ce choix est tout à fait acceptable au regard de l'objectif de SIMBAD en termes de production d'indicateurs permettant d'évaluer l'état du système de transport (occupation de voirie, distance de déplacements

pour les calculs d'émission...). Le choix est évidemment plus discutable sur le plan comportemental. Il est clair que ces activités « annexes » conditionnent parfois le choix du mode par exemple lorsqu'un seul déplacement au sein de l'ensemble de la sortie ne peut être effectué en transport collectif. Nous envisageons donc de revenir sur ce choix lors des développements ultérieurs de SIMBAD.

Le second choix méthodologique découle des objectifs de SIMBAD à savoir la production d'indicateurs permettant d'évaluer les politiques de déplacements et d'urbanisme selon les trois dimensions du développement durable. La dimension sociale est le plus souvent occultée par la modélisation transport car les caractéristiques des individus ne peuvent être attachées aux déplacements. Nos choix méthodologiques pour la génération permettent en revanche de disposer des caractéristiques utilisées pour segmenter les profils d'individus. Il est donc possible de conserver ces caractéristiques lors des étapes de distribution et de répartition modale. Toutefois, cela conduit à estimer autant de modèles qu'il y a de segments de population. Les effectifs enquêtés étant déjà souvent faibles au regard des besoins de modélisation, il ne serait pas réaliste de conserver les 55 profils (Cf. §3.2.2.2). Nous avons donc conservé uniquement le revenu qui est défini en trois classes (20% les plus modestes ; 60% intermédiaires ; 20% les plus riches).

En théorie, les comportements de localisation des activités et surtout de choix modaux étant différents en fonction du revenu, cette segmentation devrait améliorer la qualité de notre modélisation. Il n'est toutefois pas sûr que ce gain en termes de pertinence compense la perte de qualité des estimations en termes de mesurabilité pour utiliser les trois conditions de l'opérationnalité des modèles développées par Bonnaïfous (1989). Le choix de la segmentation en fonction du revenu n'est donc pas guidé par un objectif d'amélioration de la chaîne de modélisation transport, mais par l'objectif du projet SIMBAD de produire des indicateurs rendant compte de la dimension sociale.

3.2.3.2.L'offre de transports et les matrices de temps généralisés

Nous avons retenu trois modes de transport au sein de SIMBAD :

- ✓ modes doux : marche à pied (MAP), vélo. Dans la pratique la part du vélo étant marginale (de l'ordre de 1% dans les enquêtes ménages déplacements de 1995 ou de 2006), nous ne considérons que la marche à pied ;
- ✓ la voiture particulière (VP) : que ce soit en tant que conducteur ou en tant que passager, les deux-roues motorisés sont également inclus dans ce mode ;
- ✓ transports en commun (TC) : qui incluent tous les modes collectifs à savoir le bus, le tramway, le métro et le train.

Afin de pouvoir comparer les parcours possibles pour chaque mode ou les modes entre eux, on traduit leurs différentes caractéristiques – constituant le niveau de service offert à l'usager – par un indicateur unique : le temps généralisé. Les matrices de temps généralisés VP et TC sont déterminées lors de l'étape d'affectation (partie 4). En revanche, la matrice MAP est construite en dehors de la procédure d'affectation car il n'y a pas de réseau modélisé pour ce mode. Pour estimer ce temps, nous avons retenu une vitesse de marche à pied et pris en compte la distance entre les centroïdes de zones (§4.1.3.4). Nous avons retenu une distance à vol d'oiseau. De ce fait, nous avons privilégié une distance de marche (3 km/heure) plus faible que celle qui est généralement retenue afin de tenir compte des distances réellement parcourues qui, en milieu urbain, sont plus proches de distances rectilinéaires que de distances à vol d'oiseau.

L'estimation des distances intra-zones est toutefois problématique puisque, par définition du zonage, un déplacement intra-zone est un déplacement entre le centroïde et lui-même. Il a donc forcément une distance nulle. Nous avons défini une procédure d'estimation du temps généralisé intra-zone pour chacun des modes de transport :

- ✓ Pour la marche à pied, il suffit de déterminer une distance. Nous avons retenu, la formulation habituellement utilisée qui est fonction de la surface de la zone : $D_{ii}^{int} = 1/2 \cdot \sqrt{S_i}$, avec D_{ii}^{int} distance intra-zone de la zone i et S_i la surface de la zone i (CERTU, 2005) ;
- ✓ Pour la voiture, nous avons retenu d'une part une distance identique à celle de la marche et d'autre part une vitesse. Pour chaque zone, nous avons retenu la vitesse à vide minimale d'accès aux zones adjacentes. Afin de s'assurer que ce temps ne soit pas supérieur à celui nécessaire pour accéder aux autres zones, nous avons retenu le minimum du temps intra-zone préalablement estimé et du temps généralisé d'accès aux zones adjacentes ;
- ✓ Pour les transports collectifs, nous ne pouvons pas utiliser une distance intrazone fonction de la surface de la zone, car la distance dépend de l'offre existante. Nous avons donc retenu le minimum du temps généralisé d'accès aux zones adjacentes.

Le temps généralisé doit, entre autres, permettre de comparer les différents modes. Or, la fonction de temps généralisé TC intègre plusieurs pénalités (marche, attente, correspondances Cf. §3.2.3.4). Ces pénalités sont plus nombreuses et plus importantes que pour la VP. En réalité, comme le signalent Raux et Lichère (1997), toutes ces pénalités sont intégrées pour bien différencier les composantes du temps TC *les unes par rapport aux autres* (dans le choix du chemin dans la procédure d'affectation) et non dans l'absolu. Afin d'éviter que le poids relatif du temps et des coûts soit déformé, il est d'usage de « normer » le temps généralisé TC en le divisant par un coefficient supérieur à 1. Nous avons utilisé le rapport entre le temps moyen de déplacement et le temps généralisé, soit un coefficient égal à 1,3.

3.2.3.3. Distribution : modèle gravitaire exponentiel

3.2.3.3.1. Choix méthodologiques

Il existe plusieurs familles de modèles de distribution mais celle dont l'usage est prédominant dans la modélisation contemporaine correspond aux **modèles gravitaires** (Bonnell, 2004). Le principe de ces modèles est très simple et peut être compris intuitivement par son analogie avec la loi de la gravitation universelle de Newton⁸, que l'on peut énoncer ainsi : deux corps de masses respectives M_A et M_B s'attirent avec une force proportionnelle à chacune des masses, et inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare. Dans la transposition de ce principe au domaine des déplacements urbains, à l'attraction entre deux corps se substitue le nombre de sorties émises par la zone i (e_i), et attirées par la zone j (a_j). A la place de la distance au carré, on trouve une fonction du temps ou de coût généralisé c_{ij} , entre les deux zones.

La forme générique du modèle gravitaire est la suivante :

$$T_{ij} = v \cdot e_i \cdot a_j \cdot f(c_{ij})$$

où T_{ij} le nombre de sorties entre i et j (ou plus précisément le nombre de sorties dont le domicile est en i et la localisation de l'activité principale en j), v est un coefficient de proportionnalité et f est la fonction de résistance.

⁸ Formellement, le modèle gravitaire est établi à partir du principe d'entropie (Wilson, 1970).

La spécification de la fonction f impacte directement les résultats de la phase de distribution. SIMBAD opte pour une formulation classique de type exponentielle, déterminée par une constante positive appelée **paramètre d'impédance**, β .

Nous disposons de trois matrices de temps généralisé pour la marche à pied, la VP et les TC. Mais la distribution intervient avant la répartition modale dans la chaîne à quatre étapes. Il est donc nécessaire de produire un temps généralisé unique appelé « synthétique ». Le problème n'a pas de « bonne » solution et que l'on privilégie généralement deux approches (Bonnell, 2004):

- ✓ Choix du temps généralisé du mode présentant la plus faible valeur ;
- ✓ Moyenne pondérée des coûts généralisés des modes VP et TC, la pondération étant le poids de chacun des modes sur l'O-D considérée.

Nous avons retenu la première approche, car elle conduit généralement à de meilleurs résultats lors du calage et à une plus grande stabilité des résultats en prévision.

3.2.3.3.2. Calage du modèle gravitaire

La procédure de calage consiste à estimer les paramètres associés au modèle. Un seul paramètre est présent dans le modèle gravitaire avec une fonction de résistance exponentielle, à savoir le paramètre d'impédance β . Cette estimation doit être faite pour chacun des motifs et pour chacune des trois classes de revenu.

Pour le calage du modèle de distribution, nous utilisons les données de l'enquête ménages déplacements 2006 et non celles de 1995. Ce choix peut paraître incohérent en regard du choix effectué pour l'étape de génération. Il résulte du déroulement de la recherche qui a conduit à estimer le modèle de distribution nettement après les travaux conduits sur la génération et donc à disposer des données 2006 pour la distribution, ce qui n'était pas possible lors des travaux sur la génération. Comme nous l'avons déjà évoqué (§ 3.2.2), le calage d'un modèle sur des données d'une seule enquête conduit à figer les coefficients de calage. Il est donc préférable de retenir les données les plus récentes. De plus, le périmètre de l'enquête de 1995 est nettement plus restreint que l'aire urbaine, ce qui n'est plus le cas en 2006.

Le zonage de l'enquête ménages déplacements (celui de 1995 comme celui de 2006) n'est pas compatible avec le découpage en IRIS. Nous devons pourtant utiliser les matrices de sorties observées dans l'enquête ménages déplacements et celles de temps généralisé issues du découpage de SIMBAD. Nous avons donc défini une matrice de passage entre les deux découpages au prorata des surfaces bâties communes aux deux découpages (Cabrera, 2008).

La méthode utilisée pour estimer le paramètre β est dérivée de celle d'Hyman (1969). Elle vise à atteindre une fonction objectif qui est définie par :

$$c(\beta) = \frac{\sum_{ij} T_{ij}(\beta) \cdot c_{ij}}{\sum_{ij} T_{ij}(\beta)} = c^* = \frac{\sum_{ij} N_{ij} \cdot c_{ij}}{\sum_{ij} N_{ij}}.$$

Avec c_{ij} coût généralisé de i à j , N_{ij} Nombre de déplacements observés dans l'enquête ménages déplacements entre i et j , $T_{ij}(\beta)$ le nombre de déplacements modélisés entre i et j , c^* le coût généralisé moyen observé dans l'enquête ménages déplacements et $c(\beta)$ le coût généralisé moyen modélisé fonction de l'estimation de β .

Le Tableau 12 donne les coefficients issus de la procédure de calage pour les six motifs.

Tableau 12 : Paramètre de la fonction de résistance en fonction du motif et du revenu

MOTIFS	β		
	bas	moyen	haut
Travail	0,17	0,11	0,11
Ens. Primaire	0,65	0,53	0,65
Ens. Secondaire	0,35	0,25	0,39
Ens. Supérieur	0,35	0,22	0,42
Achats-Services	0,31	0,27	0,29
Autres Motifs	0,30	0,26	0,25

Source : traitement Cabrera, à partir de l'enquête ménages déplacements de Lyon 2006

Enfin, pour contrôler la procédure de calage, on a calculé des indicateurs sur des matrices 8x8 issues d'une agrégation des matrices O-D obtenues par la procédure de calage.

3.2.3.4. Répartition modale : un modèle logit imbriqué de choix discret

3.2.3.3.1. Choix méthodologiques

i. Facteurs explicatifs du choix modal

Nous avons signalé, dans ce qui précède, que les déplacements peuvent se faire par l'intermédiaire de trois modes : MAP, VP et TC. Les facteurs qui permettent aux agents d'arbitrer entre ceux-ci et d'en choisir un pour se déplacer sont multiples. Il est classique d'organiser les facteurs explicatifs du choix du mode en trois groupes (Bonnell, 2004):

- ✓ **l'offre de transport** : Les deux principaux paramètres pris en compte sont le prix ressenti par l'individu, en général différent du coût réel, et le temps perçu, qui tient compte de la perception plus ou moins négative associée aux différents moments du déplacement. Le stationnement apparaît aussi comme un facteur déterminant du choix.
- ✓ **les caractéristiques du déplacement** : L'origine et la destination des déplacements sont des facteurs importants du choix, car le niveau d'offre des deux modes motorisés varie selon la localisation des extrémités du déplacement. On peut également évoquer le motif (la demande de transport est une demande « dérivée » de celle de l'activité que l'on cherche à accomplir dans le lieu de destination), l'heure de la journée et le chaînage (on peut, par exemple, aller en vélo au travail mais si l'on va également faire les courses de la semaine au retour on peut préférer de prendre la voiture).
- ✓ **les caractéristiques de l'individu** : celles-ci peuvent conditionner l'accès aux différents modes. Par exemple, les personnes n'ayant pas le permis de conduire ne peuvent pas se déplacer en voiture en tant que conducteurs. Les personnes ayant un revenu supérieur seront plus disposées à privilégier la voiture particulière dans leurs déplacements.

Dans le cadre de SIMBAD, les facteurs liés aux caractéristiques du déplacement – la localisation des extrémités, le motif et le chaînage – ainsi qu'une partie des facteurs individuels – le revenu – interviennent par le biais des matrices O-D issues de l'étape de distribution (Cf. § 3.2.3.1). L'étape de répartition modale, à proprement parler, nous permet d'intégrer dans l'analyse les facteurs liés à l'offre de transport – notamment par les temps généralisés et la contrainte de stationnement – ainsi que de prendre en compte une caractéristique individuelle supplémentaire, l'accès à la voiture particulière, par le biais du taux de motorisation.

ii. Logit ou proportions fixes ?

Dans SIMBAD, la détermination des parts de marché par O-D des trois modes de transport disponibles se fait, en deux étapes :

- ✓ Détermination de la part modale de la MAP : Un premier modèle de choix est appliqué pour séparer les déplacements réalisés à pied de ceux ayant emprunté un mode motorisé (MM) – composite représentant VP et TC.
- ✓ Détermination de la part modale des TC : Un deuxième modèle de choix permet de déterminer, parmi les déplacements faits en MM, quels sont ceux qui se font en TC et ceux qui se font en VP.

La marche à pied

Les déplacements qui se font à pied sont essentiellement de *courte distance*. Certains modèles (Raux et Lichère, 1997, par exemple) utilisent cette caractéristique pour supposer qu'il s'agit de déplacements intra-zones, ce qui permet d'exprimer la part modale de la MAP en fonction des caractéristiques de la zone comme la surface ou le taux de motorisation. Cette hypothèse n'est pas utilisable dans SIMBAD : compte tenu de l'hétérogénéité des surfaces des IRIS, liée aux écarts de densité entre le centre et la périphérie de l'agglomération, la proportion des déplacements intra-zones réalisés à pied est trop faible (de l'ordre de 55%) pour négliger interzones. Nous avons donc retenu un modèle logit pour le choix entre MAP et MM pour chacun des motifs et des catégories de revenu considérées : il s'agit d'un choix binaire, nous n'avons donc pas défini une fonction d'utilité mais simplement une différence entre les utilités de la MAP et des MM. La partie déterministe de cette différence d'utilités est:

$$(U_{MAP} - U_{MM})_{ij} = k_1 + \tau_{MAP} \cdot c_{ij}^{MAP} + \tau_{MM} \cdot c_{ij}^{MM} + \delta_1 \cdot d_j. \quad (1)$$

$(U_{MAP} - U_{MM})_{ij}$ est la différence d'utilité entre la MAP et les MM pour l'O-D ($i ; j$), c_{ij}^{MAP} est le temps généralisé de la MAP et c_{ij}^{MM} celui des MM (minimum des temps généralisés VP et TC) : ces deux variables représentent les performances respectives des deux modes sur une O-D donnée. d_j est la densité de la zone de destination et sert à donner une mesure de la contrainte de stationnement. $k_1, \tau_{MAP}, \tau_{MM}$ et δ_1 sont des paramètres de calage. La part de marché de la MAP $(MS_{MAP})_{ij}$ dans les déplacements entre i et j est alors donnée par :

$$(MS_{MAP})_{ij} = \frac{1}{1 + \exp((U_{MAP} - U_{MM})_{ij})}.$$

Nous devons insister sur le fait que cette formulation peut, en théorie, être appliquée à l'ensemble des motifs et des catégories de revenu. Elle traduit bien le fait que, pour les déplacements de courte distance, la MAP et la VP sont en concurrence (pour les déplacements courts, l'utilisation du minimum des temps généralisés VP et TC conduit à prendre souvent le temps VP). Par contre, sur les longues distances, l'importance du temps MAP par rapport au temps MM fait que le choix ne porte plus que sur les modes motorisés.

Une exception doit néanmoins être signalée : pour les déplacements pour motif d'études supérieures pour la catégorie de revenu élevé, l'analyse des données d'enquête révèle qu'il n'y a que quelques déplacements réalisés à pied. Ceci est sans doute lié à la localisation des établissements d'enseignement supérieur qui ne sont, en grande majorité, pas situés dans les quartiers aisés de l'agglomération. On supposera donc que tous les déplacements de cette catégorie se font en empruntant un mode motorisé.

Les transports en commun

Pour les modes motorisés, il est difficile de mettre en place un modèle de choix qui puisse s'appliquer à tous les motifs et à toutes les catégories de revenu. Plus précisément, les déplacements pour motif d'enseignement primaire et secondaire sont réalisés par des individus ayant des formes d'accès très particulières à la VP et aux TC : en règle générale, il s'agit de jeunes n'ayant pas accès à la VP en tant que conducteurs. Un déplacement en VP pour l'un des deux motifs considérés dépend donc de l'organisation spécifique du ménage permettant à l'individu de se rendre à son lieu d'études en tant que passager d'une VP. Pour ce qui est des TC, une grande partie des déplacements est couverte par une offre spécifique (lignes Junior). Or, celle-ci n'apparaît pas encore dans la description de l'offre telle qu'elle est faite dans SIMBAD.

L'observation des parts modales pour les motifs d'enseignement primaire et secondaire ne fait pas apparaître de variations significatives dans le temps. Entre 1976 et 1995 la part de marché des TC, par rapport aux seuls modes motorisés, est constante autour de 8% pour l'enseignement primaire et autour de 70% pour l'enseignement secondaire (Raux et Lichère, 1997). En 2006 on retrouve à peu près les mêmes valeurs. Le choix pour cette première version de SIMBAD est de conserver ces deux valeurs pour les motifs enseignement primaire et secondaire : les matrices O-D sont obtenues en multipliant les valeurs des matrices O-D MM par les parts de marché, supposées constantes.

Pour tous les autres motifs, on utilise le modèle de choix de type logit suivant :

$$(U_{TC} - U_{VP})_{ij} = k_2 + \tau_{TC} \cdot CP_{ij}^{TC} + \tau_{VP} \cdot CP_{ij}^{VP} + \delta_2 \cdot d_j \quad (2)$$

avec $CP_{ij}^{TC} \equiv c_{ij}^{TC} \cdot \xi_i$ et $CP_{ij}^{VP} \equiv c_{ij}^{VP} / \xi_i \cdot c_{ij}^x$ est le temps généralisé du mode x pour l'O-D $(i;j)$, d_j la densité de la zone de destination (permet de tenir compte de la contrainte de stationnement), ξ_i est le taux de motorisation de la zone d'origine (rapport entre le nombre de voitures et le nombre de personnes de plus de 18 ans). CP_{ij}^x est alors un temps généralisé perçu : la motorisation augmente la pénibilité relative des déplacements en TC tandis qu'elle réduit celle de déplacements en VP.

3.2.3.3.2. Calage de la répartition modale

Pour l'application du modèle, il faut donner des valeurs aux quatre paramètres de l'équation (1) et aux quatre paramètres de l'équation (2), pour tous les niveaux de revenu ainsi que pour tous les motifs, dans le premier cas, et pour les motifs autres que l'enseignement primaire et secondaire dans le second. Une remarque mérite d'être faite ici : les équations (1) et (2) font appel au temps généralisé TC. Or, le réseau TC modélisé ne couvre pas l'ensemble de l'aire urbaine bien que l'on puisse recenser des déplacements en TC dans la partie de l'AUL « non-couverte » par le réseau modélisé. Il s'agit essentiellement de déplacements empruntant l'offre ferroviaire (en cours de modélisation) et de l'offre TC des communautés de communes autres que le Grand-Lyon. Pour cette première version de SIMBAD, nous avons décidé de caler le modèle de répartition modale sur le périmètre où l'offre TC est modélisée (correspondant plus ou moins au PTU lyonnais) et de l'appliquer ensuite à l'ensemble de l'aire urbaine. Cette approche est bien évidemment loin d'être parfaite mais elle permet de pallier, dans une certaine mesure, aux limites de codification des réseaux.

La méthode de calage utilisée est celle proposée dans Bonnel (2003). Il s'agit d'une méthode itérative d'agrégations des observations associées à des régressions linéaires. Le zonage retenu pour le calage de la répartition modale est naturellement le même que celui retenu pour la distribution. De ce fait, nombreuses cases des matrices O-D sont vides ou tout au moins avec un faible nombre de déplacements. On ordonne les O-D par ordre croissant de différence d'utilité et ensuite on

définit des classes par intervalle croissant de différence d'utilité. La largeur de chaque intervalle doit être définie de telle sorte qu'il comporte un nombre suffisant de données. Le nombre d'intervalles dépend donc de la taille de l'échantillon. La taille des classes retenues est de 150 chaînes de déplacements enquêtées. On aurait pu prendre 30 seulement, c'est-à-dire le minimum pour que la significativité statistique des valeurs soit suffisante, mais cela aurait conduit à des temps de calcul trop importants. On définit ensuite une différence moyenne d'utilité et une part de marché moyenne pour chacune des classes sur lesquelles est faite la régression. On renouvelle la procédure, soit ici 1500 itérations, et on prend la moyenne des valeurs de coefficients de chaque itération, mis à part les 500 premières.

Les résultats de la procédure de calage sont donnés dans le Tableau 13.

Tableau 13 : Les coefficients de la procédure de répartition modale

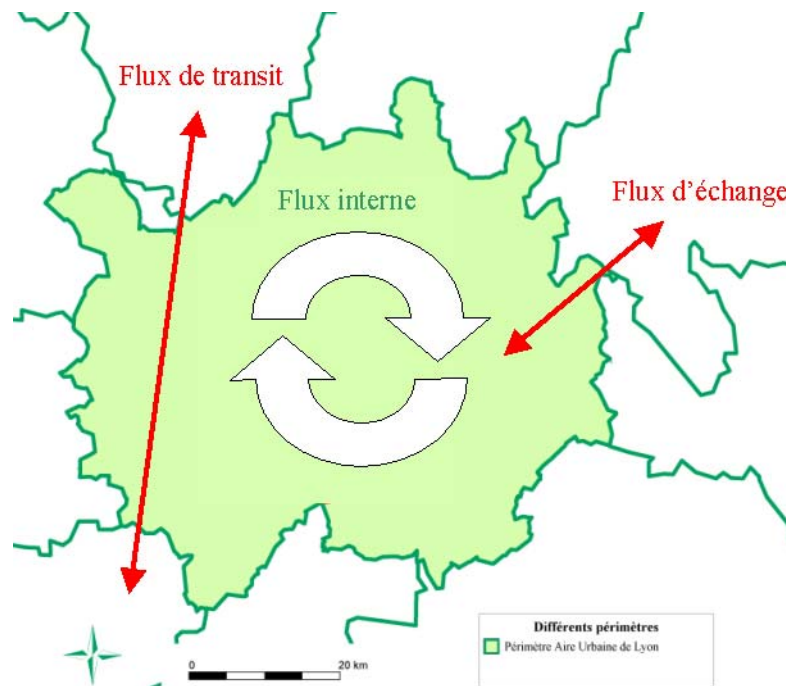
Revenu	Motif	répartition MAP/modes motorisés				répartition VP/TC			
		k_1	τ_{MAP}	τ_{MM}	δ_1	k_2	τ_{TC}	τ_{VP}	δ_2
Haut	Travail	-0.090	-0.019	0.395	-0.008	2,554	0,036	-0,046	-0,006
	Ach.Service	-0,552	-0,038	0,506	-0,006	4,494	0,013	-0,101	-0,006
	Ens. Sup.	Pas de déplacement à pied				-2,486	0,051	-0,028	-0,002
	Coll. Lycée	-0.711	-0.027	0.414	-0.006	-			
	Primaire	-3.260	0.168	-0.113	0.002	-			
	Autres	-0,823	-0,065	0,681	-0,006	2,856	0,065	-0,109	-0,004
Médian	Travail	0,048	-0,030	0,456	-0,006	2,304	0,042	-0,056	-0,006
	Ach.Service	-1,471	-0,031	0,532	-0,004	3,451	0,028	-0,105	-0,005
	Ens. Sup.	-3,683	-0,029	0,362	0,018	-0,213	0,041	-0,041	-0,006
	Coll. Lycée	-0.711	-0.027	0.414	-0.006	-			
	Primaire	0.443	0.078	-0.355	-0.007	-			
	Autres	-1,021	-0,027	0,440	-0,004	3,877	0,039	-0,081	-0,010
Bas	Travail	0.170	-0.015	0.351	-0.008	0,404	0,053	-0,021	-0,005
	Ach.Service	-2,033	-0,052	0,720	-0,003	1,245	0,051	-0,057	-0,006
	Ens. Sup.	-1,537	-0,053	0,583	-0,001	-3,420	0,079	-0,045	0,005
	Coll. Lycée	-0.711	-0.027	0.414	-0.006	-			
	Primaire	-2.757	0.150	-0.338	-0.002	-			
	Autres	-2,001	-0,039	0,540	-0,003	1,972	0,052	-0,063	-0,008

Source : traitement Cabrera, à partir de l'enquête ménages déplacements de Lyon 2006.

3.3. Le trafic de transit et les flux d'échange avec l'extérieur

Le modèle à quatre étapes produit la matrice des flux générés par les résidents de l'aire urbaine. Le modèle FRETURB produit les flux de transport de marchandises générés par les établissements de l'aire urbaine. Mais l'aire urbaine est aussi irriguée par des flux en relation avec l'extérieur que ce soient des flux de transit ou des flux d'échange (Carte 10).

Carte 10: Schématisation des flux appréhendé par les modules URBANSIM et FRETURB et des flux non encore connus sur le périmètre de l'aire urbaine lyonnaise



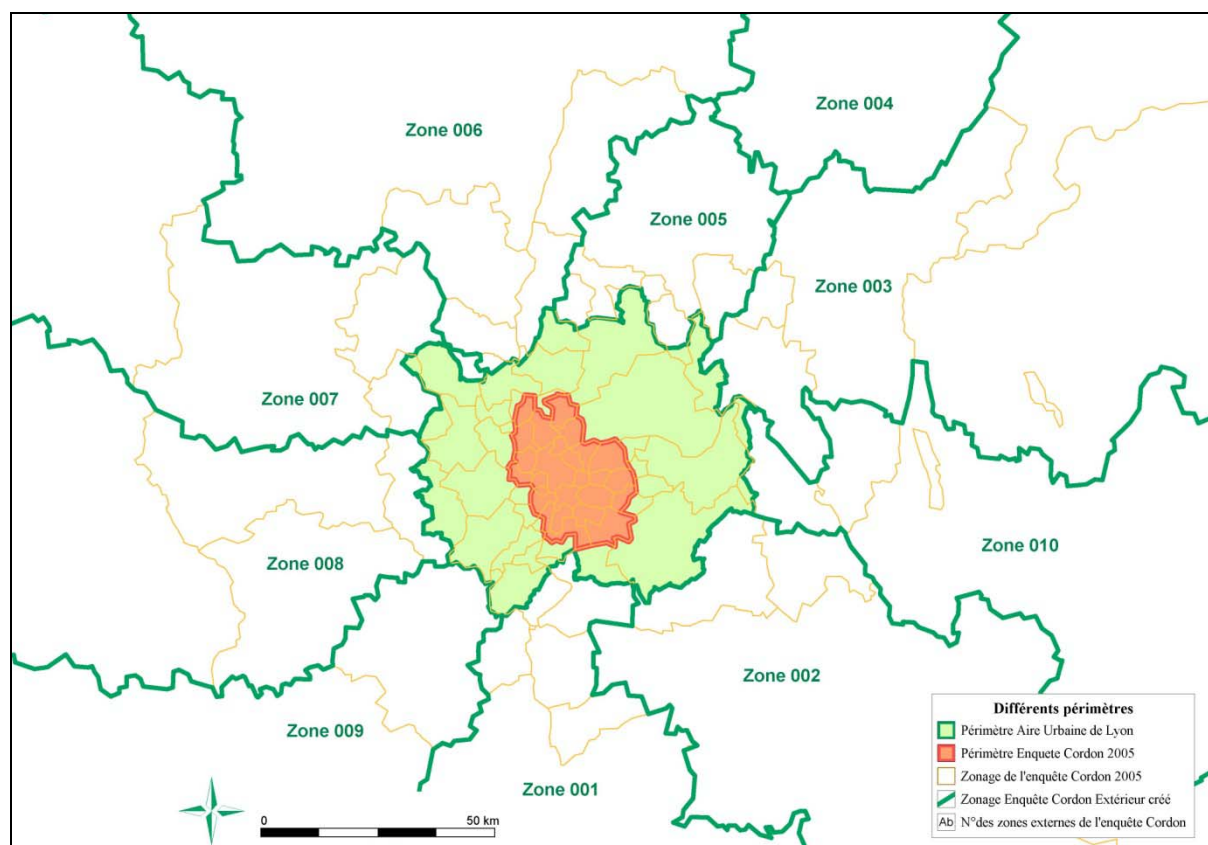
Source : Traitement LET

Création d'un zonage extérieur et passage à l'IRIS

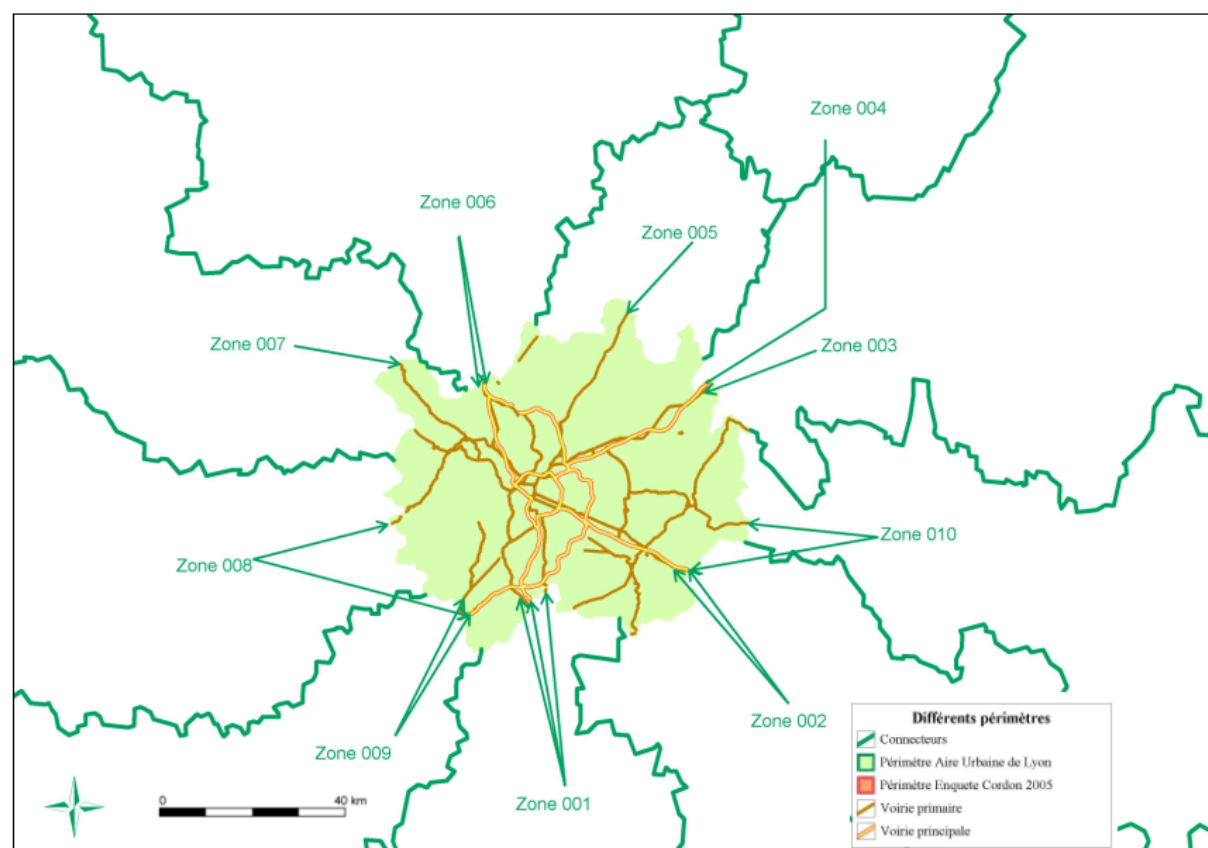
A l'extérieur de l'aire urbaine, le zonage de l'enquête cordon a été agrégé en 10 zones géographiques correspondant aux axes routiers de pénétrations dans l'aire urbaine. La constitution de ce zonage s'est faite à partir du zonage le plus fin de l'enquête cordon (Carte 11). Afin d'affecter les trafics des zones externes, chacune d'entre elles a été connectée au réseau viaire structurant de l'aire urbaine (Carte 12).

A l'intérieur de l'aire urbaine lyonnaise, le découpage de l'enquête cordon est un découpage communal sauf pour la ville de Lyon où un découpage par arrondissement est disponible. Les origines et les destinations des déplacements ont donc été désagrégées au niveau des IRIS. Pour cela, la demande de déplacements, exprimée en origine et destination, est répartie dans les IRIS constitutifs des communes au prorata de leurs nombres d'habitants et d'emplois.

Les modalités de passation de l'enquête font que seuls les véhicules sortant du périmètre de l'enquête sont enquêtés. Les véhicules entrant font seulement l'objet d'un comptage. Un redressement a été effectué en posant l'hypothèse que chaque déplacement sortant avait un déplacement entrant similaire ayant les mêmes caractéristiques avec seulement une inversion de l'origine et de la destination.

Carte 11: Enquête Cordon : Zonage Externe à l'AUL sur la région Rhône Alpes

Source : Traitement LET, à partir du zonage Enquête Cordon, DDE du Rhône 2006

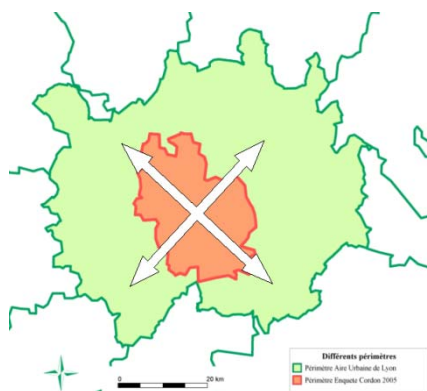
Carte 12 : Positionnement des connecteurs des zones externes à l'aire urbaine lyonnaise.

Source : Traitement LET

Des périmètres différents : doublons et manques de l'enquête cordon

La non concordance entre les périmètres de l'aire urbaine et le périmètre cordon conduit à ce que des trafics ne soient pas pris en compte (Carte 13)⁹ et qu'à l'inverse d'autres fasse l'objet de double compte (Carte 14 et Carte 15). C'est ce que nous allons voir maintenant.

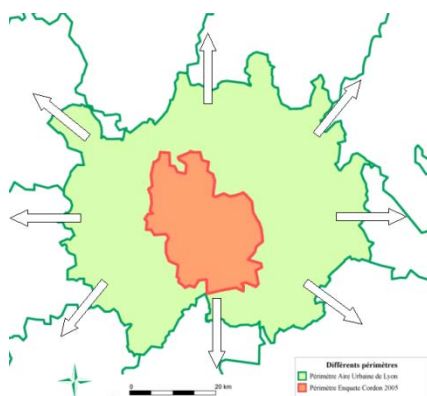
Carte 13 : Illustration des doubles comptes



Source : Traitement LET

Les modules FRETURB et URBANSIM générant les déplacements à l'intérieur de l'aire urbaine, les déplacements de l'enquête cordon internes à l'aire urbaine sont redondant des déplacements générés. Ils ne doivent pas être retenus lors de la constitution de la matrice de transit et d'échange.

Carte 14 : Illustration des déplacements d'échanges non pris en compte dans l'enquête cordon



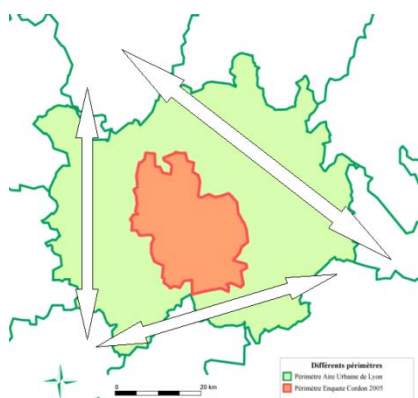
Source : Traitement LET

Ce sont les déplacements relatifs au trafic d'échange entre l'extérieur de l'aire urbaine et l'intérieur de l'aire urbaine, mais à destination d'un Iris extérieur au périmètre de l'enquête Cordon.

Ce trafic concerne exclusivement des voies extérieures au périmètre de l'enquête cordon, donc des voies généralement peu congestionnées. Son impact devrait donc être limité à l'échelle de l'aire urbaine lyonnaise.

Il sera nécessaire, dans les phases de développement ultérieurs de SIMBAD, de chercher à simuler les flux correspondants.

Carte 15 : Illustration des déplacements de transit absents de l'enquête cordon



Source : Traitement LET

Ce sont les déplacements relatifs au trafic de transit ne passant pas par le périmètre de l'enquête cordon.

L'analyse du réseau de voies rapides montre que ce type de trafic ne peut utiliser pas les principaux axes de transit à l'échelle de l'aire urbaine. Les volumes de flux correspondant devraient donc être minimes. De plus, ils s'écoulent principalement sur les voies de niveaux hiérarchiques inférieurs qui sont faiblement congestionnés. L'impact de ce trafic peut donc être considéré comme marginal à l'échelle de l'aire urbaine et peut être négligé.

⁹ Pour ces cartes, très réduites, il faut lire « 20km » pour l'échelle, « périmètre de l'aire urbaine » pour le grand périmètre vert pâle, et « périmètre de l'enquête cordon 2005 » pour le petit périmètre orange.

Mise en cohérence des années d'enquêtes

L'analyse des enquêtes cordon 1990 et 2005 a permis d'estimer la croissance des trafics à 2%/an pour les véhicules légers et de 1,3%/an pour les poids lourds est appliquée aux données de trafic (DDE du Rhône, 2006). Nous avons appliqué ces taux aux données de l'enquête de 2005 pour interpoler la matrice 1999.

3.4. La répartition heures de pointe / heures creuses pour prendre en compte l'impact de la congestion

L'ensemble des échanges entre les zones étant établi sur une journée, il reste ensuite à les répartir entre heures de pointe et heures creuses pour mieux prendre en compte les périodes de congestion qui dimensionnent les différents réseaux, mais qui sont aussi plus explicatives de la structuration de l'occupation de l'espace (Cf. §2.3, §2.4 et §2.5).

Des méthodes différentes ont été utilisées pour estimer cette répartition heure de pointe/heure creuse selon le type de déplacements considérés. Elles sont donc présentées en 3 sous-parties distinctes avec les déplacements des résidents (§3.4.1), ceux des marchandises en ville (§3.4.2), et les trafics transit-échange (§3.4.3).

3.4.1. L'heure de pointe des Lyonnais : une grande stabilité temporelle ?

Une investigation poussée a été menée pour analyser la répartition horaire des déplacements des Lyonnais, et son évolution au cours du temps grâce à 30 ans d'enquêtes-ménages déplacements à Lyon, en 1976, 1985, 1995 et 2006 (Lavielle, 2008).

Plusieurs définitions de l'heure de pointe ont été testées, sur les différents périmètres de l'enquête ménages qui se sont élargis progressivement entre 1976 et 2006. Elle a tout d'abord été observée en nombre de déplacements tous modes, et simplement en voiture particulière pour se centrer sur la congestion routière. Elle a été prise en compte avec des bornes fixes, de 7h-9h le matin et 17-19h l'après-midi, puis définie de manière beaucoup plus souple en considérant la courbe cumulée des déplacements par $\frac{1}{4}$ d'heures classés en ordre croissant. Enfin, le raisonnement a également été tenu en termes de distances parcourues pour mieux approcher des trafics sur les réseaux, sachant que les déplacements en heure de pointe sont plus liés que les autres à du domicile-travail et du domicile-études, en moyenne plus long que les autres.

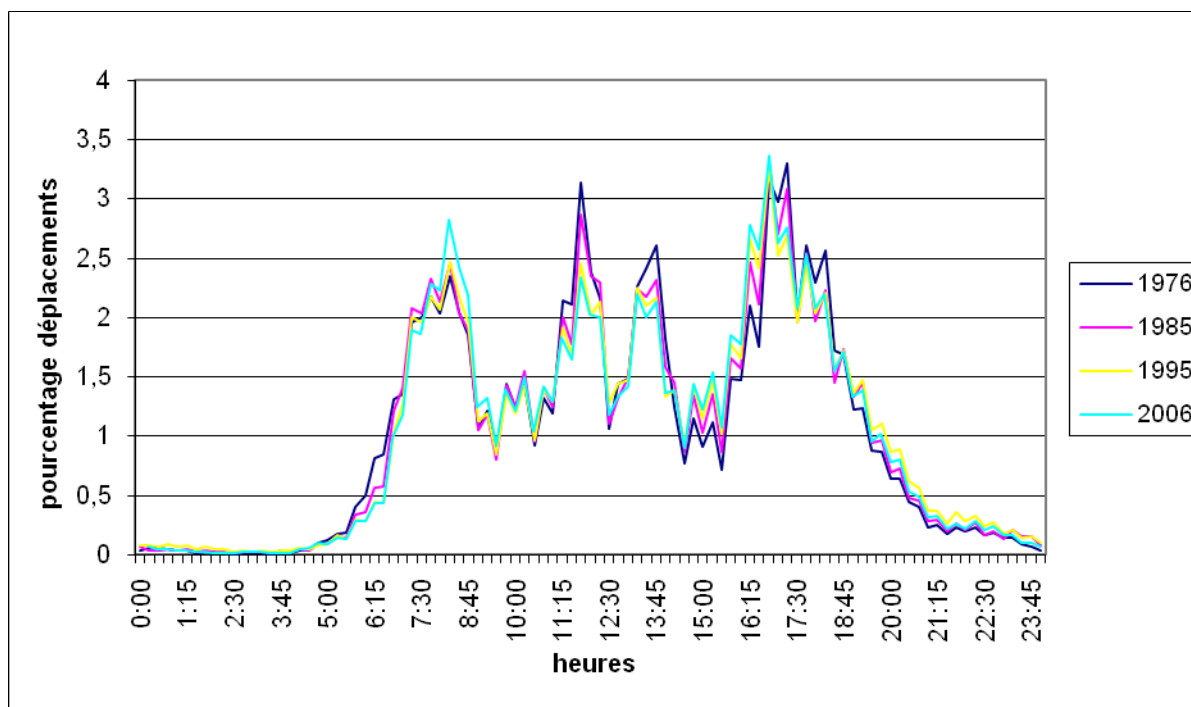
Cependant, quelle que soit la méthode retenue, la part de l'heure de pointe reste extrêmement stable sur les 30 dernières années. Nous présentons rapidement l'arrière plan méthodologique avant de revenir sur ces résultats (§3.4.1.1) puis nous analysons les évolutions comportementales qui sous-tendent cette apparente constance, à travers les changements de structure des motifs de déplacements et de structure démographique de la population lyonnaise (§3.4.1.2).

3.4.1.1. Constater la stabilité de la répartition heure de pointe / heure creuse

Le travail a été réalisé à partir des heures de départ et d'arrivée déclarées par les personnes enquêtées. De ce fait, il existe des imprécisions liées à la forte tendance des enquêtés à arrondir aux 5 minutes, $\frac{1}{4}$ d'heures ou $\frac{1}{2}$ heures les plus proches. Pour dépasser ce problème, les déplacements ont été regroupés en fonction de leur quart d'heure de départ et une moyenne mobile a été utilisée : pour chaque quart d'heure de départ, le quart d'heure précédant et le quart d'heure suivant ont été additionnés et le total divisé par trois.

On obtient alors les répartitions suivantes des déplacements tous modes en fonction du moment de la journée (Figure 19). On distingue clairement quatre pics. D'une part les heures de pointe du matin et du soir restent relativement stables au cours de la période, et d'autre part les heures de pointe qui encadrent le repas de midi, enregistrent une tendance continue à la baisse.

Figure 19 : Répartition des déplacements au cours de la journée dans les enquêtes ménages déplacements lyonnaises de 1976, 1985, 1995 et 2006



Source : Lavielle, 2008, à partir des enquêtes ménages déplacements 1976, 1985, 1995 et 2006

Cette première présentation reste cependant trop large pour analyser l'évolution des heures de pointe automobile qui affectent les vitesses sur le réseau routier, structurantes des accessibilités et donc des logiques de localisations au sein de l'aire urbaine. Par ailleurs les périmètres des 4 enquêtes ménages déplacements successives ont largement évolués, passant de l'agglomération à la communauté urbaine du Grand Lyon pour finir par dépasser l'aire urbaine en 2006. Rien n'indique a priori que ces périmètres soient comparables en termes de rythmes quotidiens. Nous avons donc également observé l'évolution des pointes en se restreignant sur un mode, l'automobile, et en restant à périmètre constant, équivalent à celui de 1976.

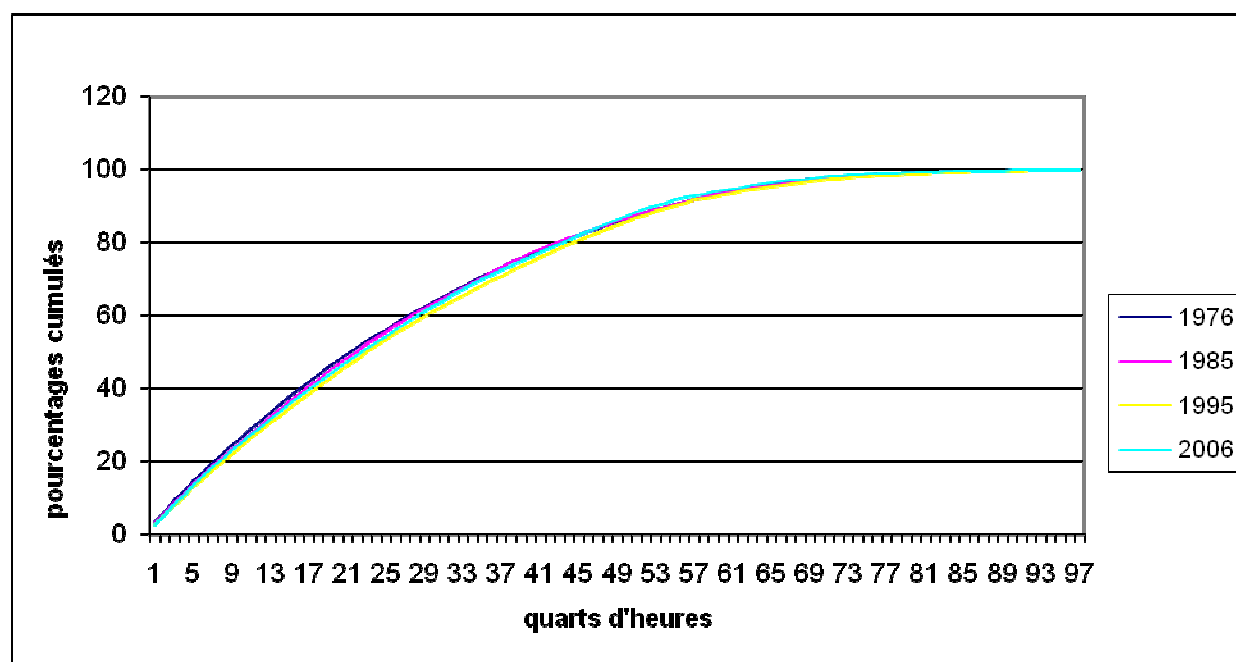
Nous avons tout d'abord regardé l'évolution du poids des périodes 7-9h et 17-19h qui sont structurantes au niveau du réseau. On constate une grande stabilité des résultats, quel que soit le cas envisagé (Tableau 14). Vus sous cet angle restreint, les rythmes de vie ne changent pas de manière notable, ni dans l'espace entre l'agglomération et sa périphérie, ni dans le temps entre 1976 et 2006.

Tableau 14 : Poids des heures de pointe 7-9h et 17-19h par rapport aux déplacements quotidiens

	1976	1985	1995	2006
Tous modes, tous périmètres	32,9 %	32,3 %	31,9 %	33,1 %
Tous modes, périmètre 1976	32,9 %	32,0 %	31,7 %	32,9 %
Automobile, tous périmètres	34,6 %	34,7 %	33,7 %	34,3 %
Automobile, périmètre 1976	34,6 %	34,6 %	33,7 %	35,6 %

Source : Lavielle, 2008, à partir des enquêtes ménages déplacements 1976, 1985, 1995 et 2006

Comme nous l'avons vu, les deux pointes de midi ont eu, quant à elles, tendance à baisser au cours de ces trente années. La stabilité du poids des périodes 7-9h et 17-19h ne signifie donc pas que rien n'a bougé autour de ces 4 heures de pointe du matin et du soir. Pour mieux rendre compte des évolutions des concentrations des déplacements d'une journée de semaine entre les 4 enquêtes ménages, nous avons dès lors réalisé une courbe cumulée du nombre de déplacements par tranches d'un quart d'heure, classées en ordre croissant (Figure 20). Les 4 courbes présentées ici ne concernent que les véhicules particuliers à aire géographique constante, mais on obtient les mêmes résultats avec les trois autres familles de courbes possibles lorsqu'on croise VP-tous modes et périmètre 76-tous périmètres.

Figure 20 : Evolution de la courbe des déplacements cumulés, véhicules particuliers, périmètre EMD 1976

Source : Lavielle, 2008, à partir des enquêtes ménages déplacements 1976, 1985, 1995 et 2006

Les quatre courbes sont presque confondues. La concentration du trafic est donc la même quelle que soit l'année de l'enquête, même s'il peut y avoir eu des évolutions dans leur répartition au cours de la journée. Ainsi, 50% des déplacements se trouvent concentrés sur 21,3% du temps en 1976, 21,8% en 1985, 22,9% en 1995, 22,4% en 2006. Les variations restent trop ténues pour que l'on puisse parler d'étalement de l'heure de pointe par cette méthode.

Ce premier niveau d'analyse pourrait donc justifier de rester sur répartition constante entre heures de pointe et heures creuses dans les prospectives de SIMBAD, et d'affecter au plus simple 34,5%

des déplacements des matrices OD générées grâce aux étapes précédentes sur les 4 heures de pointe 7-9h et 17-19h.

Il reste cependant que tous les déplacements n'ont pas la même longueur et que des glissements peuvent s'opérer par là : si au fil du temps, les plus longs ont tendance à se déconcentrer ou au contraire à se concentrer sur les heures de pointe, l'effet en termes de volume de trafic et de congestion peut être sensible. C'est ce que tend à montrer le Tableau 15, qui fournit des résultats pour les déplacements automobiles liés au motif travail, traditionnellement plus longs que les autres.

Tableau 15 : Poids des heures de pointe 7-9h et 17-19h dans les déplacements pour motif travail

Automobile, veh.km, tous périmètres	36,0 %	34,6 %	34,1 %	33,6 %
Automobile, veh.km, périmètre 1976	36,0 %	34,1 %	33,8 %	33,3 %

Source : Lavielle, 2008, à partir des enquêtes ménages déplacements 1976, 1985, 1995 et 2006

Même si elle reste faible, on constate une baisse régulière de la concentration des déplacements pour motif travail au sein des pointes 7-9h et 17-19h, passant de 36,0% en 1976 à 33,3% en 2006. Il importe donc d'observer et d'analyser les évolutions qui ont pu se produire via ce type de mécanisme. Un double détour analytique a été réalisé, par les évolutions des concentrations des déplacements par motif, ainsi que par les évolutions démographiques qui aident à comprendre les changements des motifs de déplacements.

3.4.1.2. Analyser les évolutions de la population et les évolutions des motifs pour mieux prendre en compte d'éventuels changements des concentrations horaires

Quelques facteurs économiques et sociaux principaux jouent sur les mobilités, mesurées en termes de motifs de déplacements, de distances parcourues et de modes utilisés (Nicolas et al., 2001) :

- ✓ l'âge et la situation dans le cycle de vie : de l'enfance, à la vie d'étudiant ou de jeune actif, puis en ménage avec enfants avant d'arriver à la retraite, les modes de vie et les déplacements que l'on réalise ne sont pas les mêmes et ne se font pas dans les mêmes conditions.
- ✓ Le statut des personnes complète cette première distinction, en différenciant par exemple les rôles sociaux joués à l'âge adulte actifs, au foyer, etc.
- ✓ Le niveau de vie, influe notamment sur l'accès à l'automobile des ménages, qui joue lui-même sur les distances parcourues.
- ✓ Enfin, la localisation joue en rôle important sur les distances parcourues et les modes accessibles et utilisés.

Or, sur trente ans, des changements profonds, en partie liés entre eux, peuvent être constaté au niveau de ces différents facteurs (Massot et al., 2000). La population a vieilli et la proportion de personne à la retraite va continuer à augmenter. Le taux d'activité des femmes a fortement augmenté, jouant sur la proportion de personnes se déplaçant pour le motif travail d'un côté, mais diminuant les retours à domicile à midi de l'autre ; ce mouvement a également contribué à la généralisation de l'accès à la voiture. Le niveau de vie a continué à croître, même si cela s'est fait à un rythme plus ralenti que pendant les trente glorieuses. Il a lui aussi poussé à la croissance du taux de motorisation et s'est également traduit par une évolution vers une société des loisirs. Enfin, le mouvement d'étalement urbain s'est poursuivi.

Comment ces divers mouvements se sont-ils traduits dans la structure des déplacements d'heures de pointe ? Jean-Pascal Lavielle (2008) a réalisé une exploration systématique de ces évolutions des déplacements automobiles sur les périodes 7-9h et 17-19h à Lyon, par motif et par type de personnes.

Concernant les évolutions des motifs, ses principaux résultats sont les suivants :

- ✓ **Les motifs de déplacements évoluent au cours du temps.** Le motif « travail » représente de moins en moins de déplacements alors que les loisirs et les achats deviennent de plus en plus importants.
- ✓ **Selon les motifs, l'évolution de l'heure de pointe est différente.** Les déplacements pour motifs « scolaire » et « travail » se concentrent. Ces déplacements apparaissent de plus en plus contraints au niveau de leurs horaires et leur part dans le trafic d'heure de pointe ne cesse d'augmenter.
La part du motif « accompagnement » en heure de pointe reste stable pour les quatre enquêtes. Toutefois la structure de l'heure de pointe a changé. En 1976, les déplacements pour ce motif étaient plus nombreux le matin.
Les déplacements pour les motifs « loisirs » et « achats », se répartissent mieux dans la journée au fil des enquêtes. Cela est surtout vrai pour le motif « achat ». Le motif « loisirs » se répartit de mieux en mieux de 1976 à 1995 (passage de 27 % à 24 %) puis se stabilise sur la période 1995-2006.
- ✓ **La contribution des déplacements à l'heure de pointe est différente selon les motifs.** Les motifs « travail », « scolaire » et « loisirs » apparaissent très contraints et très concentrés dans la journée. Cette tendance s'accroît au cours du temps. Les motifs « loisirs » et « achats » sont beaucoup plus étalés dans la journée. Cette tendance s'accroît également au cours du temps.

Enfin, **ces tendances contradictoires se compensent.** Les déplacements pour motif « travail » sont de plus en plus concentrés mais représentent une part de moins en moins importante du nombre de déplacements. De ce fait, ils restent stables en heure de pointe, aux alentours de 13,5%. Au contraire, les déplacements pour les motifs « achats » et « loisirs » sont de moins en moins concentrés mais représentent une part de plus en plus importante des déplacements. Leur poids dans l'heure de pointe augmente dès lors très légèrement, passant de 10% en 1976 à 12% en 2006. Finalement, les tendances contradictoires pour ces trois motifs s'annulent et n'influent pas sur l'heure de pointe globale.

De même, les évolutions de la structure de la population permettent d'analyser les évolutions des motifs de déplacements. Tout d'abord, le vieillissement de la population a fait passer le nombre des retraités de 13 à 20 % de la population. Cette tendance devrait se poursuivre. Le deuxième phénomène est la baisse de la proportion d'actifs. En effet, en plus de l'impact du vieillissement, les études sont de plus en plus longues et les jeunes entrent plus tardivement sur le marché du travail. Enfin, les femmes accèdent de plus en plus à l'emploi, la proportion de femmes actives très faible en 1976 commence à rattraper celui des hommes. A travers ces évolutions générales, on peut envisager un double effet :

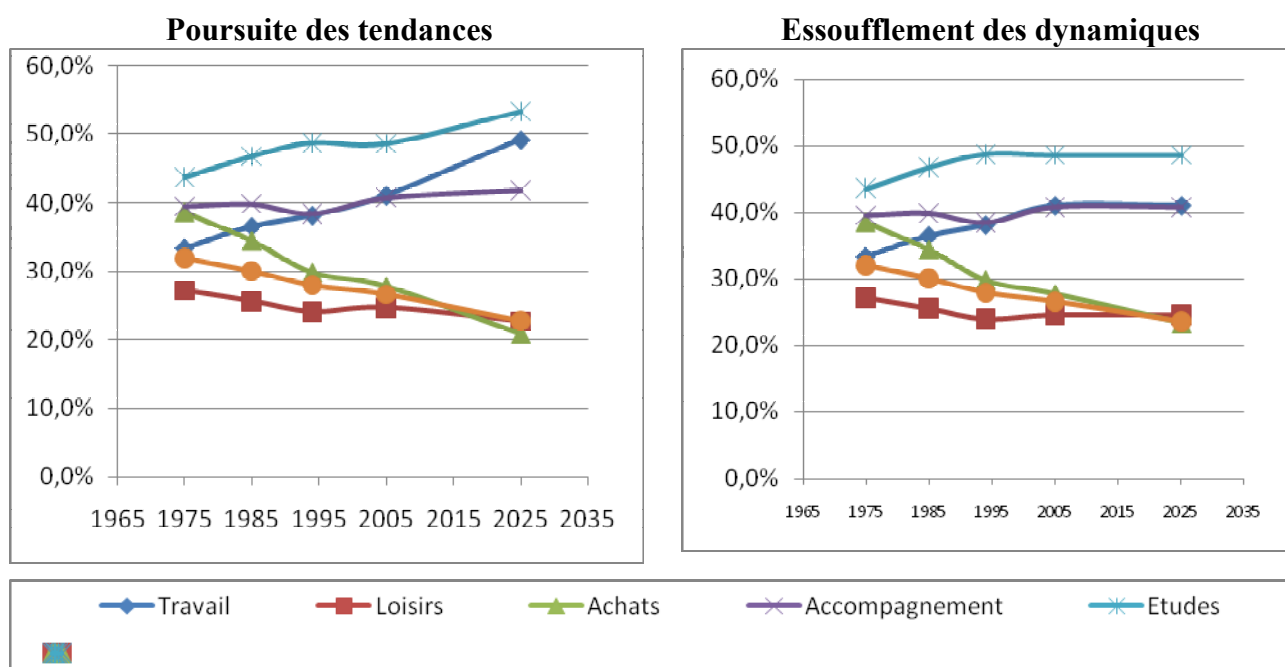
- ✓ **Un effet lié aux différences de comportement entre les types de population.** Les actifs, les scolaires et les étudiants, contraints par les horaires de travail ou de cours, se déplacent fréquemment pendant l'heure de pointe. Les retraités quant à eux se déplacent plus uniformément dans la journée.
- ✓ **Un effet lié aux évolutions des comportements dans un même type de population.** On constate notamment que les actifs et les retraités ont un comportement assez stable au cours du temps (dans toutes les enquêtes pour les actifs, depuis 1995 pour les retraités). Il existe cependant une différence entre les sexes qui ne s'estompe pas, notamment chez les actifs.

3.4.1.3. Les hypothèses d'évolution de l'heure de pointe pour la population de l'aire urbaine de Lyon

En prolongeant le travail de Lavielle (2008), deux scénarios ont été imaginés en matière d'évolution de la concentration de chaque motif de déplacements au sein de la journée (Figure 21) :

- ✓ Un scénario « poursuite des tendances », au sein duquel les évolutions moyennes constatées entre 1976 et 2006 sont simplement prolongées ;
- ✓ Un scénario « essoufflement des dynamiques », qui suppose (1) qu'au niveau du motif « travail » l'assouplissement des horaires et la fin de la baisse des retours de midi va stopper la concentration de ce motif sur les heures de pointe, avec une dynamique à peu près similaire pour le motif « études », esquissée déjà entre 1995 et 2006, (2) de même, la stabilisation de la concentration constatée entre 1995 et 2006 pour le motif « loisirs » est entérinée et enfin (3) le mouvement d'étalement de la pointe pour les motifs « achats » et « autres » se poursuit en s'amortissant.

Figure 21 : 2 scénarios d'évolution de la concentration des motifs au sein de l'heure de pointe



Source : Simbad, à partir des données enquêtes ménages déplacements de Lyon 1976 - 2006

Les chiffres donnés ici se rapportent à l'évolution du poids de l'heure de pointe à l'intérieur de chaque motif de déplacement. Ils ne présument en rien de la croissance ou décroissance en valeur absolue des déplacements liés à un motif, qui est estimée lors de la phase de génération.

C'est le scénario « essoufflement des dynamiques » qui est pour l'instant utilisé dans SIMBAD, et ce sont donc ses proportions estimées entre 1999 et 2025 qui servent à répartir chaque matrice origines-destinations entre une matrice heure de pointe et une matrice heure creuse.

3.4.2. L'heure de pointe en sortie de FRETURB : ce qu'indiquent les enquêtes de marchandises en ville

Les enquêtes nationales marchandises en ville ont montré que les heures de pointe des véhicules de transport de marchandises sont légèrement décalées par rapport à celles du transport de personnes. L'heure de pointe du matin est située vers 9h30 – 10h30 et correspond aux ouvertures de magasins. Cette pointe est donc particulièrement marquée dans les zones centrales très commerçantes. L'après-midi, la pointe est plus étalée et plus faible car c'est à ce moment que se fait le plus souvent

la tournée de ramasse, avec une tournée plus courte que la tournée de distribution qui a lieu le matin.

Une ventilation selon l'activité desservie et l'heure de la journée (demi-heure par demi-heure) est proposée par FRETURB, elle n'intègre pas les spécificités locales liés à l'existence de réglementations particulières dans certaines zones de l'agglomération, mais fournit néanmoins un aperçu de la concentration des flux.

En vue de l'affectation sur le réseau, les flux heures de pointe ont été calculés sur la base de l'heure de pointe des voitures c'est-à-dire entre 7 et 9 heures le matin, et entre 17 et 19 heures le soir.

3.4.3. L'heure de pointe des trafics de transit et d'échange : l'enquête cordon lyonnaise

Les trafics d'échange et de transit de l'aire urbaine lyonnaise ont été appréhendés à travers l'analyse des enquêtes cordons (§3.3). Une analyse des trafics distinguant le transit des flux d'échange ainsi que les poids-lourds des véhicules légers a été menée. Les rythmes quotidiens de ces 4 types de trafics ayant toutes les raisons d'être différents, les périodes 7h-9h et 17-19h ne sont pas susceptibles d'en rassembler la même proportion. Le traitement statistique de l'enquête cordon fournit dès lors les résultats suivants (Tableau 16) :

Tableau 16 : Proportion des trafics de l'enquête cordon pénétrant dans l'agglomération entre 7-9h et 17-19h

	véhicules légers	poids lourds
Transit	31,4%	27,0%
Echanges	39,0%	25,4%

Source : traitement LET à partir de l'enquête cordon lyonnaise de 2005

Ce sont ces coefficients qui sont utilisés pour établir la matrice d'heure de pointe. En prospective, on suppose qu'ils restent constants dans cette première version de SIMBAD.

3.5. Conclusion : une production de matrice d'échanges en vue de l'affectation

Cette troisième partie consacrée à la modélisation des échanges entre les zones de l'aire urbaine de Lyon fournit un nombre important de matrices origines-destinations qui pourront ensuite être affectées sur les réseaux concernés :

- ✓ FRETURB fournit deux matrices, poids-lourds articulés d'une part et poids-lourds porteurs et véhicules utilitaires légers d'autre part ;
- ✓ La chaîne des modules transport des résidents de l'aire urbaine produit six matrices, liées aux trois niveaux de revenus envisagés et au choix modal entre véhicule particulier et transports collectifs. Les déplacements marche à pied, quant à eux, sont calculés mais ne donnent pas à la production d'une matrice d'échanges interzones ;
- ✓ Enfin, le traitement des déplacements d'échanges et de transit fournit six matrices. Les deux premières concernent les véhicules particuliers (échanges d'un côté, transit de l'autre) ; les quatre autres séparent les poids-lourds articulés des porteurs et VUL, toujours en distinguant échanges et transit. Ces matrices poids-lourds sont destinées à être ensuite additionnées aux matrices correspondantes de FRETURB.

A chaque itération, le calcul de l'affectation permet de produire des indicateurs d'accessibilité qui sont utilisés pour la période suivante. Pour ce calcul, des matrices d'heure de pointe sont établies grâce aux coefficients présentés dans la section précédente (§3.4.), puis assemblées en deux

matrices agrégées, la première pour une affectation routière, la seconde pour l'affectation sur le réseau des transports collectifs.

Tous les cinq ans, par contre, les matrices heures de pointe et heures creuses sont produites en conservant le détail de leur filière de production. Seules, les matrices liées aux marchandises sont partiellement agrégées, avec la distinction articulés/porteurs+VUL mais sans l'information sur l'origine FRETURB, échange ou transit de leur production.

L'affectation multi-classes sous DAVISUM conserve ce détail, ce qui permet ensuite de calculer les indicateurs de SIMBAD en distinguant le revenu des ménages pour les indicateurs sociaux ou les types de véhicules pour les indicateurs environnementaux. L'affectation multi-classes étant plus lourde à réaliser, ce calcul n'est réalisé que tous les cinq ans pour éviter de trop prolonger la durée d'une simulation tout en conservant un film des évolutions des indicateurs au cours des 25 ans.

4. Affecter les trafics sur les réseaux routiers et transports collectifs

La codification des réseaux représente un travail extrêmement chronophage lors du développement d'un modèle transport. Elle mobilise le plus souvent un important travail de collecte de données existantes, complétée par des productions de données spécifiques. Dans le cadre de SIMBAD, nous avons souhaité explorer les potentialités offertes par les bases de données géographiques existantes pour automatiser le plus possible la construction du réseau, que ce soient par exemple des bases comme Navteq ou GéoRoute pour la reconstitution du réseau routier, ou les données mises publiquement à disposition par les gestionnaires en ce qui concerne le réseau de transports collectifs.

Ce parti pris résulte d'une contrainte et d'un choix méthodologique.

La contrainte correspond à l'absence de réseau de base au sein du LET. Le plus souvent, la construction des réseaux s'appuie sur des réseaux existants construits dans le passé. Il s'agit donc généralement d'un processus d'accumulation, de mise à jour et d'amélioration progressive. Partant de zéro, l'horizon méthodologique est forcément beaucoup plus large.

Le choix méthodologique découle des travaux du LET en matière de veille sur l'apport des nouvelles technologies d'une part et de production de données d'autre part.

- ✓ Nous sommes convaincus que le développement des nouvelles technologies de communication et de positionnement géographique offre des perspectives nouvelles en matière de production de données sur les déplacements et les transports et que celles-ci vont modifier les pratiques de modélisation (Bonnell et al., 2009). Ces considérations sortent cependant du cadre de ce rapport.
- ✓ Nous nous limitons donc à l'autre intérêt d'une exploitation de ces données dans le but d'un traitement beaucoup plus automatisé des réseaux. Dans le cadre des projets en lien avec SIMBAD, cela permettra notamment de reconstituer de manière systématique et homogène l'historique des réseaux. Une analyse concomitante des évolutions des comportements de mobilité à travers les enquêtes ménages déplacements lyonnaises de 1976, 1985, 1995 et 2006 permettra de caler les différentes étapes du modèle transport à des dates s'étalant sur 30 ans. Ce travail fait actuellement l'objet d'une thèse financée par la région Rhône Alpes et est soutenue par le PREDIT (Cabrera, 2008). Ses résultats alimenteront directement les modules transport de SIMBAD.

Ce chapitre présente donc la méthodologie retenue pour construire les réseaux utilisés sous DAVISUM dans SIMBAD. Une première partie est consacrée au réseau routier, une seconde au réseau de transports collectifs. Toutes deux sont bâties sur le même schéma, avec un exposé des principes généraux de codification d'un réseau dans chaque cas, (§4.1.1 et §4.2.1), puis la présentation des principes spécifiques retenus dans notre projet pour assurer une codification la plus automatique possible (§4.1.2 et §4.2.2) et, enfin, un compte-rendu du calage et des résultats obtenus (§4.1.3 et §4.2.3).

4.1. Codification du réseau routier : vers une codification automatique ?

4.1.1. Méthodologie de la codification des réseaux routiers

La codification des réseaux permet de représenter l'offre de transport qu'elle soit viaire ou de transports collectifs. Cette représentation peut s'opérer à différents niveaux de précision (§ 4.1.1.1). La codification s'appuie généralement sur la théorie des graphes. Les réseaux sont définis à partir de nœuds et de liens qui possèdent certains attributs (§ 4.1.1.2).

4.1.1.1. Niveau d'agrégation

Tout comme pour le zonage, l'analyste doit spécifier le niveau de précision nécessaire dans la description des réseaux. En théorie plus la précision est grande, plus la pertinence de la représentation des réseaux le sera aussi. Mais, comme pour le zonage, une très grande précision de la description des réseaux peut conduire à une pertinence illusoire. Prenons un exemple pour illustrer le propos. Considérons une étude où l'on souhaite décrire la totalité du réseau viaire, y compris les rues les plus petites permettant de circuler. Pour être efficiente, cette précision doit être accompagnée d'une description réaliste de tous les mouvements aux carrefours. Chaque mouvement tournant doit être doté de caractéristiques traduisant la plus ou moins grande difficulté à l'effectuer. Si ce réseau est congestionné en heure de pointe, il faudra être en mesure de simuler les effets de remontée de queues de bouchons sur les infrastructures ou carrefours amont.... Le niveau de précision du réseau doit donc être cohérent avec la précision des attributs le définissant.

De plus, le zonage conduit à définir des centroïdes de zones concentrant la totalité des informations de la zone ainsi que les origines et les destinations des déplacements. De ce fait, le trafic interne à une zone ne peut être représenté puisqu'il a son origine au centroïde et sa destination au même centroïde. Avec ce mode de représentation, il n'y a aucun mouvement interne alors que ces déplacements occupent la voirie de la zone sans possibilité de le modéliser finement (il existe toutefois des possibilités d'en tenir compte, mais elles ne peuvent s'appuyer uniquement sur la description des réseaux). Une description très fine des réseaux combinée à un zonage assez grossier serait donc inutile.

Enfin, si l'objet de l'étude est de simuler le fonctionnement du réseau à un horizon de long terme, il est totalement illusoire de chercher à représenter aussi finement le réseau, car on sera dans l'impossibilité de le définir avec le même niveau de précision à l'horizon d'étude (Bonnell, 2004).

Ces éléments devraient nous conduire à privilégier un zonage beaucoup moins fin que celui déjà retenu dans SIMBAD et à être sélectif dans la représentation des réseaux. Nous avons pourtant procédé à un choix inverse comme nous l'illustrons et l'expliquons en § 4.1.2.1. En revanche, la conséquence évoquée ci-dessus subsiste. Cela signifie que faute d'être en mesure de caler tous les paramètres des réseaux au niveau de représentation retenu, l'analyse des résultats ne peut être conduite à ce niveau. Notre objectif est de produire des matrices de temps généralisés qui soient cohérentes avec les données dont nous disposons à un niveau agrégé de découpage spatial. C'est donc à ces mêmes niveaux de résolution que les analyses des scénarios devront être conduites malgré l'illusion de la précision qui découle du choix d'un zonage fin et de la codification de l'ensemble des voiries.

4.1.1.2. Caractéristiques des liens et des nœuds

La description d'un réseau pour les besoins de modélisation nécessite la description de sa structure (définition de ses composants, par exemple des sections de voies, des intersections...), des propriétés de ses composants (longueur, vitesse...) et des relations entre ces éléments et les flux de déplacements (Lamb, Havers, 1970).

La description des réseaux s'appuie sur la théorie des graphes. Les réseaux sont ainsi composés de liens directionnels et de nœuds qui peuvent être de différents types et posséder un certain nombre d'attributs.

On distingue principalement deux types de nœuds : le centroïde de zone et le nœud de réseau. Il y a également principalement deux types de liens : les connecteurs de centroïde et les liens de réseau.

Le **centroïde de zone** est un nœud fictif qui concentre tous les attributs de la zone dont il constitue en quelque sorte le centre de gravité. Il s'agit d'un point fictif introduit à des fins de représentation (donc de simplification de la réalité). Toutes les localisations de la zone (ménages, emplois, origines et destinations des déplacements...) sont en fait concentrées en ce point. A l'intérieur de la zone, toutes les distances sont donc considérées comme nulles. Il s'agit bien évidemment d'une approximation. Et c'est pour réduire la portée de cette approximation, que l'on introduit le connecteur de centroïde. Par définition, il ne peut y avoir qu'un seul centroïde par zone.

Le **nœud de réseau** correspond à une intersection entre des liens de réseau. Il permet d'assurer la connexité du graphe. Il correspond d'une certaine manière au carrefour du réseau viaire, même s'il n'a pas forcément une traduction physique directe dans un réseau simplifié.

Le **connecteur de centroïde** est un lien fictif qui assure la liaison entre le centroïde de zone et le reste du réseau. Sa fonction est d'assurer la connexité du graphe de sorte que tous les centroïdes soient reliés au réseau par au moins un connecteur. Il est doté d'attributs permettant de déterminer le temps nécessaire pour relier le centroïde au réseau.

Le **lien de réseau** correspond aux infrastructures de transport. La traduction peut être très proche de la réalité du réseau dans le cas d'une description fine du réseau ou s'en éloigner pour davantage traduire les fonctionnalités que les caractéristiques physiques dans le cas d'un réseau plus agrégé. Le lien est doté d'un certain nombre d'attributs qui permettent en particulier de calculer le coût, ou temps généralisé, nécessaire pour le parcourir. Généralement, on trouve les attributs suivants :

- ✓ La longueur du lien ;
- ✓ La vitesse à vide du lien : c'est-à-dire la vitesse en l'absence de toute circulation sur le lien. Cette information est parfois remplacée par le temps de parcours à vide, puisque la vitesse sert à calculer le temps de parcours à partir de la longueur du lien ;
- ✓ La capacité du lien : elle est généralement fournie en nombre d'unités de voitures particulières par heure¹⁰. Il s'agit de la capacité maximale pouvant être absorbée par le lien ;
- ✓ La tarification du lien : elle permet de prendre en compte un éventuel péage. Elle est à distinguer du coût d'usage qui est généralement kilométrique et n'est donc pas défini au niveau du lien, même s'il requière sa longueur ;
- ✓ Les mouvements possibles entre les liens connectés à chaque extrémité du lien : cette information permet par exemple de représenter des interdictions de tourner à droite ou à gauche ;
- ✓ La nature du carrefour à chaque extrémité du lien : carrefour à feux, priorité à droite, stop... Dans ce cas, l'information est généralement complétée par un certain nombre d'attributs permettant de calculer le temps nécessaire pour traverser le carrefour, par exemple durée de cycle du feu et temps de vert disponible, lois d'écoulement pour un stop....

¹⁰ l'Unité de Voiture Particulière ou UVP est un indicateur permettant d'agréger différents types de véhicules pour tenir compte de leur occupation différenciée de l'espace de voirie. Par exemple, un poids lourds équivaut souvent à 2 ou à 3 UVP selon sa taille.

4.1.2. Principes de codification retenus pour le projet SIMBAD

4.1.2.1. Un zonage fin et une représentation détaillée des réseaux

Contrairement à notre présentation théorique de la section 4.1.1.1, nous avons retenu un zonage et une codification du réseau routier très fins malgré un objectif de simulation agrégée de long terme. Notre objectif n'est absolument pas de simuler la charge ou le fonctionnement d'infrastructure particulière ou de simuler de nouveaux projets routiers. Il se « limite » à la production d'indicateurs permettant d'évaluer des politiques de transports à l'aune du développement durable à l'échelle de l'agglomération. Il peut sembler dès lors inutile de déployer un zonage aussi fin et d'avoir une représentation très détaillée des réseaux. Ce choix découle en fait de notre volonté de traiter les réseaux de la manière la plus automatique possible à partir des bases de données existantes. Nous ne souhaitons pas avoir à traiter des agrégations de liens aux caractéristiques différentes qui nécessitent toujours un traitement particulier dont l'automatisme sera forcément limitée. En conservant la totalité du réseau, nous décrivons chacun des liens à partir des informations disponibles sur les infrastructures correspondantes. Nous avons donc retenu le découpage le plus fin disponible, à savoir le découpage en IRIS qui permet de disposer des données socio-démographiques de l'INSEE. Il s'agit d'un découpage en 777 zones pour l'aire urbaine lyonnaise (se reporter à la Carte 2 du chapitre introductif).

Toutefois, si la représentation est très détaillée, au sens où nous représentons l'ensemble des voiries, y compris les plus fines disponibles dans les bases de données de réseau, elle ne l'est pas du tout au niveau de la mesure des attributs des nœuds et des liens permettant de représenter ces infrastructures. Nous ne cherchons pas à codifier précisément chacun des attributs des liens du réseau pas plus que nous ne cherchons à modéliser précisément chacun des nœuds de réseau, car cela nécessiterait un temps de codification et de calage dont nous ne disposons pas au niveau de ce projet.

De ce fait, la précision que nous avons est largement illusoire. Elle justifie notre réserve au niveau de l'analyse des résultats. Ainsi, nous estimons que l'analyse des résultats doit se limiter à une analyse macro à l'échelle de l'agglomération. Tout au plus, nous pourrions donner des indications sur les flux et les temps de parcours ou les temps généralisés entre secteurs de l'agglomération afin d'illustrer le degré de péri-urbanisation ou de périphérisation des flux ou le poids relatif du centre par rapport à des couronnes périphériques. En revanche, il ne serait pas raisonnable de fournir des résultats de charge sur une infrastructure ou sur un projet de transport particulier.

4.1.2.2. Une utilisation des bases de données existantes

La création d'un réseau sur une étendue aussi vaste ex-nihilo représente un temps de travail trop important au regard du temps disponible sur ce projet. L'objectif de SIMBAD sur ce point a été de tester la capacité des bases de données existantes à représenter les réseaux tant pour le réseau routier que pour celui de transport collectif.

Pour le réseau routier, les deux principales bases existantes ont été acquises à savoir les bases GéoRoute et Navteq. Nous avons commencé à travailler avec la base GéoRoute, mais assez rapidement, nous nous sommes rendu compte que son utilisation ne répondait pas suffisamment aux besoins de modélisation d'un réseau routier :

- ✓ Si l'ensemble des voiries est bien représenté avec une classification hiérarchique, aucune information sur les capacités et les vitesses à vide, ni sur les mouvements tournants aux nœuds n'est fournie ;
- ✓ Le maintien de cette base dans le futur par l'IGN semble compromis alors que nous souhaitons pouvoir assurer l'évolution du réseau à partir de l'évolution du contenu de ces bases.

Ce constat nous a conduit à privilégier l'utilisation de la base Navteq, tout en examinant, chaque fois que cela semblait utile, les informations contenues dans la base GÉOROUTE. La base Navteq contient la totalité du réseau viaire y compris les voies de desserte locale dans la mesure où elle est utilisée par certains systèmes GPS de guidage. Elle contient un peu plus de 110 000 liens et près de 45 000 nœuds. Comme pour tout réseau, une typologie des liens et des nœuds est indispensable afin d'assurer un traitement hiérarchique et un traitement fonctionnel tenant compte des principales caractéristiques du réseau (le plus souvent capacité et vitesse pour les liens et nature du carrefour pour les nœuds). Nous comptons nous appuyer sur la typologie présente dans la base Navteq pour construire notre propre typologie. L'analyse de la base, nous a rapidement convaincu de la nécessité d'un traitement plus approfondi. Nous avons ainsi été obligés de vérifier la cohérence de la codification pour le réseau routier structurant qui est constitué du réseau des voies rapides, mais également des principaux axes routiers au sein de la tache urbaine. L'analyse de cette cohérence, comme nous le détaillons dans la suite de ce rapport, a principalement conduit à vérifier la continuité des axes d'un même niveau hiérarchique, afin par exemple de s'assurer qu'une voie rapide ne s'interrompt pas sur une centaine de mètres pour laisser place à un lien de desserte d'un niveau inférieur.

Dans le même esprit, nous souhaitons traiter les carrefours de manière automatique. Pour cela nous disposons au sein de la base Navteq du flux principal au niveau de chaque nœud qui est censé correspondre au mouvement qui a la charge la plus importante. Dans la plupart des cas, il devrait s'agir du mouvement qui associe les deux liens qui sont du niveau hiérarchique le plus élevé afin de garantir la continuité du flux principal sur les axes structurants. On dispose en plus au sein de DAVISUM d'une définition des mouvements tournants à partir de la géométrie du carrefour. Le croisement de ces données permet d'estimer les pénalités en temps de traversée du nœud. Toutefois, l'analyse de la base Navteq a permis de constater que la continuité des axes principaux n'était pas assurée. Dans certains cas, le flux principal était défini non pas comme une continuité de la circulation sur l'axe principal en associant les liens de cette voie principale, mais en associant un lien de l'axe principal avec un lien de l'axe secondaire. Cette définition impacte fortement le calcul des temps de parcours par le jeu des pénalités introduites pour la traversée des nœuds (Tableau 19, section 4.1.3.2). Nous avons donc dû retraiter les flux principaux. L'analyse des 45 000 nœuds n'étant toutefois pas envisageable, l'analyse a été limitée aux nœuds des axes principaux comme pour le traitement des liens.

Le contrôle ayant été limité aux axes principaux, il est plus que probable que la codification du réseau secondaire contient de nombreuses erreurs. Nous pensons toutefois que les conséquences sont relativement limitées dans la mesure où en dehors des flux de proximité, les grands axes structurants sont généralement privilégiés. Dans ce cas, l'erreur potentielle concerne principalement la partie du déplacement effectuée sur le réseau secondaire en début et en fin de parcours.

4.1.2.3. Un traitement le plus automatique possible des attributs des liens et des nœuds

La codification des liens et des nœuds nécessite de donner des valeurs à un certain nombre d'attributs pour chacun des liens et des nœuds. Parmi ces attributs, il faut déterminer la capacité et la courbe débit-temps qui permettent de calculer le temps de parcours en fonction de la charge sur chacun des liens afin de prendre en compte la congestion. Pour chacun des nœuds, il faut déterminer les pénalités en temps pour les mouvements tournants... Vu le nombre de nœuds et de liens, la mesure précise pour chacun des nœuds et chacun des liens est irréaliste. Là encore, une codification automatique s'impose.

Dans une première étape, nous avons utilisé la codification présente dans la base Navteq en corrigeant les problèmes de hiérarchie déjà évoqués. Nous avons également affiné la segmentation en ville/hors ville présente dans la base Navteq en nous appuyant sur la définition de la tache urbaine de la base GÉOROUTE, qui est apparue nettement plus précise.

Les capacités journalières présentes dans la base Navteq ont permis d'estimer une capacité horaire. Nous avons également conservé les vitesses à vide après quelques corrections sur les voies principales. Le choix des courbes débit-temps a été effectué à partir de la typologie des liens et des vitesses à vide (Godinot, Bonnel, 2008).

La codification des nœuds a été réalisée selon les mêmes principes si ce n'est que la base Navteq ne propose pas de typologie des nœuds. Nous avons donc construit la typologie, à partir des données présentes dans la base Géoroute, en distinguant les nœuds de la tache urbaine des nœuds hors tache urbaine (Godinot, Bonnel, 2008).

Cette codification des nœuds sert à définir les pénalités aux carrefours. Ces pénalités sont incluses dans le calcul des temps généralisés afin de tenir compte du temps nécessaire au franchissement de chacun des carrefours en fonction de leur nature, de la hiérarchie des voies en présence, du flux principal et de la nature du mouvement, tout-droit / à gauche / à droite / demi-tour, au niveau du carrefour.

4.1.2.4. Une génération la plus automatique possible des connecteurs

Le réseau ainsi constitué contient tous les liens et tous les nœuds du réseau routier, mais il n'est pas connecté aux centroïdes de zones. Il reste donc à générer les connecteurs. De nouveau, nous avons cherché à construire une procédure nous permettant de générer automatiquement un ou plusieurs connecteur(s) par zone.

La codification des connecteurs suppose tout d'abord de positionner le centroïde. Ce positionnement n'a théoriquement pas beaucoup de signification dans la mesure où le centroïde concentre en fait la totalité de la zone. Toutefois la génération automatique des connecteurs et de leur longueur impose un positionnement du centroïde. Nous les avons placé au centre de la partie bâtie de la zone.

Nous avons ensuite défini des règles pour générer les connecteurs en tenant compte de contraintes contradictoires. D'une part, il est souhaitable de réduire au maximum le nombre de connecteurs pour réduire les temps de calcul de l'affectation. D'autre part, il est souhaitable d'avoir suffisamment de connecteurs afin de ne pas générer de congestion fictive liée à une capacité trop faible des liens sur lesquels les centroïdes sont connectés. Enfin, nous avons tenu compte de l'impossibilité de relier un connecteur à certains nœuds, comme les entrées/sorties d'autoroute par exemple.

4.1.3. Application de la méthode au cas lyonnais et calage du réseau sous DAVISUM

Nous présentons tout d'abord les typologies des liens et des nœuds que nous avons construites à partir des informations disponibles dans la base de données Navteq. Nous abordons ensuite la codification des attributs absents de la base Navteq : capacités, courbes débit-temps pour la prise en compte de la congestion et connecteurs de centroïdes. Nous pouvons alors aborder le calage proprement dit pour analyser la capacité à reproduire les trafics observés au niveau des postes de comptage. Enfin, nous présentons la codification des projets routiers à l'horizon 2025.

4.1.3.1. Typologie des liens

La codification d'un réseau passe par la définition d'une typologie des liens qui répond à plusieurs objectifs :

- ✓ Regrouper les liens les plus proches fonctionnellement afin de leur affecter des attributs communs ;
- ✓ Permettre un regroupement des liens selon certaines caractéristiques afin de faciliter l'analyse des résultats de l'affectation des matrices de demande.

La base de données Navteq fournit les coordonnées x-y des extrémités des liens, le nombre de voies de circulation, le sens de circulation, la capacité journalière, la vitesse à vide et les mouvements possibles aux nœuds (extrémités du lien). Elle fournit également une typologie des liens en 5 niveaux hiérarchiques allant des voies autoroutières les plus structurantes aux plus petites voies de desserte locale.

En théorie, nous disposons donc de toutes les informations nécessaires, à l'exception de la courbe débit-temps, à l'estimation de la vitesse ou du temps de parcours du lien en fonction de la congestion qui est mesurée à travers un rapport charge sur capacité horaire maximale du lien. L'analyse du réseau Navteq a toutefois très rapidement mis en évidence la faible qualité de la typologie initiale avec, notamment, des voies structurantes mal classées, une continuité de la codification mal assurée... La typologie a donc été complètement reprise. Le réseau Navteq comptant 113 540 liens sur l'aire urbaine lyonnaise, il n'est pas envisageable de reprendre la totalité de la typologie. L'analyse a donc été limitée aux niveaux hiérarchiques les plus élevés qui couvrent la quasi-totalité des voies utilisées pour des échanges intercommunaux d'une distance de plusieurs kilomètres. Cela a conduit à vérifier la codification des trois niveaux hiérarchiques les plus élevés de la typologie Navteq, pour s'assurer de la cohérence de la codification afin que les liens composant une voie autoroutière ou routière appartiennent tous au même type tant que les caractéristiques de la voie restent inchangées.

La validation de la typologie a également conduit à vérifier la distinction opérée entre liens « en ville » et « hors ville ». Pour cela, nous avons utilisé la définition de la tache urbaine contenue dans la base Géoroute. Tous les liens dont une extrémité est incluse dans la tache urbaine sont codifiés « en ville », ceux dont les deux extrémités sont hors de la tache urbaine sont codifiés « hors ville ». Cette distinction a été utilisée dans la définition des attributs des liens et surtout des nœuds. Le Tableau 17 présente les résultats de la typologie (Godinot, Bonnel, 2008).

Tableau 17 : Typologie des liens de l'Aire Urbaine Lyonnaise 1999

N° de Type		Niveau hiérarchique	Descriptif	Nombre de liens	
Base initiale	Base finale			Base Navteq	Base SIMBAD
0 à 9	0 à 9		Voie fermée	13 047	13 001
de 10 à 17	de 10 à 17	1	Hors ville Autoroutes et VRU	840	876
de 18 à 25	de 18 à 25	1	En ville Autoroutes et VRU	0	389
de 20 à 29	de 27 à 31	2	Hors ville	1 299	6 325
de 30 à 39	de 30 à 39	2	En ville	17 127	8 923
de 40 à 49	de 40 à 49		Echangeurs, bretelles	684	685
répartis sur 9 types	de 50 à 53		Giratoires, Rond-point	0	1 672
de 54 à 57 et 90	de 54 à 57	3	Hors ville. Autres routes classifiées	7 942	7 723
de 65 à 66	de 64 à 67	3	En ville. Autres routes classifiées traversant la localité	396	2 179
79	79	4	Hors ville Routes connexions communes (souvent limitation poids)	395	179
de 70 à 78	de 74 à 75	4	En ville. Autres routes principales	10 974	9 343
	82	5	Hors ville routes connexions principales, Zone 30, rues résidentielles	0	5 530
83	82 et 90	5	En ville routes connexions principales, Zone 30, rues résidentielles	60 836	56 696
	95		Liens Train		
	96		Liens Métro		
	97		Liens Tramway		6
	98		Liens Funiculaire		
	99		Liens Bus et Navette		202
29 types + 0 type TC	42 types + 5 types TC		Total	113 540	113 546

Source : Traitement LET

4.1.3.2. Typologie des nœuds et mouvements tournants aux carrefours

Les nœuds du réseau initial Navteq99 ne sont pas typés. Rien ne distingue un nœud constitutif d'un carrefour, d'un nœud constitutif d'une simple jonction entre deux liens et rien ne distingue un type de carrefour d'un autre. Cette information est pourtant nécessaire afin d'appliquer un temps de traversée du nœud qui dépende de la nature du mouvement à ce nœud (mouvement tout-droit ou mouvement tournant, circulation dans le flux principal du carrefour ou dans un flux secondaire, nature du carrefour à feux, stop, giratoire...).

Les nœuds correspondant à de simples points graphiques sont classés comme tels (type 1) et les nœuds situés en fin de voirie comme nœuds 'terminaux' (type 10). Ensuite le recours à la base de données GéoRoute99 a permis de dégager des types de nœuds particuliers comme les nœuds constitutifs de rond-point, d'accès autoroutier ou de bifurcations sur ce réseau.

Nous ne disposons pas de plan de positionnement des feux et des stops sur l'aire urbaine de Lyon. Nous avons donc posé différentes hypothèses afin de typer les autres nœuds du réseau. Un traitement différencié a été appliqué aux intersections situées dans et hors de la tache urbaine. Le Tableau 18 présente les principes de codification retenus (Godinot, Bonnel, 2008).

Tableau 18 : Récapitulatif de l'affectation des nœuds aux types de carrefours

	Type	Nombre de nœuds
Nœuds graphiques n°1	n°1 :	9 565
Nœuds terminaux n°10	n°10 :	7 825
Niveau hiérarchique 1 → {	Entrée/Sortie n°15	n°15 : 316
	Bifurcation n°20	n°20 : 141
Rond Point n°14	n°14 :	1 597
niveaux 2 à 5 {	Hors Tache Urbaine → Cédez le Passage n°11	
	Dans la Tache Urbaine {	
	niveaux 4 et 5 {	
	3 branches Cédez le Passage n°11	n°11 : 17 717
	4 branches Mixte n°12	n°12 : 2 637
	niveaux 2 et 3 → Carrefour urbain n°13	n°13 : 4 894

Au sein de Davisum, deux éléments doivent compléter cette typologie afin de déterminer la pénalité de temps au passage du nœud.

Le premier concerne la définition du flux principal au niveau du carrefour. Ce flux principal correspond généralement au mouvement le plus important au sein du carrefour. Il conduit à classer les mouvements au carrefour en 4 types :

- P – P : mouvement correspondant au flux principal ;
- P – S : mouvement du lien inclus dans le flux principal vers un lien n'appartenant pas au flux principal ;
- S – P : mouvement d'un lien n'appartenant pas au flux principal vers un lien inclus dans le flux principal ;
- S – S : mouvement entre deux liens qui ne sont pas inclus dans le flux principal.

Cet attribut est présent au sein de la base Navteq. Toutefois, un examen rapide de la base met en évidence des incohérences très fréquentes. Pour de nombreuses voies structurantes, la circulation sur la voie ne correspond pas toujours au flux principal. Il est fréquent que, dans ce cas, le flux principal corresponde à l'association de liens de niveaux hiérarchiques différents. La correction de la base est nécessaire pour assurer la continuité des axes principaux en tant que mouvement principal. Toutefois, cette correction ne peut être réalisée qu'au niveau de chacun des carrefours. Nous l'avons limité aux voies de niveaux hiérarchiques les plus élevés (1 à 3) compte tenu du temps disponible (Godinot, Bonnel, 2008).

Le second élément concerne la définition des mouvements tournants. Davisum propose 4 types de mouvements tournants :

- Td : tout droit ;
- D : tourne à droite ;
- G : tourne à gauche ;
- Dt : demi-tour.

La définition du mouvement tout droit est effectuée de manière automatique à partir de la géométrie du carrefour. Les autres mouvements sont ensuite définis par rapport au mouvement tout droit. Cette codification ne renseignant que la géométrie du carrefour, elle ne peut pas être modifiée (Godinot, Bonnel, 2008).

Les pénalités retenues pour les mouvements aux nœuds sont présentées dans le Tableau 19.

Tableau 19 : Pénalités aux mouvements tournants dans SIMBAD (en secondes)

Types de nœud	Carrefours	S -> S				S -> P				P -> S				P -> P			
		d	td	g	dt	d	td	g	dt	d	td	g	dt	d	td	g	dt
1	Nœud 'graphique'	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	Cédez le passage, priorité à droite	5	10	15	15	10	20	25	25	5	10	15	15	5	10	15	15
12	Mixte 'feux stop'	7	17	22	22	7	17	20	22	7	7	15	20	5	5	7	7
13	Carrefours urbains	5	15	20	20	5	10	15	20	5	10	10	20	5	5	10	10
14	Giratoires	0	0	0	0	10	10	10	10	0	5	5	0	0	0	0	0
15	Entrées / Sorties autoroute	0	0	0	0	30	30	30	30	30	30	30	30	0	0	0	0
20	Carrefours particuliers	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Légende : P : voie supportant le flux principal
S : voie supportant le flux secondaire

d : tourne à droite
td : tout droit
g : tourne à gauche
dt : demi-tour

Source : Traitement LET

4.1.3.3. Choix des courbes débit-temps, des vitesses et des capacités

La base Navteq contient certains attributs des liens, mais pas tous ceux nécessaires à la modélisation. Au-delà des caractéristiques topologiques et du type, elle contient la vitesse et la capacité journalière. Mais il manque la courbe débit-temps qui permet de tenir compte de la congestion.

Nous avons conservé les vitesses disponibles dans la base Navteq qui, dans l'ensemble, sont adaptées. Les seules modifications introduites sont celles résultant du changement de type du lien, notamment pour les liens initialement codés « hors-ville » et que nous avons recodés « en-ville » car ils appartiennent à la tâche urbaine Géoroute. Dans ce cas, les vitesses ont été diminuées chaque fois que cela s'avérait nécessaire.

La capacité disponible dans la base Navteq est une capacité journalière. Nous avons toutefois besoin d'une capacité horaire maximale afin de pouvoir estimer correctement la congestion en heure de pointe. La pratique habituelle des bureaux d'études consiste à diviser par 10 cette capacité pour la ramener à une capacité horaire. Pour les principaux axes, nous avons confronté cette capacité horaire aux autres bases de données disponibles (Géoroute et Saratlas) et au nombre de voies de ces liens visibles sous Google Earth. Cela a conduit à corriger certaines capacités. Nous avons enfin cherché à valider cette information avec les informations disponibles sur les réseaux. Pour cela, nous avons utilisé les données de comptage produites par les gestionnaires des différents réseaux routiers. Ces comptages, nous permettent d'une part d'estimer un trafic horaire maximum qui peut être rapproché de la capacité et d'autre part d'estimer le coefficient de passage du trafic journalier au trafic de l'heure de pointe. Nous avons ainsi pu corriger certaines capacités qui s'avéraient manifestement trop faibles. En revanche, le traitement des sur-capacités au regard des

données de trafic s'avère plus délicat car cela peut correspondre à la « réalité », même en présence de congestion. La congestion n'est effectivement pas forcément due à une capacité insuffisante au droit du comptage, mais peut correspondre à une contrainte en aval.

Le choix d'une courbe débit-temps pour un lien nécessite, en théorie, de disposer de données fines relatives à sa capacité et sa vitesse en relation avec le niveau de trafic. Il est évident que cette information n'est pas disponible pour l'ensemble des liens de l'aire urbaine. Nous avons donc croisé la typologie des liens avec la vitesse à vide pour affecter une courbe débit-temps. Faute de données pour caler ces courbes, nous nous sommes appuyés sur les typologies retenus par la société PTV qui distribue et a utilisé DAVISUM dans plusieurs études récentes en France. Nous avons retenu des courbes de type BPR (Bureau of Public Road, développées aux USA dans les années soixante), et plus précisément, les courbes BPR2 qui permettent de distinguer la situation non saturée de la situation saturée (Godinot, Bonnel, 2008) :

$$t = t_0 \left(1 + a \left(\frac{V}{V_{\max} * c} \right)^b \right) \quad \text{pour } \frac{V}{V_{\max}} \leq 1 \text{ lien non saturé}$$

$$t = t_0 \left(1 + a \left(\frac{V}{V_{\max} * c} \right)^{b'} \right) \quad \text{pour } \frac{V}{V_{\max}} > 1 \text{ lien saturé}$$

où t est le temps de parcours sur un lien ;

t_0 est le temps de parcours à vide ;

V le volume (charge) sur le lien ;

$V_{\max}$ le volume maximum, c'est-à-dire la capacité maximale du lien ;

a , b , b' et c sont des paramètres de calage précisés dans le tableau 4, qui conduisent aux courbes présentées dans le Tableau 20 et la Figure 22.

Tableau 20 : Affectation des différents types de liens aux courbes débit-temps

Procédures

Déroulement Fonctions

Fonctions TI

- Courbes D-V
- Tps gén.
- Charge
- Indicateurs
- Temps généralisés au
- Modèle d'encombrement

Fonctions TC

- Périodes d'analyse
- Charges

Types de tronçons

	*0	*1	*2	*3	*4	*5	*6	*7	*8	*9
0*	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
1*	2	2	8	2	2	2	2	2	8	8
2*	2	2	2	2	6	8	8	3	3	3
3*	4	4	4	4	3	4	3	4	4	4
4*	4	1	2	2	4	3	3	3	4	1
5*	4	4	6	7	3	4	5	5	4	4
6*	1	1	6	6	6	6	6	6	6	1
7*	1	1	1	6	6	6	1	1	1	6
8*	1	1	7	7	1	1	1	1	1	1
9*	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Courbe pour cellules sélectionnées

Connecteurs par pourcentage

BPR (1.00 1.00 1.00)

Courbes D-V

N..	Fonction
1	constante
2	BPR2 (0.37 7.15 10.00 1.00)
3	BPR2 (0.51 3.54 10.00 1.00)
4	BPR2 (1.00 3.98 10.00 1.00)
5	BPR2 (1.20 2.50 10.00 1.00)
6	BPR2 (1.20 2.00 10.00 1.00)
7	BPR2 (1.50 1.50 10.00 1.00)
8	BPR2 (0.45 4.50 10.00 1.00)

Insérer Edit Supprimer

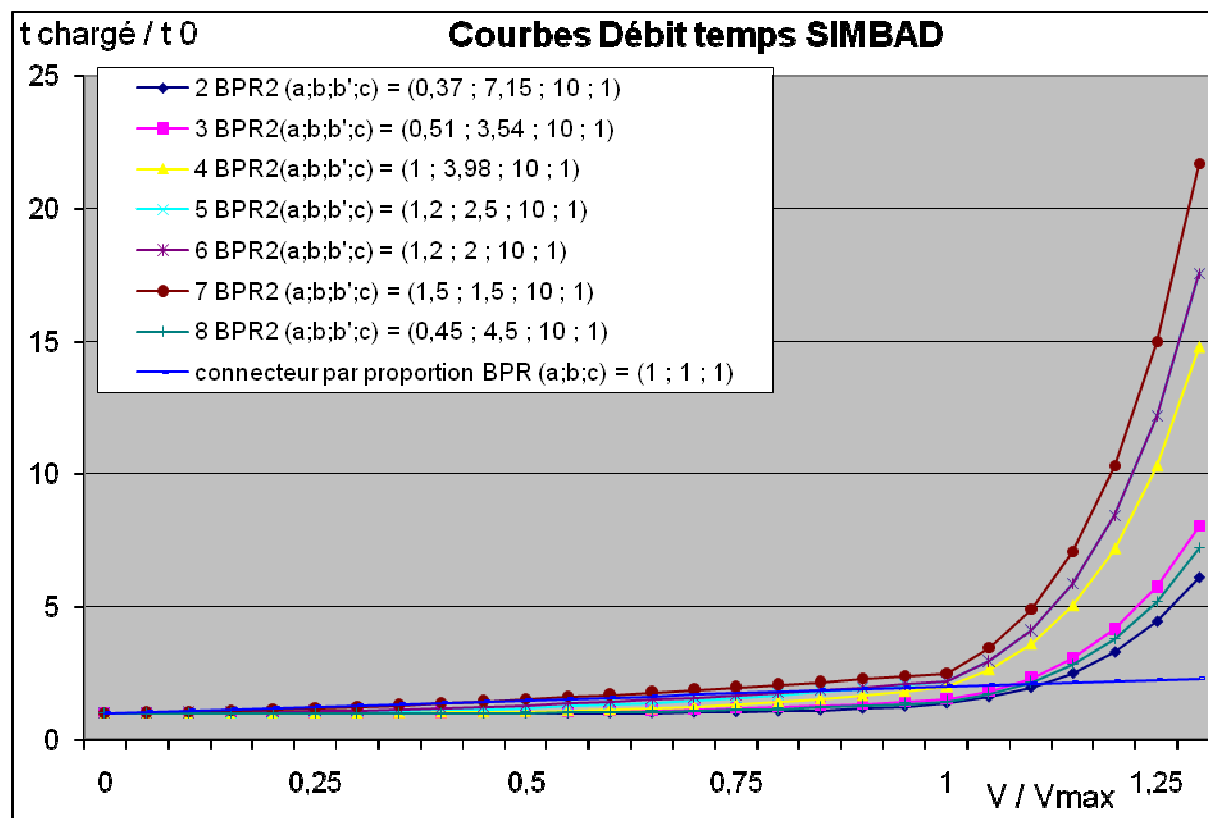
Types de tronçons

☐ Tenir compte de vMin

Exécuter Enregistrer Ouvrir OK Annuler

Source : Traitement LET

Figure 22 : Courbes Débit temps appliquées dans SIMBAD



Source : Traitement LET

4.1.3.4. Codification automatique des connecteurs

Le connecteur de centroïde est un lien fictif qui assure la liaison entre le centroïde de zone et le reste du réseau. Notre découpage comptant 777 IRIS, il faut produire au minimum 777 connecteurs. Mais dans la pratique, il est généralement souhaitable de relier le centroïde à plusieurs nœuds de manière à ne pas introduire fictivement de la congestion sur le lien connecté au centroïde (Cf. 4.1.2.4).

En application des principes méthodologiques présentés précédemment, cette codification a été réalisée de la manière la plus automatique possible. La première étape consiste à positionner géographiquement le centroïde en le plaçant au centre de la surface bâtie de la zone qui concentre la très grande majorité des origines et destinations de déplacements. Nous pouvons ainsi utiliser la distance entre le centroïde et les nœuds de réseau pour définir la longueur des connecteurs.

Le choix des connecteurs est réalisé en suivant la procédure suivante (Godinot, Bonnel, 2008) :

- ✓ Elimination des types de nœuds ne pouvant supporter l'arrivée d'un connecteur (par exemple entrée/sortie d'autoroute car on oblige à utiliser ensuite l'autoroute quelle que soit la destination du déplacement...) ;
- ✓ Choix des nœuds les plus proches avec un nombre maximal de nœuds égale à 3 au sein du Grand Lyon et égale à 5 hors Grand Lyon. Dans cette recherche, seuls les nœuds dont la distance au centroïde est inférieure à 0,5 km au sein du Grand Lyon et 1,5 km en dehors sont considérés. Au sein du Grand Lyon, la connexion sur une voie à sens unique est possible car certains IRIS ne sont composés que de voies à sens unique, alors qu'en dehors du Grand Lyon ces liens sont exclus pour augmenter la pertinence des liens retenus (les liens à sens unique sont peu nombreux hors Grand Lyon).

Un contrôle est ensuite réalisé pour s'assurer d'une part que l'ensemble des connecteurs sont utiles et d'autre part que le nombre de connecteurs est suffisant pour chacune des zones. L'utilité des connecteurs est évaluée grâce à une méthode classique qui consiste à affecter en deux tranches égales une matrice dont toutes les cases sont égales à l'unité. Les connecteurs qui ne chargent pas sont alors enlevés. Cette opération permet d'alléger la codification du réseau et donc de réduire le temps de calcul nécessaire lors de l'affectation de la matrice de demande. La vérification d'un nombre suffisant de connecteurs est effectuée grâce à l'analyse de la capacité cumulée des liens connectés. Il est nécessaire que cette capacité cumulée soit supérieure à la demande générée et attirée par la zone de sorte à ne pas générer de la congestion fictive lors du chargement de la demande (Godinot, Bonnel, 2008).

4.1.3.5. Calage du réseau

Le calage du réseau s'effectue en affectant une matrice de demande et en comparant le trafic chargé sur les liens ou sur des coupures avec les données de comptage disponibles.

L'année de référence est l'année 1999. En revanche, les données de demande disponibles correspondent à 1995 pour l'enquête ménages déplacements et à 1990 pour l'enquête cordon. Par ailleurs, l'enquête ménages déplacements ne repère que les déplacements de personnes et non pas le transport de marchandises. Enfin, les découpages et périmètres des deux enquêtes ménages déplacements et cordon sont différents et non compatibles avec le découpage en Iris retenus pour SIMBAD.

La constitution de la matrice de référence en heure de pointe du soir pour 1999 (HPS99) représente donc un travail assez lourd nécessitant de nombreuses hypothèses. Nous présentons très brièvement les principales étapes de ce travail qui sont détaillées dans (Godinot, Bonnel, 2008) :

- ✓ Définition de matrices de passage des découpages enquêtes ménages déplacements d'une part et cordon d'autre part vers le découpage en IRIS qui permet d'écarter les matrices de déplacements issues de ces enquêtes vers les matrices IRIS ;
- ✓ Estimation des flux d'échange et de transit en 1990 et en 2005 en tenant compte du fait que l'étendue des périmètres 1990 et 2005 de l'enquête cordon est bien plus limitée que celle de l'aire urbaine (section 3.3) ;
- ✓ Estimation de la part de transport de marchandises à partir des données de comptages permettant de séparer flux VL (véhicules légers) et PL (poids-lourds) ;
- ✓ Estimation des taux de croissance des trafics d'échange et de transit à partir des enquêtes cordon de 1990 et 2005. Cette estimation est rendue plus complexe par le fait que les découpages et les périmètres des deux enquêtes ne sont pas identiques ;
- ✓ Estimation des taux de croissance des flux internes au périmètre à partir de la croissance des trafics sur les postes de comptages pour lesquels les données sont disponibles sur plusieurs années et de l'évolution de la mobilité automobile repérée dans les précédentes enquêtes ménages déplacements (l'enquête de 2006 n'était pas encore disponible lors de la réalisation de ce travail).

L'affectation de cette matrice HPS99 est réalisée grâce à une affectation à l'équilibre selon le principe de Wardrop (Bonnel, 2004) afin de prendre en compte les effets de la congestion sur les choix d'itinéraire. Afin d'analyser les résultats de l'affectation, nous utilisons l'indice GEH¹¹, qui permet de comparer deux séries de volume de trafic :

$$GEH = \sqrt{\frac{2(M - C)^2}{M + C}}$$

Avec :

M : flux modélisés
C : flux des données de comptages

¹¹ DMBR, UK Highways Agency's Design Manual for Roads & Bridges, volume 12, section 2.

Nous comparons les résultats de l'affectation avec tous les comptages disponibles. Généralement, dans les études de circulation de projets d'infrastructure de transport, on considère qu'il est souhaitable que 85% du volume de trafic ait un GEH inférieur à 5%. Compte tenu, d'une part de notre objectif qui ne vise pas à l'analyse de projets spécifiques, mais à l'analyse macro-économique de politique de transport, et d'autre part que ce premier travail de calage est intermédiaire en attendant de disposer de la matrice définitive établie par SIMBAD pour 1999, nous avons retenu une précision moindre. De plus, les données disponibles, conduisent à de fortes incertitudes sur la matrice de demande d'une part et sur les données de comptages d'autre part. En effet, les comptages ne sont généralement pas disponibles pour 1999, mais pour des années plus récentes, ce qui impose d'estimer un comptage 1999.

Le calage des réseaux a permis d'effectuer quelques corrections. Il a permis également d'affiner la prise en compte des péages autoroutiers. Enfin, il a permis d'affiner l'injection des flux d'échange et de transit sur les différents liens (section 3.3). Les résultats finaux sont tout à fait corrects pour les lignes écran en entrée/sortie de l'aire urbaine (Tableau 22) ainsi que pour les autoroutes et voiries rapides urbaines (Tableau 21, Carte 16). Ils restent acceptables pour le péri-urbain, mais sont de moins bonne qualité en urbain (Carte 17) et pour les échangeurs. Le calage du réseau devra encore être affiné. Ce travail sera réalisé lors du calage en dynamique de l'ensemble du modèle SIMBAD.

Tableau 21 : GEH en fonction du type de réseau

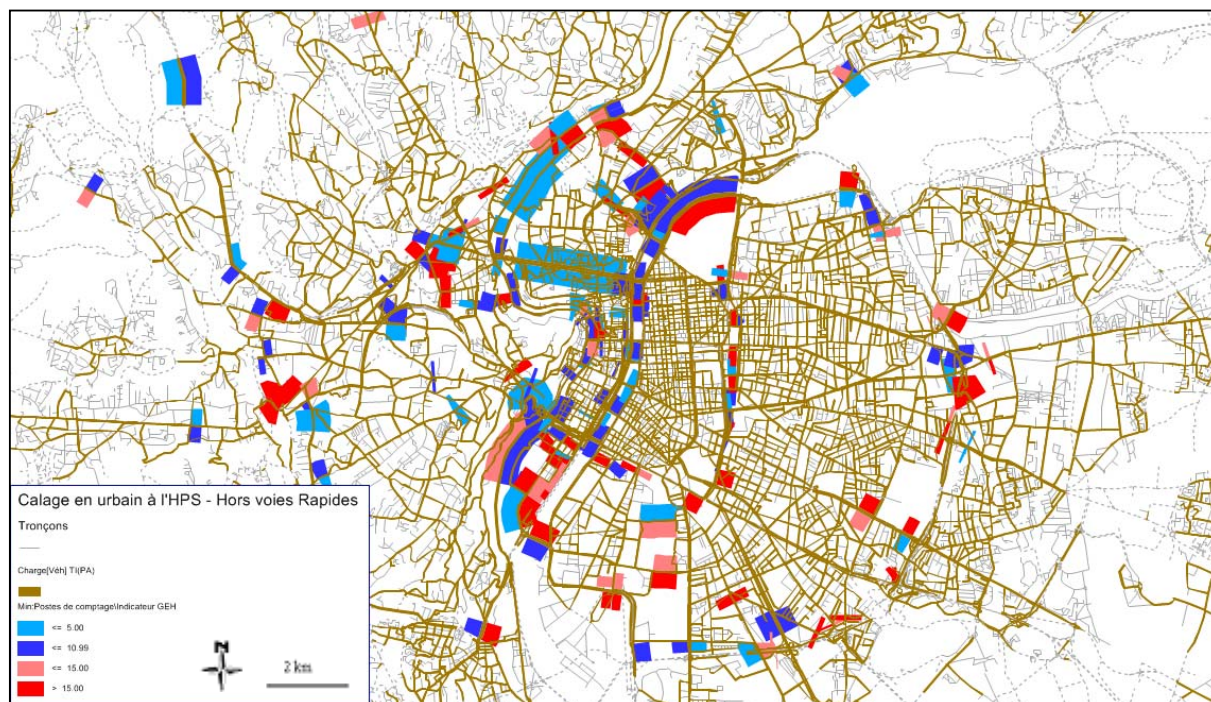
	GEH [0-10%]	GEH]11%et +]	Poids des postes de comptage en UVP
Urbain	57%	43%	31%
Périurbain	75%	25%	9%
Echangeurs	55%	47%	8%
Autoroute, Périphérique, VRU	82%	18%	52%
Tout poste de comptage	66%	34%	100%

Source : Traitement LET

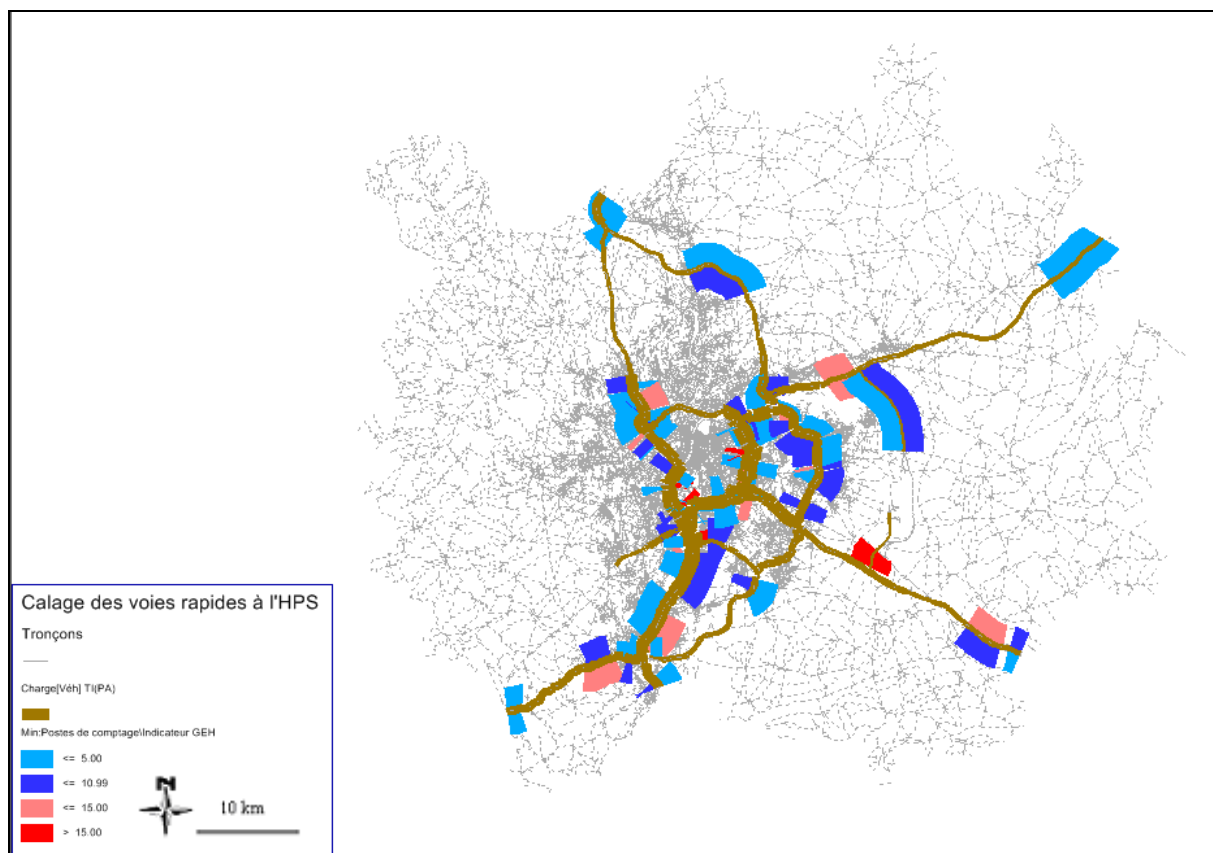
Tableau 22 : Charges finales en entrée et en sortie de l'Aire Urbaine Lyonnaise

Nom de la ligne écran	Sens Entrant			Sens sortant		
	Charge	Comptage	GEH	Charge	Comptage	GEH
Axe VIENNE Nord- Secteur extérieur 1	3328	3271	1,0	3929	3292	10,6
Axe ILE D'ABEAU - Est- Secteur extérieur 2 et 10	2986	2992	0,1	3044	2992	0,9
Axe MEXIMIEUX - Ouest- Secteur extérieur 3et4	1618	1355	6,8	1348	1355	0,2
Axe ANSE - Nord- Secteur extérieur 6	3515	3777	4,3	3538	3799	4,3
Axe ROANNE - Secteur extérieur 7	755	660	3,6	669	654	0,6
Axe St ETIENNE - Secteur extérieur 9et8	2915	2914	0,0	2764	2919	4,1
Axe MORESTEL - Secteur extérieur 10	156	193	2,8	175	193	1,3
Axe DOMBES - Secteur extérieur 5	519	422	4,5	531	422	5,0
Axe AUVERGNE - Secteur extérieur 8	128	133	0,4	232	133	7,3

Source : Traitement LET

Carte 16: Calage du réseau urbain à l'HPS (hors voies rapides) : indicateur GEH

Source : DAVISUM, traitement LET

Carte 17 : Calage du réseau de voies rapides à l'HPS : indicateur GEH

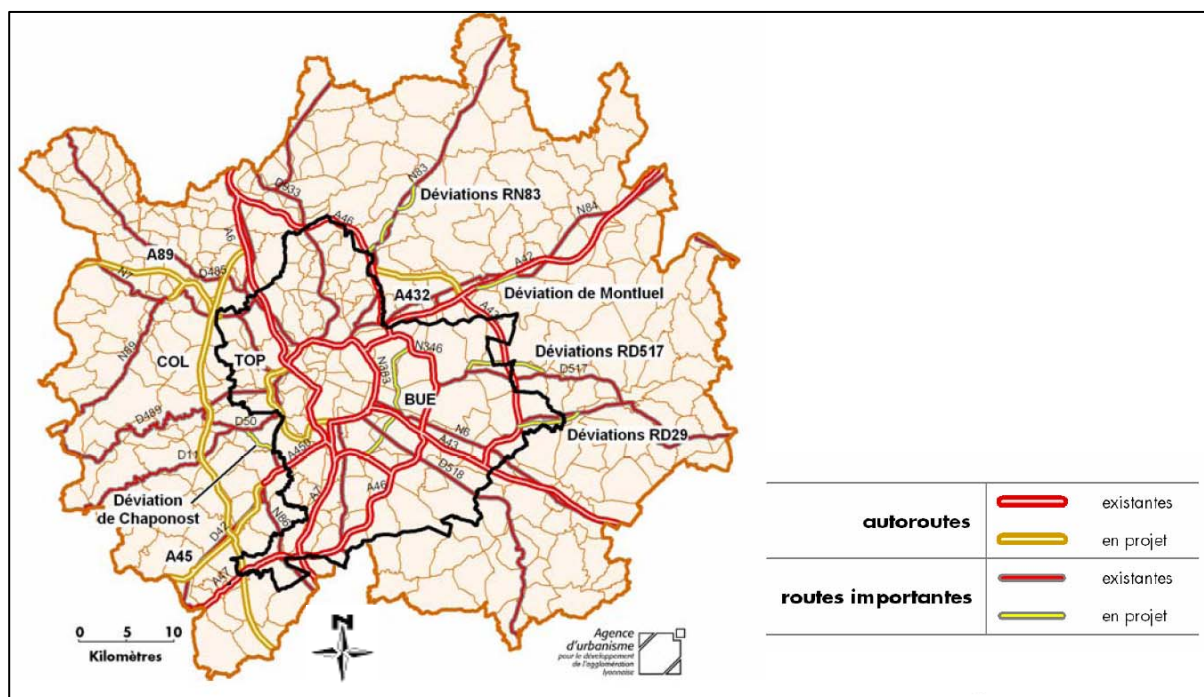
Source : DAVISUM, traitement LET

4.1.3.6. Projets de développement du réseau à l'horizon 2025

La dernière étape du travail consiste à codifier les projets d'infrastructures nouvelles à l'horizon 2025. Certains projets sont d'ores et déjà décidés et programmés. D'autres sont inscrits dans les documents de planification mais avec des dates de mises en service ou des tracés non définitifs ou avec des incertitudes très fortes comme par exemple les projets de contournement. Nous avons donc défini deux scénarios. Un premier contenant tous les projets avec les dates de mises en service les plus proches envisagées et un second plus sélectif avec pour certains projets des dates de mises en service plus tardives. Ces scénarios ont été conçus en accord avec l'Agence d'Urbanisme de Lyon (Carte 18).

Les projets correspondants ont été codifiés en suivant la logique retenue pour le réseau de référence (Godinot, Bonnel, 2008).

Carte 18 : Réseaux routiers et autoroutiers actuels et en projet sur l'aire urbaine



Source: Agence d'Urbanisme de Lyon, 2005

4.2. Codification du réseau de transports collectifs : vers une codification automatique à partir des données publiques ?

Nous avons gardé la logique adoptée pour la codification du réseau routier. Nous souhaitons traiter la codification du réseau de transports collectifs de la manière la plus simple et la plus automatique possible en utilisant au maximum les données de communication du réseau qui sont publiquement disponibles.

Nous présentons tout d'abord les principes de la codification des réseaux de transports collectifs qui sont communs à tous les logiciels de planification des transports (section 4.2.1). La codification des réseaux permet de mettre en œuvre les modèles d'affectation du trafic transports collectifs afin de produire les matrices de temps généralisés qui sont utilisées en entrée des modèles de localisation

(voir Figure 7 du chapitre introductif). Le logiciel de planification DAVISUM a été retenu pour réaliser l'affectation des trafics. Dans une seconde section (4.2.2), nous présentons la codification concrète des réseaux au sein de DAVISUM compte tenu des bases de données utilisées, des incertitudes et des marges de manœuvre inhérentes à ce type de travail qui nécessite une grande cohérence dans les choix qui sont effectués. Enfin, la troisième section (4.2.3), présente les résultats sur l'aire urbaine lyonnaise.

Seuls, le réseau urbain du Grand Lyon et le réseau des cars départementaux ont été codifiés. La codification du réseau ferroviaire est en projet.

4.2.1. Méthodologie de la codification des réseaux transports collectifs

La description du réseau de transports collectifs est de nature différente de celle du réseau viaire. Un réseau de transports collectifs est composé de lignes et le passage d'une ligne à une autre génère un coût ou temps généralisé supplémentaire qui n'a pas d'équivalent pour la voiture. Il est donc nécessaire de superposer au graphe du réseau support une description des lignes de transports collectifs. Pour chaque ligne, cette description consiste en une succession de nœuds de réseau correspondant à des possibilités de monter ou descendre de la ligne. Selon la finesse de représentation nécessaire, on peut isoler chacun des arrêts d'une ligne ou bien agréger plusieurs arrêts dans un même nœud (Bonnell, 2004).

Le graphe support de ce réseau peut être le graphe du réseau viaire. Toutefois, la description de lignes en site propre nécessite en général l'ajout de nœuds et de liens supplémentaires, car ces liens ne peuvent pas être utilisés par les autres modes de transport et sont bien souvent situés, au moins partiellement, en dehors du réseau viaire.

Une ligne de transports collectifs peut être dotée des attributs suivants :

- ✓ la fréquence ou le nombre de services par heure qui permet de calculer le temps d'attente. Il est parfois possible de spécifier plusieurs formules pour calculer le temps d'attente selon que l'on considère que les arrivées sont aléatoires (intervalles faibles entre deux véhicules) ou dépendantes des horaires de passage (intervalles élevés entre deux véhicules). Certains logiciels (SEMALY, 2000) proposent d'intégrer un coefficient de régularité pour la ligne qui viendra moduler l'attente selon la ligne. La principale limite à ces améliorations du calcul du temps d'attente provient de la production de données nécessaire en situation de référence et de la capacité à simuler à l'horizon d'étude l'évolution de ces paramètres. Enfin, certains logiciels (comme DAVISUM par exemple) permettent de saisir directement les tables d'horaire des lignes ;
- ✓ la capacité de la ligne qui correspond en général à la capacité du véhicule. Cette information n'est toutefois pas toujours nécessaire si l'on ne prend pas en compte d'éventuels retards face à une capacité insuffisante de la ligne ou le temps nécessaire à l'arrêt pour assurer la montée des clients ;
- ✓ la vitesse de la ligne est parfois spécifiée directement au niveau de la ligne et non des liens. Cet attribut n'est généralement défini que pour des lignes en site propre intégral pour lesquelles la vitesse est uniforme sur tout l'itinéraire de la ligne et peut être garantie indépendamment des conditions de circulation. Le plus souvent, le temps de parcours est spécifié pour chacun des liens ou pour chacun des arrêts en tant qu'attribut de la ligne, ce qui permet d'avoir des temps de parcours différents pour un même lien utilisé par des lignes différentes.

Les connecteurs de centroïde doivent être spécifiés pour chacun des modes de transport. Le temps d'accès au réseau n'est pas de même nature pour la voiture et pour les transports collectifs. L'accès aux transports collectifs nécessite en général un temps de marche à pied qui est nettement supérieur au temps d'accès de la voiture. Le connecteur de centroïde peut dans certains cas être spécifique pour chacune des lignes ou groupes de lignes traversant une zone si le temps de marche pour accéder aux arrêts est différent pour chacune de ces lignes ou groupe de lignes. Ce temps de marche

étant parfois affecté d'un coefficient pondérateur au moins égal à deux pour traduire la pénibilité relative de la marche par rapport au temps en véhicule, il est important de le définir assez précisément. Une mauvaise détermination des temps d'accès peut avoir des conséquences assez importantes sur les choix d'itinéraires, tout particulièrement dans des réseaux fortement maillés. La détermination de cette distance de marche doit rester compatible avec la connaissance que l'on peut avoir des zones de chalandise des arrêts (de l'ordre de 300 mètres pour une ligne de bus et de 400 à 500 mètres pour du site propre). Ainsi, même si la zone est très étendue et que la distance moyenne de la population à l'arrêt est supérieure à 500 mètres, il est généralement nécessaire de conserver une distance beaucoup plus courte pour le connecteur de centroïde. En général, on retient une distance assez proche de la distance moyenne effectivement parcourue par les utilisateurs des transports collectifs (et non pas une distance moyenne de la population aux arrêts). Toutefois, quel que soit le principe de codification retenu, le plus important est de maintenir une cohérence forte de ce principe pour l'ensemble de la codification du réseau. Cette cohérence devra également être maintenue lors de la phase de prévision qui suppose généralement une modification du réseau.

L'agrégation de plusieurs voiries routières dans un même lien s'effectue sans trop de difficulté surtout si les liens sont de même nature. En revanche, le problème des lignes de transports collectifs partageant un tronc commun est beaucoup plus complexe à traiter. Le traitement passe, en général, par la définition d'une ligne fictive sur l'ensemble de l'itinéraire commun à plusieurs lignes de transports collectifs. La difficulté réside dans la définition des attributs de cette ligne fictive. Le choix d'une fréquence s'effectue souvent en sommant le nombre de passages de chacune des lignes ayant un tronc commun. Toutefois, la coordination des lignes n'existant pas forcément ou n'étant pas parfaite, cette règle conduit le plus souvent à minimiser le temps d'attente. De plus, certaines lignes peuvent être plus attractives que d'autres conduisant certains usagers à laisser passer un bus pour prendre le suivant jugé plus confortable. Cette construction de lignes fictives est généralement traitée par les logiciels.

La combinaison d'un service express avec un service omnibus est encore plus complexe puisque les lignes ne partagent en commun que certains arrêts. Dans ce cas, une représentation très précise du réseau peut s'avérer extrêmement complexe et lourde à mettre en œuvre selon le logiciel retenu. Comme toujours le niveau de précision dépendra des objectifs et des moyens disponibles pour l'étude. Mais dans tous les cas, il faut rester conscient de l'approximation et des conséquences que cela peut avoir, par exemple sur la répartition du trafic entre des lignes parallèles.

4.2.2. Principes de codification retenus pour le projet SIMBAD

Les principes retenus sont similaires à ceux que nous avons exposés pour le réseau routier. Nous n'en faisons donc qu'une rapide présentation.

Le zonage retenu est logiquement le même que celui qui a été retenu pour la codification du réseau routier. Nous utilisons donc le découpage le plus fin possible compte tenu des données démographiques disponibles, à savoir le découpage en IRIS de l'aire urbaine de Lyon.

Dans le prolongement de cette logique, nous avons retenu une codification fine du réseau de transports collectifs qui conduit à codifier tous les arrêts de transports collectifs y compris lorsque plusieurs arrêts sont localisés au sein d'une même zone. Ce choix a été facilité par la récupération du travail effectué par David Caubel dans sa thèse (Caubel, 2006) qui a réalisé la digitalisation de tout le réseau de transports collectifs du Grand Lyon (réseau TCL du SYTRAL). Toutefois, comme pour le réseau routier, la finesse de codification ne doit pas être interprétée comme ouvrant la voie à une finesse de l'analyse des résultats. Lorsque plusieurs arrêts sont inclus dans une même zone, la modélisation ne permet pas d'identifier correctement la charge de chacun des arrêts. Toute la demande est concentrée dans le centroïde. Il n'est donc pas possible de la répartir sur une base comportementale solide entre les nœuds de la zone, même si certains logiciels, comme DAVISUM par exemple, proposent des fonctionnalités permettant d'écarter la demande entre les différents

nœuds. Par ailleurs, le choix d'une codification la plus automatique possible à partir des bases de données aisément disponibles ne permet pas un calage fin du réseau. Le réseau est finement codifié sur le plan spatial, mais l'analyse doit rester agrégée.

Comme pour le réseau routier, nous avons privilégié le choix de bases de données aisément disponibles. Nous avons privilégié les guides horaires qui sont distribués par le réseau lyonnais. Ces guides contiennent toute l'information nécessaire pour effectuer une codification de base des réseaux. Le tracé des lignes est disponible, ainsi que l'ensemble des services, ce qui permet de représenter tous les services ou d'estimer une fréquence de passage. Enfin, les horaires de passage aux arrêts permettent de générer des temps de parcours inter-arrêts.

La dernière étape pour compléter le réseau de transports collectifs concerne la codification des connecteurs. Comme nous le présentons plus loin, le travail est plus complexe et plus sensible que pour le réseau routier. Nous avons tout de même privilégié une approche conduisant à une codification automatique, permettant une reproductibilité en situation de projet.

4.2.3. Calage du réseau de transports collectifs sous DAVISUM

4.2.3.1. Codification des nœuds et des liens du réseau support

Suivant la logique développée dans SIMBAD, nous avons choisi de repérer tous les arrêts du réseau de transports collectifs. Dans le réseau transport collectif, les nœuds correspondent donc aux arrêts. L'intégration au sein de DAVISUM de la base de données géolocalisées des arrêts construite par David Caubel n'a toutefois pas pu se faire de manière automatique, le référentiel géographique de la base Navteq importée dans DAVISUM n'étant pas compatible avec celui de la base de David Caubel. Il a donc fallu repositionner manuellement tous les arrêts sur des nœuds existants du réseau routier.

Le tracé fin de la ligne est ensuite généré automatiquement par DAVISUM selon le plus court chemin entre les arrêts successifs des lignes de transports collectifs. Le plus souvent le tracé généré correspond au tracé réel. Toutefois, certaines corrections sont nécessaires, notamment lorsque les distances inter-arrêts sont importantes par exemple pour les lignes express ou les lignes départementales.

Le traitement du réseau métro et des funiculaires a nécessité une approche différente dans la mesure où ces modes de transport n'utilisent pas la voirie routière existante. Des nœuds et des arcs nouveaux ont donc été créés pour ces modes de transport. Cette approche a d'ailleurs dû être utilisée pour une partie des itinéraires tramways et pour certaines lignes de bus qui disposent de voiries dédiées.

Malgré la disposition initiale de la base de données des arrêts géolocalisés, cette opération s'est avérée beaucoup plus chronophage que prévue.

4.2.3.2. Codification des lignes de transports collectifs

La codification des lignes de transports collectifs est assez complexe au sein de DAVISUM car elle nécessite le renseignement de plusieurs tables :

- ✓ Système de transport : contient tous les systèmes de transport collectifs à savoir métro, funiculaire, tramway et bus pour le réseau lyonnais ;
- ✓ Ligne : contient toutes les lignes du réseau ;
- ✓ Tronçons (liens) : contient tous les liens du réseau qui peuvent être empruntés par un système de transports collectifs. Pour chaque tronçon, il faut définir les systèmes de transport autorisés ;
- ✓ Itinéraire de lignes : contient le tracé de la ligne défini comme une succession d'arrêts. Une ligne peut avoir plusieurs itinéraires de lignes ;

- ✓ Tracé d'itinéraires de lignes : contient le tracé précis de la ligne défini comme une succession de tronçons (liens). Une ligne peut avoir plusieurs tracés d'itinéraires de lignes ;
- ✓ Profil de temps de parcours : contient le temps de parcours inter-arrêts, ainsi que le temps d'arrêt commercial à chacun des arrêts pour chacune des lignes. Une ligne peut avoir plusieurs profils de temps de parcours selon les services ;
- ✓ Services : contient l'ensemble des services offerts. Pour chaque service, il faut définir la ligne de transports collectifs, l'itinéraire, le tracé d'itinéraire et le profil de temps de parcours.

En revanche, cette complexité permet de s'adapter facilement à toutes les configurations existant sur le réseau lyonnais : ligne à antenne, service partiel ou étendu, service express...

La codification de ces tables a été réalisée à partir du guide horaire du réseau qui contient toutes les lignes avec les horaires de passage aux principaux arrêts. L'horaire de passage aux arrêts intermédiaires a été estimé en considérant une vitesse constante entre les arrêts pour lesquels l'horaire de passage est fourni (Skalli, 2004 ; Pittion, 2006).

4.2.3.3. Codification automatique des connecteurs de centroïde

Nous conservons la philosophie présentée pour le réseau routier visant à une production et une codification automatique des connecteurs de centroïde. Le principe d'application est identique, mais sa traduction beaucoup plus complexe.

Le maillage du réseau routier conduit à la présence d'un grand nombre de nœuds de réseau au sein chacun des IRIS. Ce n'est plus le cas pour les transports collectifs, certains IRIS étant dépourvus d'offre de transports collectifs. A l'inverse, il peut y avoir plusieurs arrêts au sein d'un même IRIS. Si ces arrêts appartiennent à la même ligne de transports collectifs, il n'est pas indispensable qu'ils soient tous connectés au centroïde car la répartition de la demande entre ces arrêts ne peut être correctement estimée comme nous l'avons déjà mentionné. En revanche, si ces arrêts n'appartiennent pas à la même ligne, il faut s'assurer qu'il y a au moins un arrêt connecté au centroïde pour chacune des lignes qui traversent et s'arrêtent dans la zone.

Nous avons développé une méthode qui répond en grande partie à ces contraintes. Elle procède par étapes successives :

- ✓ Lors de la première étape, nous connectons les centroïdes aux nœuds de réseau comportant un arrêt de transports collectifs distant de moins de 500 mètres du centroïde. Nous avons choisi une distance rectilinéaire qui permet de traduire correctement les distances réelles de marche à pied au d'un tissu urbain¹². La limite de 500 mètres a été fixée en fonction du rayon de l'aire de chalandise moyenne des arrêts de transports collectifs (généralement compris entre 300 et 700 mètres selon la nature du système de transports collectifs et la densité du réseau). Lors de cette étape, nous avons limité le nombre de connecteurs possibles par centroïde à 8 afin de ne pas surcharger la description du réseau ;
- ✓ La seconde étape a consisté à renouveler la même opération pour tous les nœuds de réseau non connectés, mais en choisissant une distance de 1 km, sûrement plus adaptée à la situation péri-urbaine. A l'issue de cette étape, 220 nœuds de réseau et 244 IRIS ne sont pas connectés. L'analyse des nœuds de réseau montre qu'il s'agit d'arrêts peu importants et que les arrêts proches sont déjà connectés au sein des IRIS concernés. Comme nous l'avons évoqué ci-dessus, si l'absence de connections pour les nœuds de réseau n'est pas problématique, l'absence de connections pour les IRIS l'est plus, car elle empêche l'accès au réseau de transports collectifs ;

¹² INRETS – GALLEZ, Système d'indicateurs pour l'évaluation prospective de scénarios d'évolution de la mobilité.2000, page 35.

- ✓ Nous renouvelons donc l'opération pour les IRIS non connectés en portant successivement la distance à 1,5, 2, 3, 4, 5, 6 et enfin 7 km. Il ne reste plus que deux IRIS et 198 nœuds non connectés.

Pour la plupart des IRIS, la méthode proposée répond aux contraintes que nous avons évoquées en introduction de la section. Leur traitement n'est toutefois pas systématique et il sera utile de revenir sur cette méthode de codification automatique des connecteurs une fois que le calage dynamique du modèle SIMBAD sera bien avancé.

A ce stade de l'analyse, nous n'avons pas pris en compte les trajets multimodaux car leur modélisation est complexe et qu'ils représentent une part modale encore modeste sur l'agglomération lyonnaise (1% d'après les données de l'enquête ménages déplacements de 2006). Les connecteurs sont donc définis avec une vitesse marche à pied (4 km/h).

Certains connecteurs ont une distance excessive pour des vitesses de marche et il est clair que les temps généralisés transports collectifs sont prohibitifs pour les IRIS correspondants. Ce résultat découle en partie de l'absence de l'offre ferroviaire et en partie de la non prise en compte de l'offre multimodale. C'est une limite du projet SIMBAD qui devra être levée dans les développements ultérieurs du modèle.

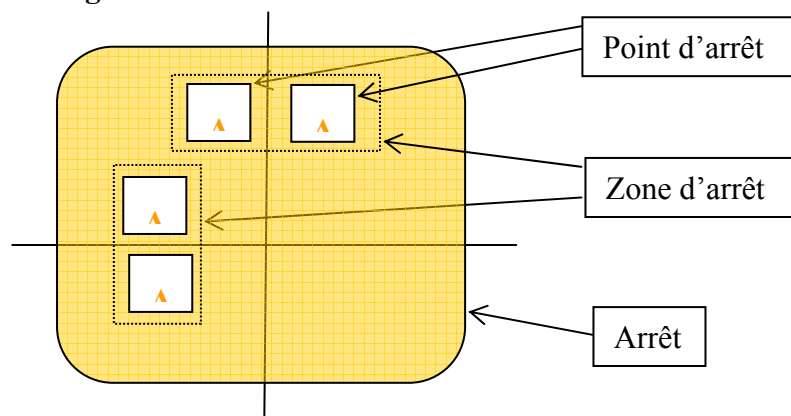
4.2.3.4. Choix de la fonction de temps généralisé

Le calcul des temps généralisés nécessite, en plus de la codification des réseaux, de traiter les correspondances et l'estimation des temps d'attente.

DAVISUM offre la possibilité de traiter très finement les correspondances entre les modes de transports collectifs. Cela passe par une définition précise des nœuds que nous avons considérée de manière simplifiée jusqu'ici. La codification des nœuds conduit à définir trois niveaux (Figure 23) :

- ✓ **L'arrêt.** Il regroupe toutes les zones d'arrêts et donc tous les points d'arrêts. Il n'est pas directement assigné à un nœud du réseau ou à un tronçon.
- ✓ **La zone d'arrêt.** Elle subdivise un arrêt en zones, qui peuvent être un quai de bus, un carrefour... Une zone d'arrêt est assignée à un arrêt précis et peut regrouper plusieurs points d'arrêts. Les zones d'arrêts sont reliées entre elles par une matrice de transition qui contient des temps de marche à pied de transition pour chaque système de transport.
- ✓ **Le point d'arrêt.** Il rend compte de l'arrêt commercial des lignes TC.

Figure 23 : Modélisation d'un arrêt TC



Source : Manuel de l'utilisateur DaVISUM

Tous les arrêts du réseau TCL ou départemental ont été traités pour permettre les correspondances entre les modes de transports collectifs. Quatre modes ont été définis : bus et navette, tramway, métro et funiculaire, train. Ce dernier mode n'est toutefois pas activé dans la version actuelle. Les pénalités de correspondances sont traitées à travers deux paramètres :

Une pénalité de correspondance entre modes de transport (Temps spécifique de correspondances MaP entre systèmes de transports aux arrêts dans la terminologie DAVISUM) qui est indépendante du temps de marche à pied effectif pour aller d'un point d'arrêt à un autre. DAVISUM permet de moduler ces pénalités au niveau de chaque arrêt. Suivant notre logique de codification automatique, nous avons préféré dans un premier temps retenir une valeur unique pour tous les arrêts. Les valeurs retenues résultent du calage du réseau (Tableau 23) ;

Tableau 23 : Temps spécifiques de correspondances MaP entre systèmes de transports aux arrêts (en minutes)

	Métro Funiculaire	Tramway	Bus Navette
Métro Funiculaire	+ 0'	+ 1'	+ 2'
Tramway	+ 1'	+ 1'	+ 2'
Bus Navette	+ 2'	+ 2'	+ 4'

Source : Traitement LET

Un temps de marche à pied entre les zones d'arrêts internes à un arrêt qui est fourni sous une forme matricielle. Il est également possible d'attribuer un temps de marche pour une correspondance au sein d'une même zone d'arrêt. De nouveau DAVISUM permet de moduler ces temps au niveau de chaque arrêt. L'analyse du réseau nous a conduit à retenir quelques cas types en fonction de la taille du nœud de correspondance.

Le mode de calcul du temps dépend du choix de la méthode d'affectation. Deux options sont disponibles sous DAVISUM :

- ✓ **Affectation à la cadence.** Cette affectation « tient compte du réseau de lignes et utilise les horaires uniquement pour déterminer les temps d'attente moyens »¹³. C'est le mode d'affectation recommandé par PTV pour les réseaux urbains pour lesquels on dispose d'un niveau de fréquence correct pour l'ensemble des lignes. Ce choix est également recommandé pour les études prospectives à moyen/long terme pour lesquels il est difficile de construire des horaires précis en situation de prévision. Dans cette affectation, un temps d'attente moyen, fonction de l'intervalle de passage, est calculé pour la prise de la première ligne et pour chacune des correspondances ;
- ✓ **Affectation à l'horaire.** A l'inverse de la précédente, cette affectation tient compte des horaires de passage. Cette affectation est recommandée lorsque la fréquence de passage devient faible voire très faible. Elle est particulièrement adaptée à la modélisation de réseaux départementaux ou régionaux pour lesquels les fréquences peuvent devenir extrêmement faibles. Il sera probablement nécessaire de considérer le passage à une affectation à l'horaire si l'on souhaite intégrer le réseau ferroviaire dans le futur. Dans ce cas, on considère que l'usager connaît les horaires et que les horaires sont respectés. L'usager n'a donc pas d'attente pour la première ligne de transports collectifs. En revanche, en correspondance, l'attente est calculée de manière « exacte » à partir des horaires de passage des lignes en correspondance.

La formulation finale de la fonction de temps généralisés permet une pondération des différents temps élémentaires composant un déplacement en transport collectif. L'estimation de ces pondérations résulte du calage du réseau de transports collectifs (Tableau 24).

¹³ Manuel de l'utilisateur DAVISUM (juin 2005) version 9.2. Pages 7-116

Tableau 24 : Fonction de temps généralisé

Temps élémentaire	Facteur de pondération
Temps en véhicule	1
Temps rabattement = temps de marche du connecteur à l'origine et à la destination + pénalité modale	1
Temps de correspondance (somme de la pénalité de correspondance et du temps de marche à pied)	1
Temps attente départ (demi intervalle entre deux passages)	2
Temps attente correspondance (demi intervalle entre deux passages)	2
Pénalité supplémentaire pour une rupture de charge	8 min

Source : Traitement LET

Le temps de rabattement sur le réseau comprend deux composantes :

- ✓ Le temps de marche à pied qui est défini par le connecteur de centroïde à l'origine et à la destination ;
- ✓ Une pénalité modale qui permet d'accroître l'attractivité des modes lourds. Le calage du réseau a permis de retenir les valeurs suivantes : 0 minute pour le métro, 2 minutes pour le tramway et 10 minutes pour le bus.

En plus des temps de correspondance, déjà présentés, il est possible d'ajouter une pénalité de rupture de charge à chacune des correspondances. Le calage du réseau a conduit à retenir une pénalité de 8 minutes qui traduit une préférence relative pour des trajets directs par rapport à des trajets avec correspondance.

4.2.3.5. Calage du réseau de transports collectifs

Ne disposant pas des données de charge des différentes lignes de transports collectifs pour 1999, nous avons comparé nos résultats avec les résultats du logiciel TERESE (SEMALY, 2000) développé par EGIS RAIL et appliqué sur l'agglomération lyonnaise. Nous avons considéré que ces résultats étaient proches de la « réalité » dans la mesure où EGIS RAIL a réalisé de nombreuses études sur l'agglomération lyonnaise avec le logiciel TERESE dont plusieurs prévisions de trafic qui ont généralement conduit à des résultats très satisfaisants (GESMAD, 2000).

Afin de renforcer la comparabilité des sorties des deux modèles (SIMBAD et TERESE), nous avons utilisé la matrice des déplacements transports collectifs 2001 d'EGIS RAIL¹⁴. Plusieurs tests ont été réalisés afin de caler les paramètres de la fonction de temps généralisé, ainsi que les matrices de pénalités de correspondance entre modes et les matrices de temps de marche à pied entre zones d'arrêt. Nous présentons les résultats avec les coefficients finaux fournis dans cette section (Tableau 25). Ils font apparaître des résultats proches de ceux produits par le logiciel TERESE à la fois sur le plan de la répartition entre les modes de transports collectifs et sur celui de la charge des axes lourds. Il n'est donc pas nécessaire de chercher à affiner ce calage dans la mesure où l'analyse devra être reprise lors du calage en dynamique de l'ensemble des modules de SIMBAD.

¹⁴ Cette matrice 2001 est issue des enquêtes origines-destinations réalisées sur le réseau des Transports en Commun Lyonnais. Cette compilation des enquêtes étant un travail assez lourd, EGIS RAIL n'a pas produit de matrice en 1999. La matrice la plus proche est celle de 2001.

Tableau 25 : Résultats du calage du réseau de transports collectifs

		EGIS RAIL (TERESE)		SIMBAD (DAVISUM)	
		charge	%	charge	%
Nombre de déplacements	Matrice	217 296		217 296	
	Affecté	209 951		217 296	
Répartition modale	Bus	121 651	39,0	130 408	40,0
	Funiculaire	3 150	1,0	4 040	1,2
	Métro	155 369	49,4	157 670	48,4
	Tramway	34 582	11,0	33 676	10,3
	Total	314 752	100,0	325 794	100,0
Charges des principales lignes de transports collectifs	T1	17 750	4,25	15 298	4,70
	T2	16 832	5,35	18 378	5,64
	A	57 737	18,34	56 604	17,37
	B	28 839	9,16	34 238	10,51
	C	8 356	2,65	10 018	3,07
	D	60 437	19,20	56 810	17,44

Source : d'après TERESE, EGIS RAIL et DAVISUM-SIMBAD, LET

4.3. Conclusion : un double usage des résultats de l'affectation

Les résultats obtenus grâce à la procédure d'affectation sont destinés à un double usage.

Le premier consiste à boucler la chaîne SIMBAD en utilisant les temps d'accès interzones pour estimer les localisations des ménages et des établissements entrant ou déménageant dans l'aire urbaine de Lyon au cours de la période. Pour l'instant les indicateurs utilisés sont des indicateurs

d'accessibilité gravitaire simples, de forme $A_i = \sum_{j=0}^n \frac{O_j}{t_{ij}}$ (Cf. notamment §2.4 et §2.5). Ils sont

appliqués avec les temps calculés en heure de pointe et fournissent déjà de bons résultats. D'autres indicateurs pourront être testés, de type $A_i = \sum_{j=0}^n O_j e^{-\beta c_{ij}}$ (Hansen, 1959), où β traduit la sensibilité des échanges entre i et j par rapport au coût c_{ij} correspondant au temps généralisé estimé sous DAVISUM. Leur formulation apparaît en effet plus cohérente avec le cadre théorique utilisé dans nos modèles de localisation (Bonnaïfous, Masson, 2003 ; Raux et al., 2008).

Les résultats du modèle d'affectation ont également une seconde fonction. Ce sont essentiellement eux qui permettent d'estimer les indicateurs d'impact du système de transport sur les dimensions environnementales, économiques et sociales. C'est ici que la distinction des ménages en trois classes de revenus, modélisés séparément dans la chaîne transport, prend tout son sens. L'affectation « multi-classes » sous DAVISUM conserve l'information sur l'origine de chacune des matrices origines-destinations affectée sur les réseaux. Elle permet ainsi de savoir qui a fait quoi, et par exemple de disposer de ratios d'émissions unitaires des véhicules plus précis, ou de connaître les coûts des mobilités de chaque groupe de manière plus fine en fonction de leur revenu et leur localisation. De même, les calculs de temps généralisés du modèle d'affectation permettent d'établir les différentes accessibilités prévues pour rendre compte du service rendu par le système de transport (Cf. introduction générale).

Cependant, l'affectation multi-classes demande beaucoup plus de temps de calcul qu'une affectation simple. Pour éviter d'alourdir la procédure qui se répète 25 fois au cours d'une simulation, le choix a été fait de ne réaliser ce calcul qu'une fois tous les 5 ans. Le reste du temps, une affectation simple est établie avec une matrice TC et une matrice routière d'heure de pointe.

5. Conclusion : les pistes de développement

La plate-forme SIMBAD, telle qu'elle vient d'être présentée dans ce rapport, est aujourd'hui fonctionnelle. La philosophie générale du projet est brièvement rappelée en introduction du rapport, et elle est plus détaillée dans les rapports intermédiaires qui lui sont consacrés (Nicolas, Deymier, 2005 ; Verry, Nicolas, 2005 ; Nicolas, Morice, 2006). Les éléments plus techniques sur la prise en compte des simulations dans SIMBAD sont présentés au fil de ce rapport final. Les calculs peuvent maintenant être réalisés, et des scénarios peuvent être envisagés et testés (cf. §5.1.).

Cependant, même si chaque module est calé et fournit des résultats corrects, une consolidation de l'ensemble nous apparaît nécessaire avant de pouvoir produire des simulations susceptibles d'être analysées. Cette poursuite du travail autour de SIMBAD renvoie à plusieurs niveaux de projet, qui ne s'inscrivent pas dans les mêmes temporalités. Quelques commentaires peuvent être faits sur nos perspectives à court (§ 5.2), moyen (§ 5.3) et long terme (§ 5.4) pour le développement de la plate-forme.

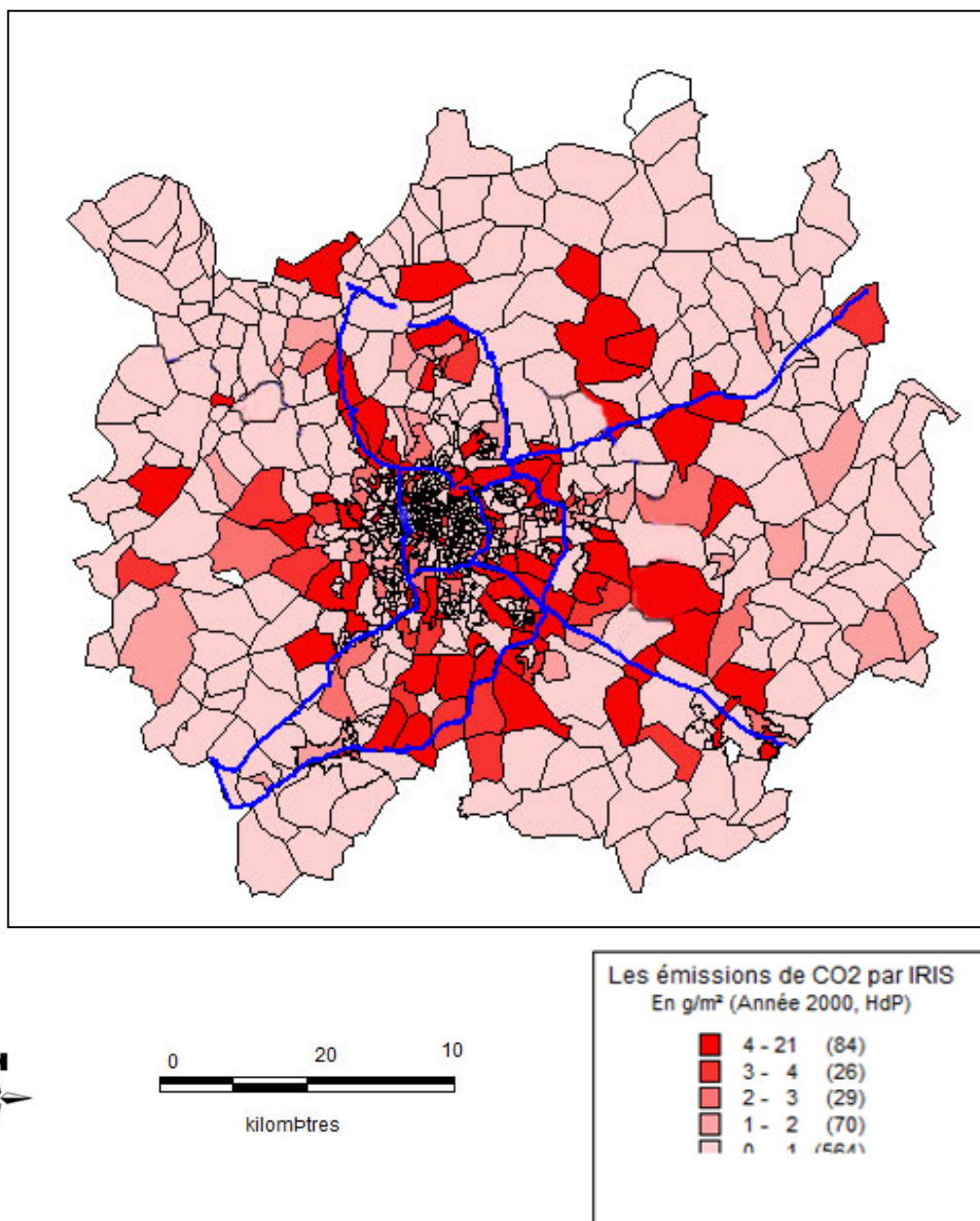
5.1. Des premiers résultats

L'intégration informatique de l'ensemble des modules de SIMBAD est maintenant réalisée (cf. annexe technique), sur la base des différentes réflexions et analyses présentées dans le corps de ce rapport. Les différents indicateurs économiques, environnementaux et sociaux définis au départ peuvent être calculés à partir des trafics estimés sur les réseaux routiers et transports collectifs établis sur l'aire urbaine, et leurs résultats peuvent être fournis de manière décomposée ou agrégée par type de matrice :

- route (VP/PL, transit-échange/trafic interne) / transports collectifs ;
- heure de pointe / heure creuse ;
- marchandises / personnes, avec une distinction suivant le revenu du ménage (aisé, médian, modeste) ;
- tous les 5 ans à ce niveau fin, pour chaque année à un niveau directement agrégé qui ne permet pas de calculer d'indicateur autre que les accessibilités.

Un exemple est fourni ci-dessous avec la carte des émissions de CO₂ obtenues à partir des trafics automobiles calculés pour une heure de pointe en 2000.

Carte 19 : Carte des émissions de CO₂ du trafic VP sur l'aire urbaine de Lyon (HdP, 2000)



Source : Traitement LET, Khelalef, 2009.

5.2. Renforcer les briques, un processus itératif qui se poursuit

De manière immédiate, le travail de consolidation de la plate-forme se poursuit sur plusieurs axes.

Le module des prix de l'immobilier fournit des résultats corrects. Il est cependant en cours de révision pour être mieux référencé d'un point de vue théorique et pour voir s'il n'est pas possible de mieux segmenter les prix de ce marché. N'utiliser comme indicateur que le prix du m² de logement collectif ancien apparaît peu satisfaisant, notamment lorsqu'il est utilisé comme variable explicative des localisations des établissements.

Le module de calcul du taux de motorisation des ménages est également en cours de révision. Basé sur un modèle logit calé sur 1999 (Cf. §3.2.1.), il est pour l'instant trop statique pour permettre de prendre en compte correctement des hypothèses d'évolution des niveaux de vie et des coûts de l'automobile ou des carburants.

Les indicateurs d'accessibilité utilisés aujourd'hui sont des indicateurs performants au sens où ils fournissent des résultats statistiquement satisfaisants. Mais, comme cela a été indiqué dans les conclusions des parties 2 (interactions transport et urbanisme) et 4 (phase d'affectation des déplacements), il sera intéressant d'introduire des indicateurs plus directement en lien avec la théorie économique qui sous-tend la modélisation que nous utilisons pour représenter les logiques de localisations. Ce travail pourra être réalisé une fois les modules précédents stabilisés.

Enfin, **un recalage global du modèle** devra également être fait pour prendre en compte dans les boucles les ajustements successifs réalisés sur les différents modules : les matrices origines-destinations étant modifiées, les indicateurs d'accessibilité évoluent et la modélisation des localisations doit être corrigée. Sans forcément répéter cette boucle indéfiniment, il sera nécessaire de la reprendre au moins une ou deux fois, en fonction de la convergence des résultats au fil des calages, et notamment des matrices de déplacements.

5.3. Adosser la plate-forme SIMBAD à une analyse sur une longue période

Wegener et Fürst (1999) ont largement souligné que les liens entre transports et urbanisme se nourrissent d'interactions aux temporalités très différentes, avec des adaptations quasi immédiates au niveau des déplacements eux-mêmes, des changements rapides pour la localisation des emplois et des ménages (4% des établissements et 11% des ménages déménagent chaque année), des évolutions plus lentes des bâtiments et de leur fonction (activité économique, logement), et une inscription territoriale séculaire des réseaux et de l'occupation des sols.

La plate-forme SIMBAD a pour l'instant été calée de manière statique à partir essentiellement des comportements constatés en 1999 pour les localisations et en 2006 pour les mobilités. Elle mériterait donc d'être renforcée par des analyses des dynamiques temporelles de long terme qui soient intégrées dans la modélisation à 4 étapes du système de transport et de ses interactions avec l'urbanisme. Quatre axes ont d'ores et déjà été identifiés sur ce thème. Certains sont en cours de développement, notamment grâce à des financements de thèse de la Région Rhône Alpes. D'autres vont pouvoir être lancés à partir des financements accordés par l'ADEME et la Direction de la Recherche et de l'Innovation du MEEDDM dans le cadre du PREDIT 4 :

- ✓ la modélisation des évolutions comportementales au sein du **modèle à 4 étapes appliqué sur une longue durée** ;
- ✓ un travail exploratoire pour proposer **un modèle de développement urbain** qui rende compte de manière correcte des évolutions de l'usage des sols sur l'aire urbaine de Lyon, en intégrant l'impact des réseaux et notamment du réseau routier ;
- ✓ un **calage temporel robuste des modules de localisation** des établissements et des ménages qui ont été mis en œuvre dans SIMBAD grâce à URBANSIM ;
- ✓ le **développement d'un modèle « Fer »** qui permet de prendre en compte les déplacements ferrés régionaux qui représentent un enjeu nouveau pour la période à venir.

Intégrer les évolutions comportementales dans le modèle transport à 4 étapes à partir de 20 ans de rétrospectives

Le parti pris méthodologique retenu lors de la codification des réseaux de référence pour 1999 pour les transports routiers et collectifs (Chapitre 4) permet de décliner les réseaux sur 20 ans car il

assure leur bonne reproductibilité. Ce travail est en cours dans le cadre de la thèse de Jorge Cabrera financée par la région Rhône-Alpes et soutenue par le PREDIT. Il doit déboucher avant fin 2009 sur la construction des réseaux routiers et de transports collectifs correspondants aux dates de réalisation des enquêtes ménages déplacements de l'agglomération lyonnaise (2006, 1995, 1986). La disposition de ces trois réseaux permettra de caler les différentes étapes du modèle transport pour chacune de ces dates, ce qui débouchera sur l'analyse de l'évolution des comportements.

La méthode utilisée sera celle de la décomposition des effets qui a été développée dans le cadre d'une précédente recherche PREDIT (Bonnell, 2000, Bonnell et al., 2003). L'objectif est ensuite de proposer des lois d'évolution des coefficients de calage afin de traduire les évolutions comportementales, même si nous sommes conscients que la disposition de 3 points d'observation seulement ne permettra pas une analyse très fine (nous envisageons un prolongement sur 1976, date de la première enquête ménages déplacements, mais le périmètre très restreint risque d'en limiter fortement l'apport).

Développer un module macroscopique de transition urbaine

Le module proposé dans URBANSIM pour prendre en compte l'évolution de l'urbanisation est apparu peu adapté aux données dont nous disposions lors de la première phase de notre projet (voir §2.2). Il reste cependant que la mise en œuvre d'un module de développement urbain constitue un enjeu fort pour la cohérence d'ensemble de SIMBAD.

Une piste intéressante serait de prolonger les résultats du modèle de Bussière. Basé sur le modèle de la ville monocentrique d'Alonso, ce modèle établit une bonne corrélation entre la distance au centre et la population cumulée. Cette courbe se déforme au cours du temps, mais reste toujours extrêmement bien corrélée à la distance au centre, à un facteur correctif près qui peut exprimer l'évolution générale des vitesses en périurbain (Bussière, 1972). Les travaux d'Eric Tabourin sur l'agglomération lyonnaise (Tabourin et al., 1995) renforcent encore ces résultats en montrant qu'à côté de la logique concentrique, les zones radiales autour des grands axes autoroutiers suivent la même « loi » mais avec une déformation liée à leur meilleure accessibilité au centre. De plus ses travaux portent la démonstration non seulement sur les populations et mais également sur les emplois.

Analyser les évolutions des logiques de localisation entre 1982 et 2006

Le premier travail de modélisation des localisations des ménages et des établissements réalisé dans le cadre de SIMBAD reste insuffisant malgré ses bons résultats. Il est resté statique, et ne suffit pas pour prendre en compte les évolutions comportementales susceptibles d'apparaître sur le long terme. Une analyse rétrospective des localisations mériterait d'être menée à partir des données INSEE des recensements de la population et des fichiers SIRENE de 1982, 1990, 1999 et 2005, complétées des données d'évolution des accessibilités fournies par le modèle de transport.

Intégrer les déplacements ferrés régionaux, un nouvel enjeu

Cette analyse des dynamiques temporelles pour la modélisation à 4 étapes du système de transport et de ses interactions avec l'urbanisme mérite d'être complétée par la prise en compte des possibilités de changements structurels futurs. Nous proposons pour l'instant d'en explorer un volet particulier à travers le développement du fer au niveau régional. En effet, dans le contexte actuel d'incertitude sur les prix à venir du pétrole d'une part, d'étalement urbain et de lutte contre l'effet de serre d'autre part, le développement de l'offre ferroviaire péri-urbaine apparaît de plus en plus comme un enjeu important de planification tant du système de transport que de l'aménagement des territoires. C'est le cas notamment sur l'aire métropolitaine lyonnaise où le projet REAL (Réseau Express de l'Aire urbaine Lyonnaise) devient un élément important de réflexion de l'Interscot

lyonnais. La prise en compte du fer dans la modélisation reste toutefois problématique dans la mesure où il s'agit tout à la fois d'un moyen de transport spécifique mais en même temps complémentaire des modes collectifs urbains et de la voiture (pour le rabattement sur les gares). Ce travail doit être réalisé dans le cadre d'une thèse qui débute en septembre 2009 et qui est financée par la région Rhône-Alpes en collaboration avec le service transport de la Région.

5.4.A plus long terme...

A plus long terme, d'autres évolutions peuvent être envisagées à l'intérieur de la plate-forme SIMBAD.

Les modules de transition d'URBANSIM présentent l'inconvénient de ne pas suivre les évolutions internes aux ménages et aux entreprises. Il n'y a pas de prise en compte de leur cycle de vie. Le modèle intègre des prévisions agrégées sur la population et les établissements (Cf. §2.2.), les compare à ses bases ménages et établissements, en crée de nouveaux dans les classes où il en manque et en détruit là où ils sont trop nombreux. L'introduction d'une approche plus dynamique, intégrant le cycle de vie des ménages et des établissements éviterait des destructions et créations artificielles, tout en conservant la mémoire de leurs caractéristiques passées qui n'auraient pas forcément bougé. Cela permettrait également de renforcer le caractère prédictif des modules de déménagement et de transfert.

Un tel travail pourrait faire l'objet d'un projet de recherche commun avec des démographes pour ce qui concerne les ménages ou des chercheurs en économie industrielle pour les établissements.

Autre exemple, du fait de ses objectifs en matière de développement durable, SIMBAD a une vocation multimodale. Il intègre pour l'instant les déplacements routiers (voiture particulière et transports de marchandises), les transports collectifs urbains et la marche à pied. La prise en compte du fer régional, qui représente un enjeu fort pour les politiques de transport des prochaines années, est en cours. Il serait également intéressant de réfléchir à la modélisation de modes alternatifs comme le vélo. Leur prise en compte est pertinente du point de vue de la thématique du développement durable ; elle représente par ailleurs un réel défi de modélisation car peu de travaux existent sur le sujet.

On voit ainsi que les déclinaisons à court, moyen et long termes autour du projet SIMBAD sont multiples. En ce sens, ce rapport final marque plus un début qu'une fin. La plate-forme SIMBAD a été réalisée et nous avons essayé de rendre compte au mieux de l'ensemble du travail de construction qu'elle a représenté. Elle fournit aujourd'hui un outil qui pourra continuer à se développer et proposer une réflexion centrée sur la pertinence des politiques de transport et d'urbanisme en matière de développement durable. Par ailleurs, d'un point de vue scientifique, elle représente une base qui permet de structurer de manière cohérente un ensemble de recherches pour les années qui viennent.

6. Annexe technique

Rédigée par
Philippe ZUCCARELLO, Informatique Innovation,
Florence TOILIER, LET-ENTPE

Sommaire de l'annexe technique

0. GLOSSAIRE	125
1. ARCHITECTURE TECHNIQUE DE SIMBAD	126
1.1 CONFIGURATION LOGICIELLE ET FORMATS D'ECHANGES	126
1.1.1 URBANSIM.....	127
1.1.2 PYTHON.....	127
1.1.3 ECLIPSE.....	127
1.1.4 MYSQL.....	130
1.1.5 FRETURB	131
1.1.6 DAVISUM.....	134
1.2 SCHEMA DE PRINCIPE.....	135
2. DONNEES NECESSAIRES ET ARCHITECTURE DES FICHIERS.....	137
2.1 PRINCIPAUX REPERTOIRES.....	137
2.1.1 REPERTOIRES RACINES.....	137
2.1.2 REPERTOIRES DATA.....	138
2.1.3 REPERTOIRES DATASETS	138
2.1.4 REPERTOIRES TESTS.....	138
2.1.5 REPERTOIRES TOOLS	139
2.2 DONNEES UTILISEES	140
2.2.1 TABLE ZONES	141
2.2.2 TABLE LYON_ZONE	141
2.2.3 TABLE GRIDCELLS	141
2.2.4 TABLE GRIDCELLS_EVO_NBLOGT_SHON.....	144
2.2.5 TABLE HOUSEHOLDS.....	145
2.2.6 TABLE DM_MENTYPE	146
2.2.7 TABLE DM_TX_REVENU	146
2.2.8 TABLE SIRENE99.....	146
2.2.9 TABLE TYPOACTITAILLE_TYPES	147
2.2.10 TABLE LIEN_NES36_APET700_99.....	147
2.2.11 TABLE LIEN_NES36_TAILLE_SHON_ETAB	148
2.2.12 TABLE DM_BOUCLE06_SIMB	148
2.2.13 TABLE DM_MEN06_SIMB	148
2.2.14 TABLE DM_PERS06_SIMB.....	149
2.2.15 TABLE TM_MAT_TG_SYN.....	151
2.2.16 TABLE TM_MAT_TG_VP	153
2.2.17 TABLE TM_MAT_TG_TC	153
2.2.18 TABLE TM_MAT_TG_MAP	153
2.2.19 TABLE TM_ZONES_ADJACENTES	154
2.2.20 TABLE TM_MAT_ATTRACTIONS	154
2.2.21 TABLE TM_MAT_CORDON_ART	154
2.2.22 TABLE TM_MAT_CORDON_VP	155

2.2.23	TABLE TM_MAT_CORDON_VUL	155
2.2.24	TABLE DM_MOTORISATION	155
2.2.25	TABLE PARAMFRETURB	155
2.2.26	VUE V_SIRENE99	155
2.2.27	VUE V_ZONE	156
2.2.28	VUE V_COORZONE	156
2.2.29	VUE V_DISTANCEOD777	156
2.2.30	VUE V_MAT_FRETURB_REPARTITION_HOR	157
2.2.31	TABLE ANNUAL_HOUSEHOLD_CONTROL_TOTALS	157
2.2.32	TABLE HOUSEHOLD_CHARACTERISTICS_FOR_HT	157
2.2.33	TABLE ANNUAL_RELOCATION_RATES_FOR_HOUSEHOLDS	157
2.2.34	TABLE ANNUAL_SIRENE99_CONTROL_TOTALS	158
2.2.35	TABLE SIRENE99_CHARACTERISTICS_FOR_HT	158
2.2.36	TABLE ANNUAL_RELOCATION_RATES_FOR_SIRENE99	158
2.2.37	TABLES HOUSEHOLD/SIRENE99_LOCATION_CHOICE_MODEL_SPECIFICATION	158
2.2.38	TABLES HOUSEHOLD/SIRENE99_LOCATION_CHOICE_MODEL_COEFFICIENTS	159
3.	L'APPLICATION SIMBAD/URBANSIM	159
3.1	CONFIGURATION DE L'APPLICATION SIMBAD	159
3.1.1	FICHER DE CONFIGURATION URBANSIM	159
3.1.2	FICHER DE CONFIGURATION SIMBAD	160
3.2	LES APPORTS DE SIMBAD A OPUS-URBANSIM	160
3.2.1	LES FICHIERS MODELES AJOUTES	160
3.2.2	LES FONCTIONS UTILITAIRES CREEES DANS SIMBAD	161
3.2.3	AJOUT / MODIFICATIONS DE MODULES	161
3.2.4	LE MODULE DE MOBILITE DES MARCHANDISES	173
3.2.5	LE MODULE D'AFFECTATION DU TRAFIC SUR LE RESEAU LYONNAIS A L'AIDE DE DAVISUM	176
4.	UTILISATION DE SIMBAD	186
4.1	CONFIGURER ET LANCER UNE ESTIMATION	186
4.1.1	ESTIMATION DES MENAGES	186
4.1.2	ESTIMATION DES ENTREPRISES	187
4.2	CONFIGURER ET LANCER UNE SIMULATION	189
4.3	EXPLOITATION DES DONNEES GENEREES PAR SIMBAD	189
4.3.1	LES DONNEES DAVISUM	189
4.3.2	LES DONNEES FRETURB	191
4.3.3	LES DONNEES DANS LE CACHE GENERE PAR URBANSIM	191
5.	DOCUMENTATION DU CODE SOURCE	194

0. Glossaire

Abréviation	Définition
SIMBAD	SI muler les Mo Bilités pour une Ag glomération D urable (SIMBAD)
DbDesigner	Outil de conception d'une base de données
Doxygen	Outil de génération d'une documentation de code source. http://www.doxygen.org/
R	Langage de programmation pour le traitement de données et l'analyse statistiques. http://www.r-project.org/
CVS	C oncurrent V ersions S ystem, permet la gestion et le stockage des fichiers sources sur le serveur letsim.let.fr . http://www.nongnu.org/cvs/
PyDev	Plug-in Eclipse pour le développement en langage Python. http://pydev.sourceforge.net/
IRIS	I lots R egroupés pour l' I nformation S tatistique
OLE	O bject L inking and E mbedded, est un concept de la société Microsoft permettant à une application de contenir des données d'une autre application en faisant abstraction de leur nature.
COM	C omponent O bject M odel, est une technologie objet de la société Microsoft permettant la communication et l'échange de données entre applications Windows. http://www.microsoft.com/com/default.mspx
ODBC	Open DataBase Connectivity

Pour produire des simulations sur l'évolution de la mobilité dans une agglomération telle que Lyon, l'application SIMBAD adapte et coordonne des modèles ou des logiciels déjà existants. Ainsi, les localisations sont traitées à l'aide d'OPUS – UrbanSim, les flux de marchandises par Freturb, et l'affectation du trafic par Davisum. Pour permettre à ces applications de dialoguer entre elles et d'utiliser les sources de données disponibles sur l'aire urbaine de Lyon et en France en général, des modules additionnels ont été conçus et mis en œuvre – essentiellement dans OPUS (Open Platform for Urban Simulation), application retenue pour piloter les autres.

Après une mise au point concernant les pré-requis techniques nécessaires pour faire fonctionner SIMBAD (§.1), une présentation détaillée de l'architecture et des données utilisées par le logiciel est fournie (§.2). L'agencement des différents modèles utilisés pour réaliser une simulation ainsi que leur logique de fonctionnement sont ensuite exposés (§.3). Enfin, la dernière partie fait un bilan de l'utilisation de la plateforme SIMBAD ainsi obtenue (§.4).

1. Architecture Technique de SIMBAD

1.1 Configuration logicielle et formats d'échanges

Pour assurer le fonctionnement de l'application SIMBAD, les logiciels suivants doivent être installés :

Logiciel	Version	Description
OPUS UrbanSim	4.1	Open Platform for Urban Simulation (OPUS). http://www.UrbanSim.org/ Version disponible depuis Octobre 2008. Pour l'installation, cf. guide téléchargeable à l'adresse : http://www.UrbanSim.org/opus/releases/latest-stable-release/docs/installation/
Python	2.5 ou ultérieure	Langage de développement des applications OPUS et SIMBAD. Le langage Python est placé sous une licence libre proche de la licence BSD et fonctionne sur la plupart des plates-formes informatiques, des supercalculateurs aux ordinateurs centraux, de Windows à Unix en passant par Linux et MacOS, avec Java ou encore .NET. Il est conçu pour optimiser la productivité des programmeurs en offrant des outils de haut niveau et une syntaxe simple à utiliser. http://www.python.org/
Eclipse	3.2	Environnement de développement intégré libre (IDE) extensible, universel et polyvalent permettant de créer des applications dans divers langages de programmation comme Java, C/C++, PHP, Python. Il permet la configuration et lancement de SIMBAD. Il contient un client CVS. http://www.eclipse.org/
MySQL	5.0 ou ultérieure	Base de données relationnelle en logiciel libre (open source) http://www.mysql.fr/
Freturb	3.0	Logiciel de simulation des flux de marchandises en ville. http://www.transports-marchandises-en-ville.org/rubrique.php?id_rubrique=54 Version développée spécialement en vue de son intégration dans SIMBAD. Ce logiciel utilise Microsoft Access.
Microsoft Access	2000	Logiciel de base de données de la société Microsoft.
Davisum	10.03	Logiciel d'analyse et prévision de trafic de la société PTV Vision. Il permet d'affecter les flux sur un réseau routier ou de transport public. http://www.francais.ptv.de/ptv-vision/davisum

1.1.1 UrbanSim

UrbanSim est un logiciel développé sous environnement OPUS afin de simuler l'évolution des localisations, des prix de l'immobilier, ou du développement urbain d'une agglomération. Il est fourni avec un jeu de données exemple, la base Eugene-Springfield, dont la structure a été reprise pour traiter les données lyonnaises.

1.1.2 Python

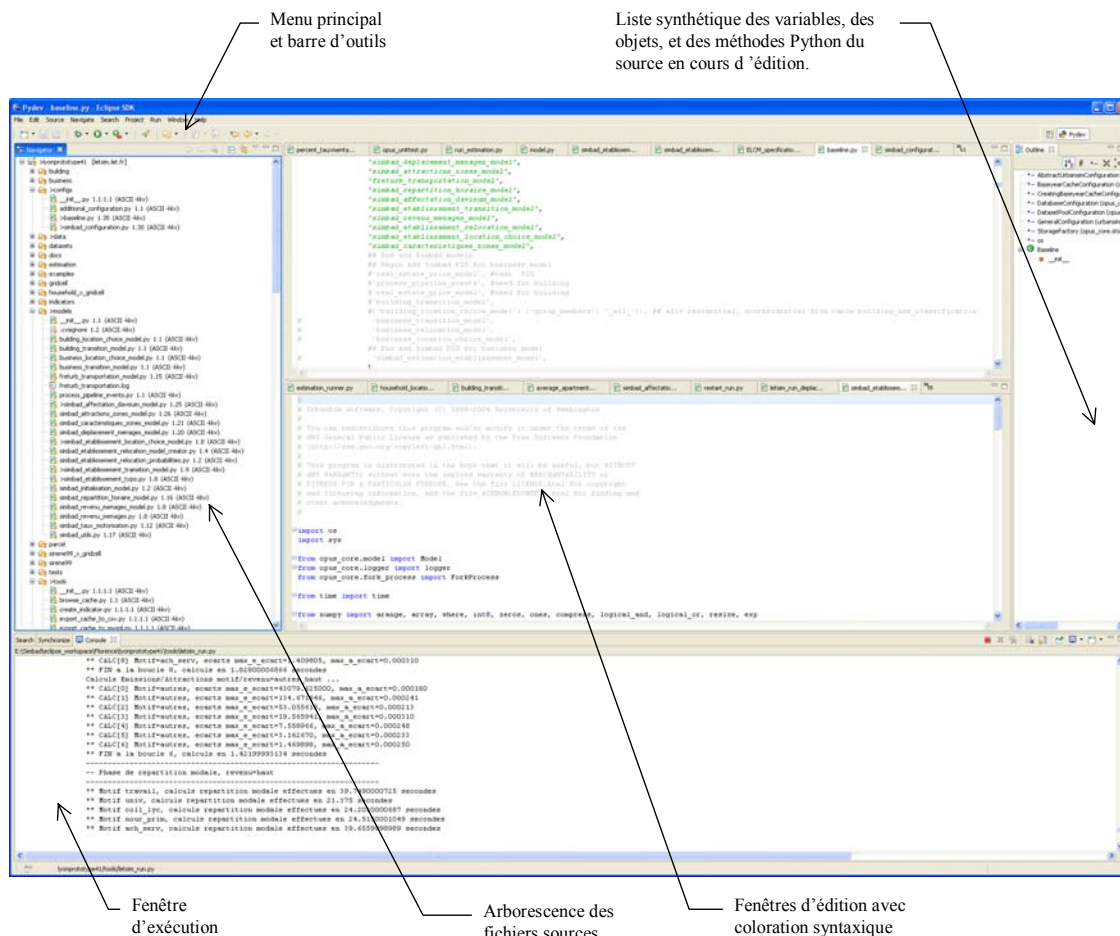
Opus – UrbanSim est développé en Python, un langage inventé au début des années 90 qui permet une programmation modulaire (notion de Package et Module) et objet (notion de Classe). En mode objet, on peut créer de nouvelles classes qui héritent des attributs (données) et des comportements (méthodes) des classes dont elles héritent. Ce langage présente bien d'autres intérêts qui ne seront pas développés dans ce document comme la gestion dynamique de la mémoire, la portabilité, la disponibilité d'un grand nombre de bibliothèques (réseau, Internet, base de données, mathématiques, graphiques ...).

1.1.3 Eclipse

Eclipse est un éditeur de code, on l'utilise pour modifier UrbanSim ou ajouter des modules sous Opus, compiler et exécuter le logiciel. Ce logiciel permet la gestion d'un projet de développement en langage Python grâce au plug-in PyDev.

Eclipse est doté d'une interface multifenêtres offrant des menus contextuels.

Environnement Eclipse

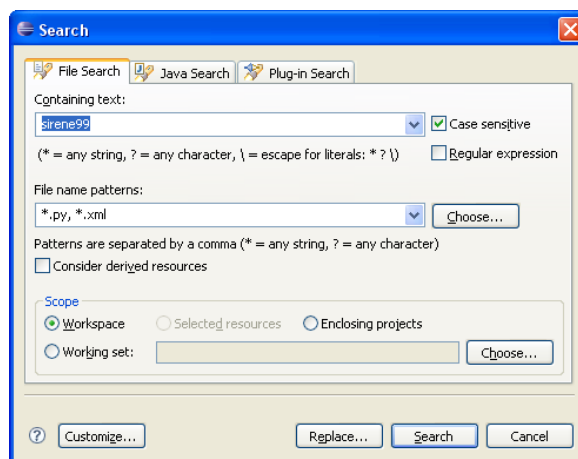


Les fichiers sources peuvent être affichés sous forme d'arborescence avec un filtre permettant d'ignorer les fichiers compilés (fichiers d'extension .pyc).

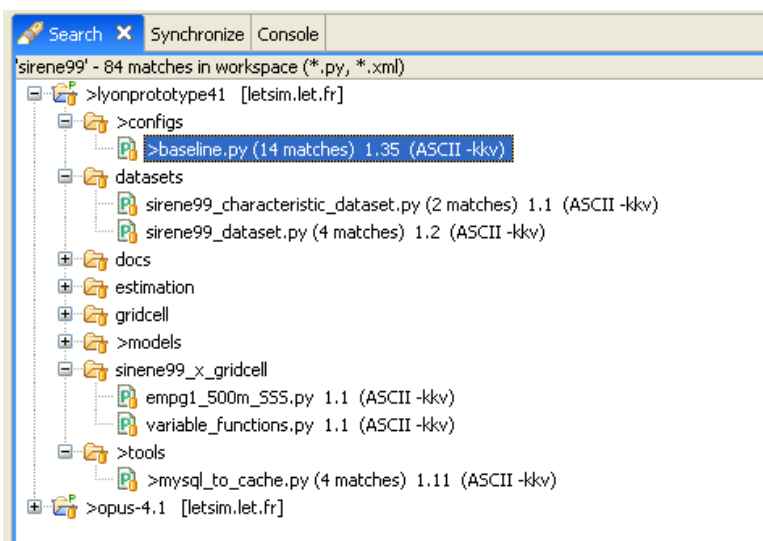
Les sources sont éditées avec coloration et analyse syntaxique, complétion, navigation vers la définition de la variable sélectionnée ou la classe parente.

Le logiciel offre également la possibilité de lancer des recherches évoluées sur l'ensemble des fichiers :

Exemple de recherche

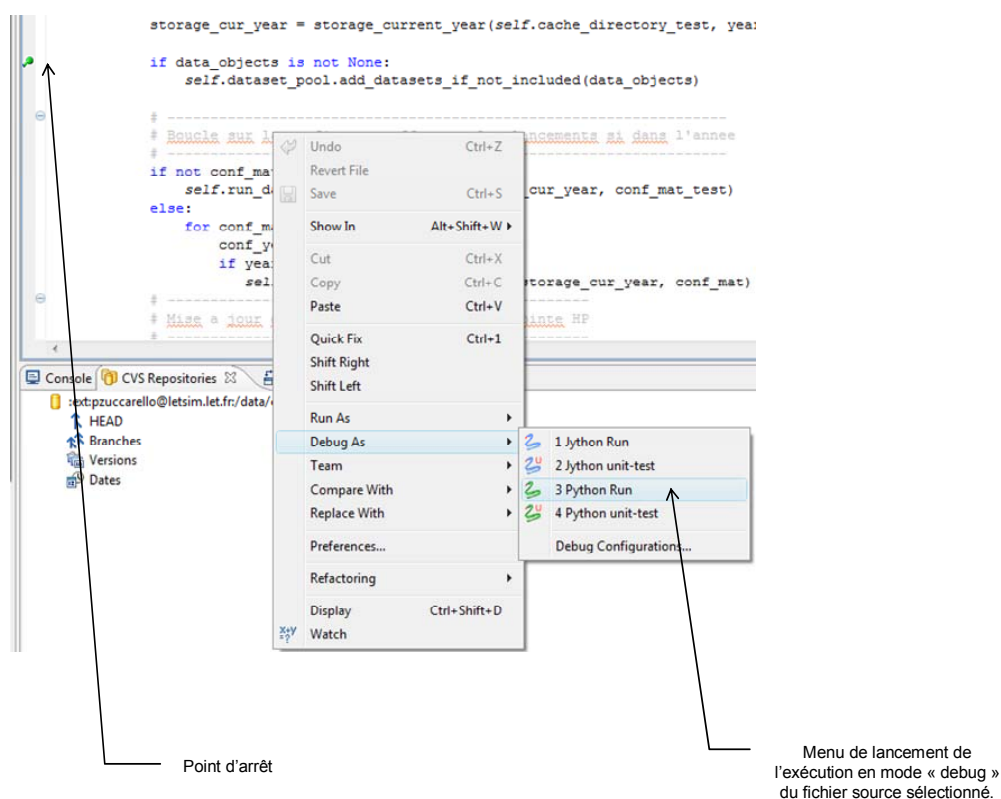


Résultat de la recherche

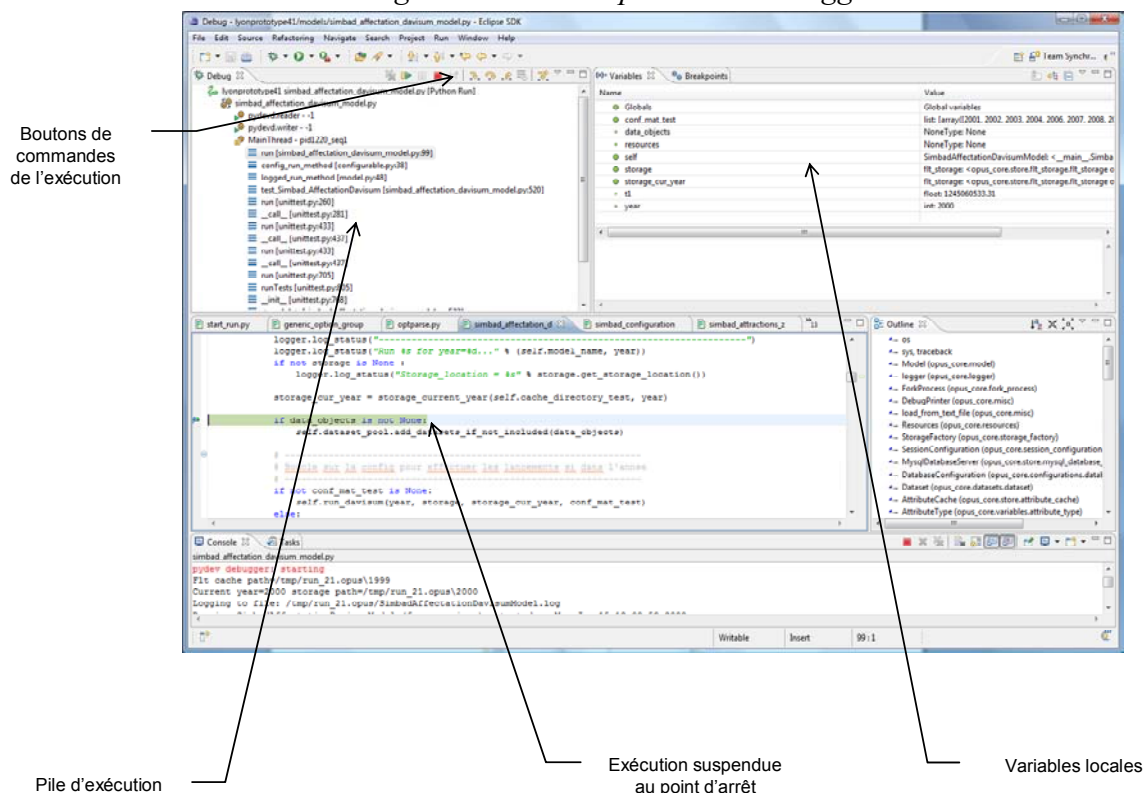


Il permet l'exécution et mise au point du code python en mode débogage (points d'arrêt, exécution pas à pas, affichage du contenu des variables) :

Exemple de lancement en mode « débogage »

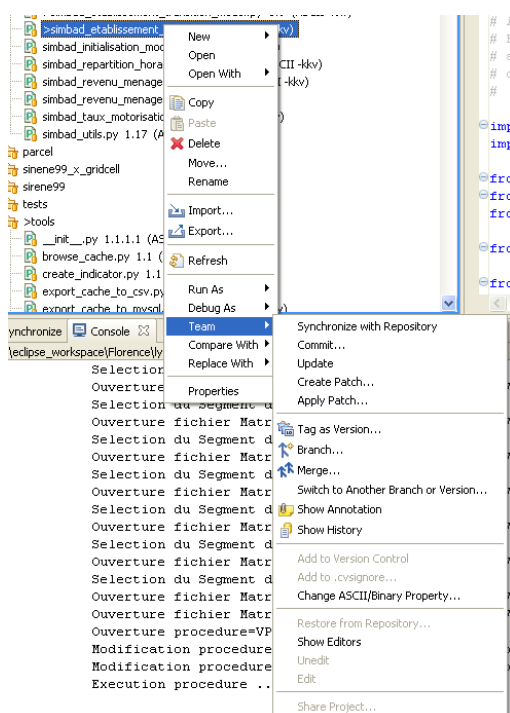


Programme interrompu dans le débogueur



Grâce à Eclipse, il est également possible de créer des liens avec CVS pour la gestion des différentes versions du logiciel stockées sur le serveur :

Liaison CVS



1.1.4 MySQL

MySQL est un système de gestion de bases de données. Il est utilisé pour réaliser toutes les opérations relatives aux données introduites dans SIMBAD – UrbanSim, ainsi que pour pouvoir exploiter les résultats produits par le logiciel. Ainsi, les données initiales de SIMBAD, fournies aux formats Excel, Paradox ou Access, sont-elles chargées dans la base de données MySQL à l'aide de scripts SQL ou bien directement pour les données Ms Access en utilisant le pilote ODBC de MySQL (MyOBDC).

Une fois toutes les données rassemblées dans MySQL, OPUS - UrbanSim les exporte dans un cache constitué d'une arborescence de fichiers ce qui permet d'une part un accès plus rapide aux données et d'autre part d'utiliser un format neutre¹. Le tableau suivant donne les équivalences du format de stockage des données entre une base MySQL et le cache produit par UrbanSim :

MySQL	Cache UrbanSim
Base de données	Répertoire racine du cache
Table	Sous répertoire portant le nom de la table
Attribut (ou champ)	Fichier portant le nom de l'attribut
Type de l'attribut	Extension du fichier de l'attribut
Enregistrements	Contenu du fichier

¹ Les données dites de format neutre permettent à Urbansim de travailler avec une structuration unique de type « à plat » (Flat), c'est-à-dire constituée d'une arborescence de répertoires (tables) et fichiers (attributs) sur disque.

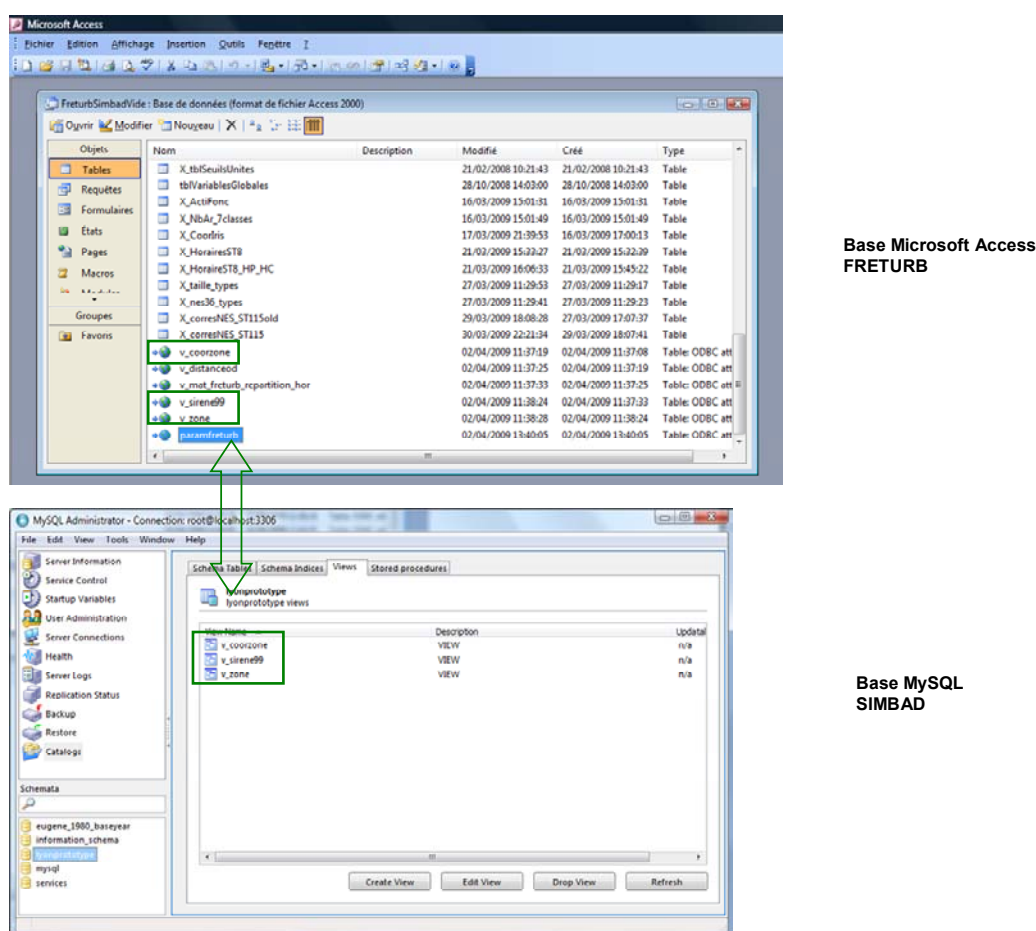
1.1.5 Freturb

Freturb est un logiciel développé par le LET et programmé avec Visual Basic pour Microsoft Access.

Il permet, à partir de la liste exhaustive des établissements économiques d'une agglomération, d'estimer les flux de marchandises qui résultent des échanges entre ces établissements. Ainsi, à partir des simulations sur la localisation des activités produites par Opus – UrbanSim, Freturb propose des matrices de flux Origine – Destination qui pourront être affectées sur le réseau viaire grâce à Davisum.

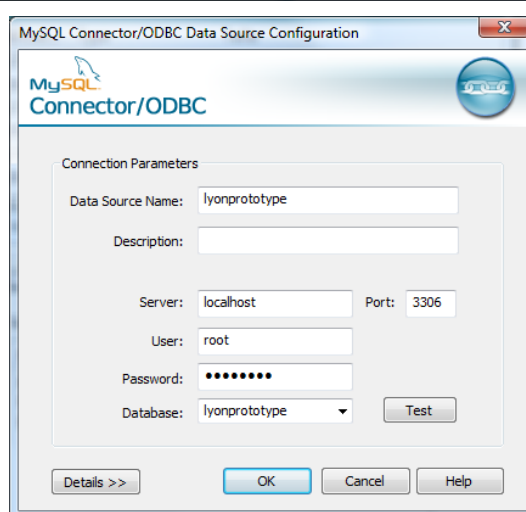
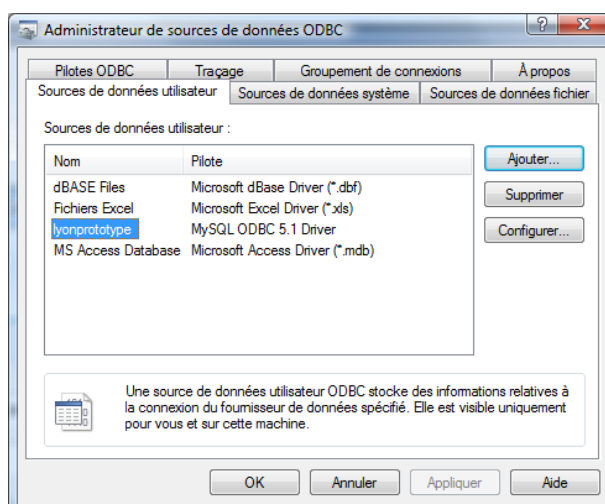
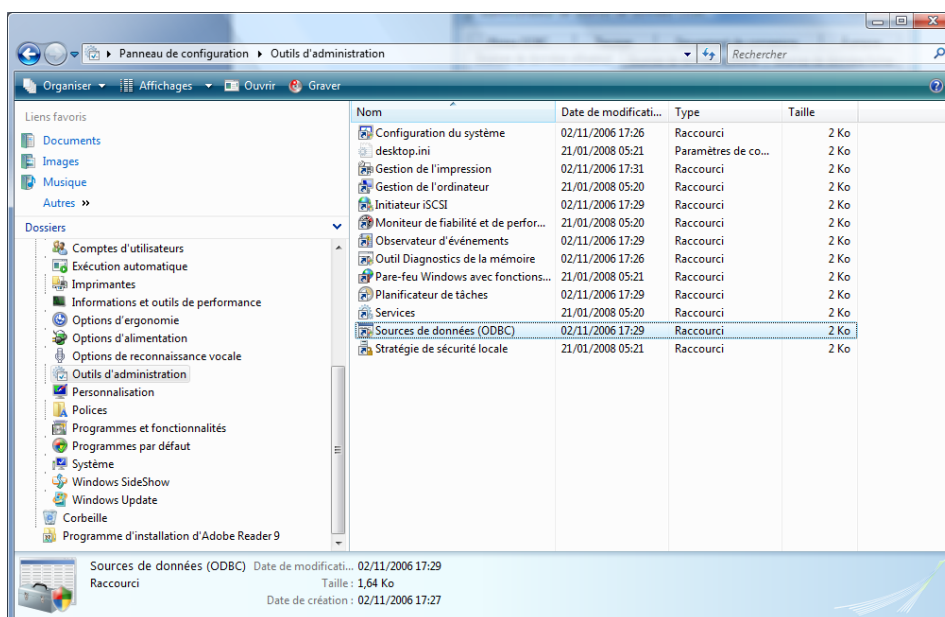
L'application Freturb est liée à l'application SIMBAD à l'aide de tables et des vues liées à la base MySQL via ODBC.

La liaison ODBC entre Access et MySQL



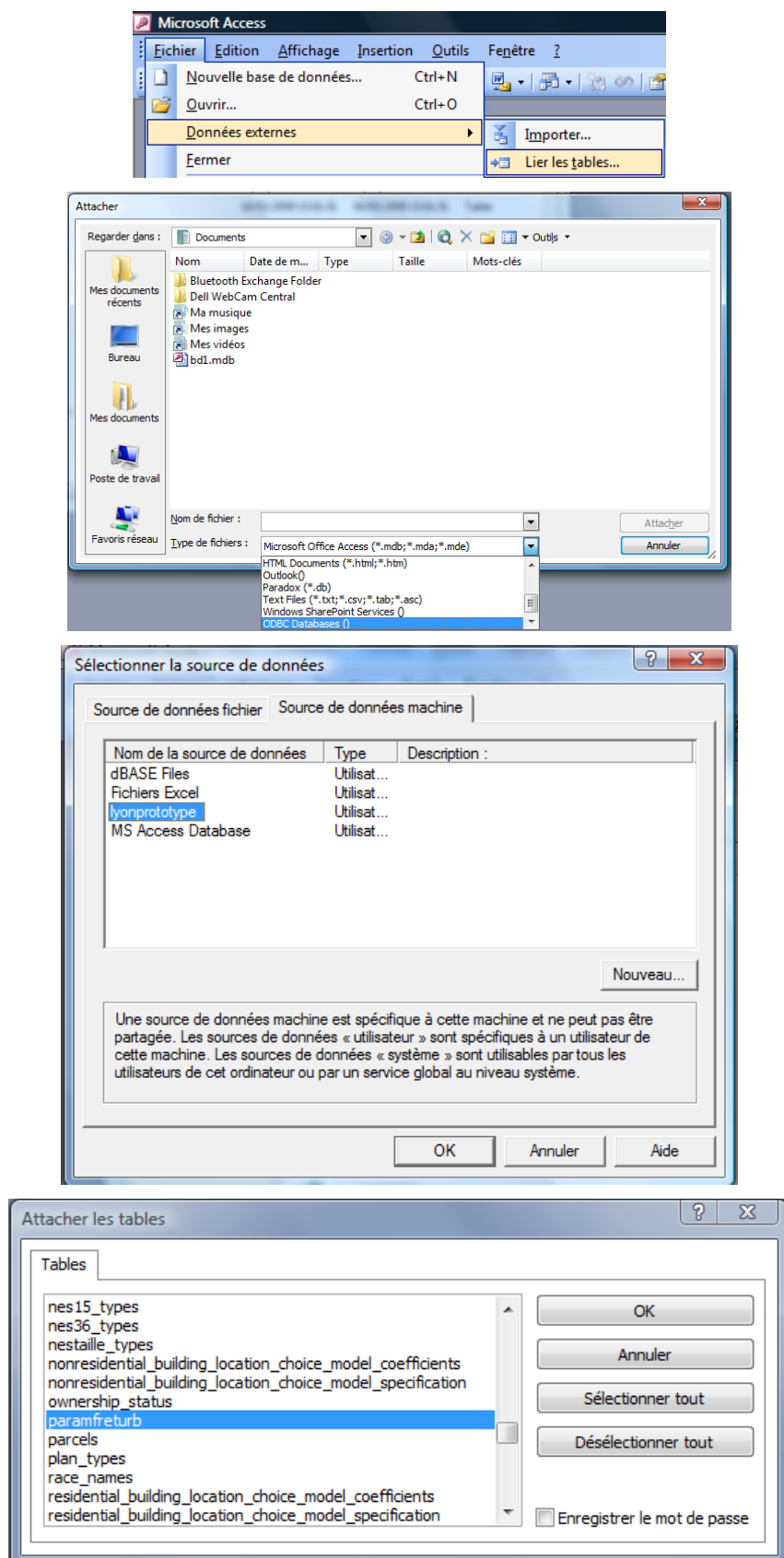
Ainsi, les modifications de données effectuées par Freturb au sein des tables liées sont disponibles dans MySQL. La gestion des sources de données ODBC est effectuée sur le poste à partir du Panneau de configuration / Outils d'administration / Source de données (ODBC) par l'ajout de la source de données « lyonprototype ».

Mise en place de la liaison ODBC



Lorsque la structure d'une table liée est modifiée dans MySQL, il est nécessaire de rafraîchir le lien dans Freturb en le supprimant et le re-crèant à partir du menu Fichier / Données externes / Lier les tables ...

Mise à jour de la liaison ODBC



1.1.6 Davisum

Davisum est un logiciel développé par la société PTV Vision dont les traitements peuvent être automatisés à l'aide de programmes qui utilisent l'interface OLE/COM de Microsoft.

Depuis l'application SIMBAD le logiciel Davisum est utilisé pour effectuer :

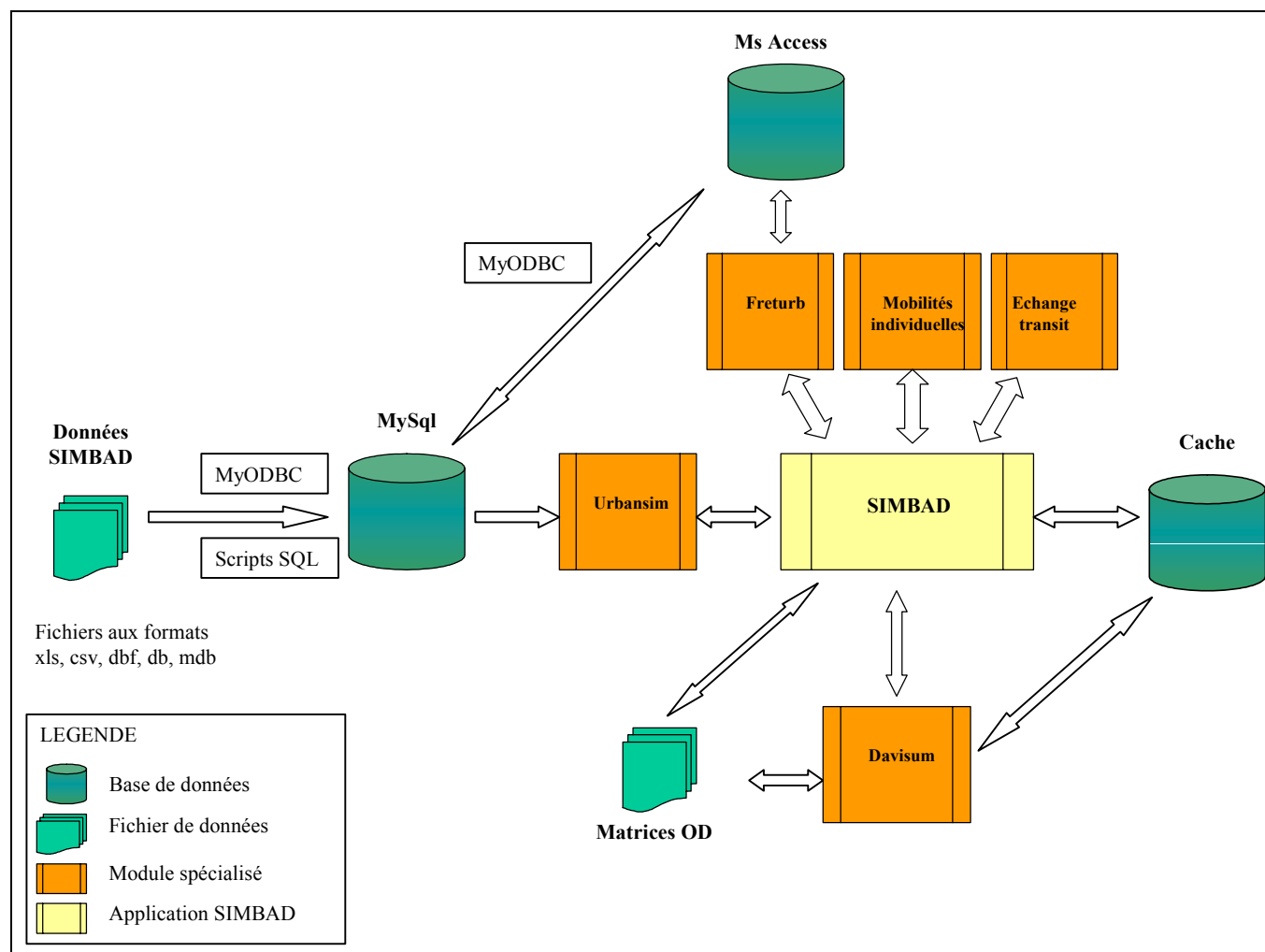
- l'affectation des flux d'échanges sur le réseau routier et le réseau de transports collectifs,
- le calcul des temps généralisés,
- la création des matrices d'indicateurs.

Davisum possède ses propres données qui constituent une cartographie de l'aire urbaine de Lyon découpée en 777 Zones (IRIS) et une numérisation des réseaux de transport routier et de transport en commun en entités de type tronçons. Afin de réaliser les calculs d'affectation de la charge du réseau et de calculer les temps d'échanges entre zones, Davisum a besoin en entrée d'un ensemble de matrices de demande représentant le flux de chaque mode de transport (voitures particulières, VUL et PL, transports collectifs) et ce pour chaque classe de revenu (bas, moyen, haut). A partir des données issues des bases du ménage, cordon et de Freturb, l'application SIMBAD génère les matrices de demande sous la forme de fichiers ascii dans le format attendu par le logiciel Davisum (fichiers mtx). Un exemple de ces transferts de données entre avec Davisum est donné au chapitre 4.3.1.

1.2 Schéma de principe

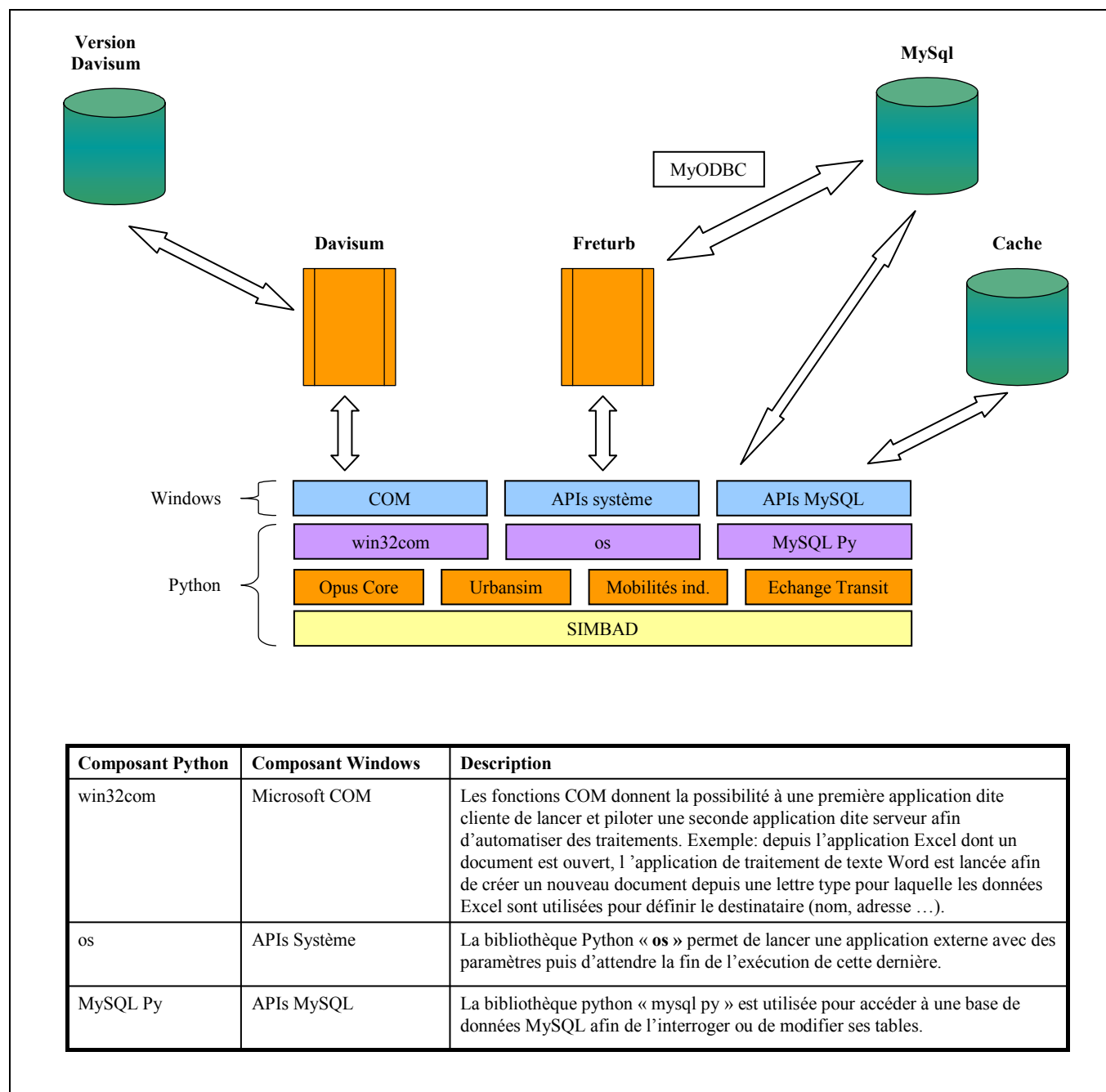
L'application SIMBAD est bâtie à partir des logiciels présentés précédemment et réalise l'enchaînement des fonctionnalités que chacun d'eux possède tout en gérant l'échange des données nécessaires, ces dernières étant centralisées dans la base de données MySQL.

Articulation des logiciels à partir de SIMBAD



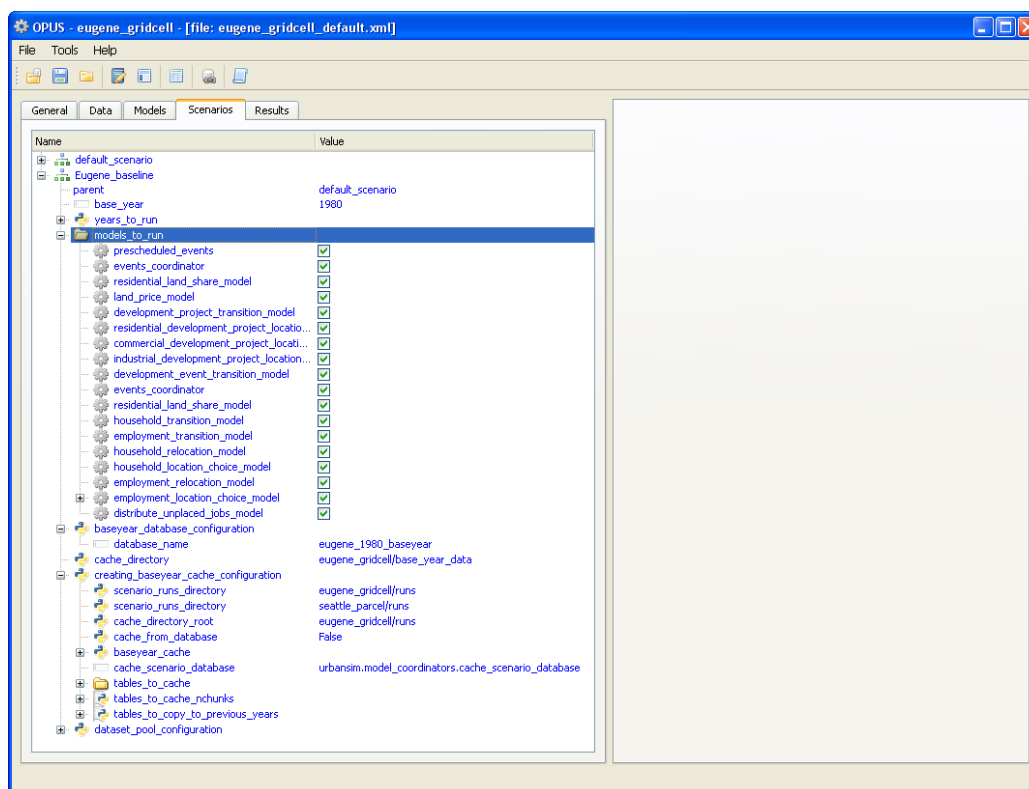
L'application SIMBAD est au centre des autres applications dont deux sont externes : Freturb et Davisum. Le schéma suivant présente les composants logiciels mis en œuvre afin de réaliser l'interface de lancement des logiciels et l'accès aux données.

Imbrication des composants logiciels



Depuis le lancement du projet SIMBAD et la mise en place du cadre logiciel, une nouvelle version d'UrbanSim a été mise en service. La migration de SIMBAD sous UrbanSim 4.2 est prévue afin de bénéficier des dernières nouveautés comme par exemple la nouvelle interface utilisateur permettant de configurer et gérer le lancement des principaux modules d'UrbanSim (estimations, simulations, indicateurs).

Ergonomie de UrbanSim 4.2



2. Données nécessaires et architecture des fichiers

2.1 Principaux répertoires

2.1.1 Répertoires racines

A partir de l'application Eugene fournie en exemple dans le tutoriel d'UrbanSim, le répertoire principal (ou Package dans langage Python) **lyonprototype41** a été créé – 41 indiquant la version UrbanSim utilisée.

Pour l'application SIMBAD les packages nécessaires sont :

lyonprototype41	Application SIMBAD.
urbansim	Application Urbansim.
opus_core	Noyau des fonctions génériques.
Python251\lib	Bibliothèques Python

Chaque package contient des sous répertoires qui sont décrits dans le restant de ce chapitre.

2.1.2 Répertoires data

Les sous répertoires contiennent les données initiales sous formes de fichiers ainsi que des scripts permettant leur chargement dans la base de données MySQL.

2.1.3 Répertoires datasets

Comme indiqué dans la partie 1, les données sont chargées dans le cache pour une plus grande rapidité de traitement. Un **dataset** est équivalent à la définition d'une table de données, comme par exemple la table des zones ou des ménages ; dans les packages on trouve un répertoire **datasets** qui rassemble ces définitions. Dans l'implémentation d'Urbansim en langage Python, ces données sont organisées en sets de données (collection) qui présentent l'intérêt de récupérer les informations des tables ainsi que les comportements (méthodes) des classe(s) dont elles héritent. Ainsi, par exemple dans le cas des ménages, le nom de la classe est **HouseholdDataset** qui hérite de la classe générique **Dataset**.

`class HouseholdDataset(UrbanSimDataset)`, `UrbanSimDataset` est l'équivalent de la classe générique **Dataset**.

L'héritage est le suivant :

```
Object
  Dataset (opus_core.dataset)
    Dataset (urbanSim.datasets.dataset)
      HouseholdDataset (urbanSim.datasets.dataset)
```

Classes	Source
<code>class Dataset(object):</code>	opus_core\dataset.py
<code>from opus_core.dataset import Dataset as CoreDataset</code>	urbanSim\datasets\dataset.py
<code>class Dataset(CoreDataset):</code>	
<code>from urbanSim.datasets.dataset import Dataset as UrbanSimDataset</code> ...	urbanSim\datasets\households.py
<code>class HouseholdDataset(UrbanSimDataset)</code>	

2.1.4 Répertoires tests

Chacun des packages **opus_core** et **urbansim** contient un répertoire **tests** contenant des scripts Python de tests unitaires pour éprouver et valider le code créé pour réaliser l'application. Tout particulièrement le script [UrbanSim\tests\all_tests.py](#) permet de dérouler tous les tests unitaires d'Urbansim ; cela revient à exécuter tous les fichiers `test_*.py` du répertoire. Après l'installation de l'application, le script **all_tests.py** permet de vérifier que le bon fonctionnement de celle-ci.

2.1.5 Répertoires tools

Dans le cadre de l'utilisation de l'application SIMBAD les principaux outils disponibles sont :

[opus_core\tools.](#)

`opus_control_center.py`

Interface graphique de gestion de lancement d'une simulation.

[UrbanSim\tools](#)

`restart_run.py`

Script pour relancer une simulation qui a déjà été effectuée auparavant, les données du cache sont alors réutilisées. Dans les paramètres de lancement, il faut indiquer :

- le numéro de la simulation (à chaque nouvelle simulation est associé un numéro)
- l'année de départ de la simulation qui peut donc être une année supérieure à la première.

[lyonprototype41\tools](#)

`letsim_run.py`

Programme de lancement d'une simulation SIMBAD.

`mysql_to_cache.py`

Mise en cache des données MySql dans le répertoire %TEMP%\Opus.

`export_cache_to_mysql.py`

Utilitaire de conversion des données du cache vers une base de données MySQL.

`export_cache_to_csv.py`

Utilitaire de conversion des données du cache vers des fichiers au format CSV, génère un fichier par table.

2.2 Données utilisées

Ce chapitre présente la liste des principales tables nécessaires au fonctionnement de SIMBAD. Elles sont extraites de MySQL vers le cache en appelant la variable **tables_to_cache** :

```
tables_to_cache = [
    'annual_employment_control_totals',
    'annual_household_control_totals',
    'buildings',
    'building_types',
    'development_event_history',
    'gridcells',
    'gridcells_evo_nblogt_shon',
    'households',
    'job_building_types',
    'jobs',
    'travel_data',
    'zones',
    ...
    'sirene99',
    'sirene99_characteristics_for_ht',
    'annual_sirene99_control_totals',
    'sirene99_emploi_2000_2025',
    'typoactitaille_types',
    'nes15_types',
    'nes36_types',
    'taille_types',
    'nestaille_types',
    'lien_nes36_apet700_99',
    'lien_nes36_taille_shon_etab',
    'annual_relocation_rates_for_sirene99',
    'simbad_etablissement_location_choice_model_specification',
    'simbad_etablissement_location_choice_model_coefficients',
    'dm_boucle06_simb',
    'dm_men06_simb',
    'dm_mentype', # table de liaison dm_men06_simb / households
    'dm_pers06_simb',
    'lyon_zone',
    ## Ajout pour modele attractions
    'tm_mat_tg_syn',
    'tm_mat_tg_vp',
    'tm_mat_tg_tc',
    'tm_mat_tg_map',
    'tm_zones_adjacentes',
    'tm_mat_attractions',
    'tm_calc_e',
    'tm_calc_a',
    'tm_mat_cordon_art',
    'tm_mat_cordon_vp',
    'tm_mat_cordon_vul',
    ## Ajout pour modele repartition horaire
    ## Ajout pour modele motorisation
    'dm_motorisation',
    'dm_tx_revenu',
]
```

Tables Urbansim

Tables SIMBAD

La structure de ces tables est indiquée dans les pages qui suivent, tout comme celle des vues utilisées pour transmettre les données relatives aux établissements dans un format lisible par Freturb.

2.2.1 Table zones

L'espace urbain de l'agglomération lyonnaise est divisé en 777 IRIS définis dans la table zones.

Nom de la colonne	Type de Données	Clé primaire	Non Null	Flags	Valeur par défaut	Commentaire	Numérotation automatique
zone_id	INTEGER		NN			Numéro unique d'identification.	

2.2.2 Table lyon_zone

La table lyon_zone est complémentaire à la table zones décrite auparavant et contient 777 zones + 10 zones d'échange extérieurs.

Nom de la colonne	Type de Données	Clé primaire	Non Null	Flags	Valeur par défaut	Commentaire	Numérotation automatique
zone_id	INTEGER	PK				Identifiant unique de la zone.	
lyon_zone_id	INTEGER					Numéro de l'IRIS	
dist_to_cbd	INTEGER		NN			Distance au centre (prefecture)	
time_to_cbd	DOUBLE		NN			Temps d'accès au centre	
lyon_code_iris	INTEGER		NN			Code de l'IRIS 1-777 ou 901-910 pour zones extérieures.	
zone34	INTEGER		NN			Code 1-34 de découpage en 34 macro-zones.	
couronne	TEXT		NN			Couronne C1 à C4.	
libcom	INTEGER		NN			Libellé commune.	
surface	FLOAT		NN			Surface en km²	
population	FLOAT		NN			Population	
coorx	FLOAT		NN			Coordonnées en X	
coordy	FLOAT		NN			Coordonnées en Y	
surfurb	FLOAT		NN			Surface urbanisée	

IndexName	IndexType	Columns
PRIMARY	PRIMARY	zone_id
IDX1_lyon_zone	Index	lyon_zone_id

2.2.3 Table gridcells

Les 777 IRIS de l'agglomération lyonnaise étant découpés en 52822 cellules ayant chacune une surface de 250 m², voici la table qui en présente les caractéristiques.

Nom de la colonne	Type de Données	Clé primaire	Non Null	Flags	Valeur par défaut	Commentaire	Numérotation automatique
grid_id	INTEGER		NN			Numéro unique d'identification	
residential_units	INTEGER		NN			Nombre de logements disponibles	
zone_id	INTEGER		NN			Numéro de la Zone associée	
LOGTTOTAL	DOUBLE		NN				
LNLOGT	DOUBLE		NN				
DENSPOP	DOUBLE		NN			Densité de la population	
TPSCTRP	DOUBLE		NN			Temps au centre en voiture	
TAUXMENPRAGE1	DOUBLE		NN			Proportion de ménages dont le chef a entre 0 et 29 ans	
TAUXMENPRAGE2	DOUBLE		NN			Proportion de ménages dont le chef a entre 30 et 44 ans	
TAUXMENPRAGE3	DOUBLE		NN			Proportion de ménages dont le chef a entre 45 et 59 ans	
TAUXMENPRAGE4	DOUBLE		NN			Proportion de ménages dont le chef a entre 60 et 74 ans	
TAUXMENPRAGE5	DOUBLE		NN			Proportion de ménages dont le chef a plus de 75 ans	
TAUXMENTAILLE1	DOUBLE		NN			Proportion de ménages de 1 personne	
TAUXMENTAILLE2	DOUBLE		NN			Proportion de ménages de 2 personnes	
TAUXMENTAILLE3	DOUBLE		NN			Proportion de ménages de 3	

			personnes
TAUXMENTAILLE4	DOUBLE	NN	Proportion de ménages de 4 personnes
TAUXMENTAILLE5	DOUBLE		Proportion de ménages de 5 personnes ou plus
TAUXMENREV1	DOUBLE	NN	Proportion de ménages dont le revenu est bas
TAUXMENREV3	DOUBLE	NN	Proportion de ménages dont le revenu est haut
DENSPOPC	INTEGER	NN	
nbechangeurs15min	INTEGER	NN	Nombre d'échangeurs dans un rayon de 15 minutes
nbarbus1000m	INTEGER	NN	Nombre d'arêts de bus dans un rayon de 1000 mètres
nbstmetro1000m	INTEGER	NN	Nombre de stations de métro dans un rayon de 1000 mètres
nbgares30min	INTEGER	NN	Nombre de gares dans un rayon de 30 minutes
tempsechang	DOUBLE	NN	Temps d'accès à l'échangeur le plus proche (en minutes)
tempsgare	DOUBLE	NN	Temps d'accès à la gare la plus proche (en minutes)
acgrgrcom	DOUBLE	NN	Coefficient d'accessibilité gravitaire aux grands commerces
acgretsec	DOUBLE	NN	Coefficient d'accessibilité gravitaire aux établissements secondaires
acgremp1	DOUBLE	NN	Coefficient d'accessibilité gravitaire à l'emploi
acgremp1tert	DOUBLE	NN	Coefficient d'accessibilité gravitaire à l'emploi tertiaire
INDACCAGR	DOUBLE	NN	Indicateur d'accessibilité gravitaire
cellule_habitat	INTEGER	NN	Valeur à 1 si la cellule comporte des logements, sinon 0
cellule_urbanisee	INTEGER	NN	Valeur à 1 si la cellule est urbanisée (logements ou activités économiques), sinon 0
IRIS	DOUBLE	NN	Numéro de l'IRIS de la zone
EMPG1_500M	DOUBLE		Nombre d'emplois du groupe 1 dans un rayon de 500 mètres
EMPG2_500M	DOUBLE		Nombre d'emplois du groupe 2 dans un rayon de 500 mètres
EMPTOT_500M	DOUBLE		Emploi total dans un rayon de 500 mètres
EMPG1_1000M	DOUBLE		Nombre d'emplois du groupe 1 dans un rayon de 1000 mètres
EMPG2_1000M	DOUBLE		Nombre d'emplois du groupe 2 dans un rayon de 1000 mètres
EMPTOT_1000M	DOUBLE		Emploi total dans un rayon de 1000 mètres
EMPG1_10MIN	DOUBLE		Nombre d'emplois du groupe 1 dans un rayon de 10 minutes
EMPG2_10MIN	DOUBLE		Nombre d'emplois du groupe 2 dans un rayon de 10 minutes
EMPTOT_10MIN	DOUBLE		Emploi total dans un rayon de 10 minutes
EMPG1_15MIN	DOUBLE		Nombre d'emplois du groupe 1 dans un rayon de 15 minutes
EMPG2_15MIN	DOUBLE		Nombre d'emplois du groupe 2 dans un rayon de 15 minutes
EMPTOT_15MIN	DOUBLE		Emploi total dans un rayon de 15 minutes
EMPG1_20MIN	DOUBLE		Nombre d'emplois du groupe 1 dans un rayon de 20 minutes
EMPG2_20MIN	DOUBLE		Nombre d'emplois du groupe 2 dans un rayon de 20 minutes
EMPTOT_20MIN	DOUBLE		Emploi total dans un rayon de 20 minutes
EMPG1_30MIN	DOUBLE		Nombre d'emplois du groupe 1 dans un rayon de 30 minutes

EMPG2_30MIN	DOUBLE	Nombre d'emplois du groupe 2 dans un rayon de 30 minutes
EMPTOT_30MIN	DOUBLE	Emploi total dans un rayon de 30 minutes
PROXIMATE_G1	DOUBLE	Nombre d'établissements du groupe 1 dans l'IRIS
PROXIMATE_G2	DOUBLE	Nombre d'établissements du groupe 2 dans l'IRIS
TAUXZACTI	DOUBLE	% de surface dédiée aux zones d'activité dans l'IRIS par rapport à la surface totale de l'IRIS
EMPLOI_G1	DOUBLE	Nombre d'emplois du groupe 1
EMPLOI_G2	DOUBLE	Nombre d'emplois du groupe 2
NBEMPLOIS	DOUBLE	Nombre d'emplois total
POP_500M	DOUBLE	Population dans un rayon de 500 mètres
POP_1000M	DOUBLE	Population dans un rayon de 1000 mètres
POP_5MIN	DOUBLE	Population dans un rayon de 5 minutes
POP10MIN	INTEGER	Population dans un rayon de 10 minutes
POP_15MIN	DOUBLE	Population dans un rayon de 15 minutes
POP20MIN	INTEGER	Population dans un rayon de 20 minutes
POP30MIN	INTEGER	Population dans un rayon de 30 minutes
POPULATION	INTEGER	Population
NBLignesBus	INTEGER	Nombre de lignes de bus
NBLignesBus10MIN	INTEGER	Nombre de lignes de bus dans un rayon de 10 minutes
NBLignesBus20MIN	INTEGER	Nombre de lignes de bus dans un rayon de 20 minutes
NBLignesBus30MIN	INTEGER	Nombre de lignes de bus dans un rayon de 30 minutes
AC	DOUBLE	Coefficient d'accessibilité gravitaire agrégé
ACGREMPG1	DOUBLE	Coefficient d'accessibilité gravitaire à l'emploi du groupe 1
ACGREMPG2	DOUBLE	Coefficient d'accessibilité gravitaire à l'emploi du groupe 2
ACGREMPTOT	DOUBLE	Coefficient d'accessibilité gravitaire à l'emploi total
ACGRPOP	DOUBLE	Coefficient d'accessibilité gravitaire à la population
PROPrest	DOUBLE	Proportion de surface non urbanisée dans l'IRIS
surface	DOUBLE	Surface de la cellule en m ²
acgrpop_hp	DOUBLE	Coefficient d'accessibilité gravitaire à la population, en heure de pointe
acgrempg2_hp	DOUBLE	Coefficient d'accessibilité gravitaire à l'emploi du groupe 1, en heure de pointe
acgrempg1_hp	DOUBLE	Coefficient d'accessibilité gravitaire à l'emploi du groupe 2, en heure de pointe
acgreemptot_hp	DOUBLE	Coefficient d'accessibilité gravitaire à l'emploi total, en heure de pointe
tpsctrvp_hp	DOUBLE	Temps d'accès au centre, en VP, à l'heure de pointe
surfaceZA	DOUBLE	Surface de zone d'activité
surfaceReste	DOUBLE	Surface restante = surface – surfaceZA
PrixImmoEstime	DOUBLE	Prix de l'immobilier estimé
acgrpop_hc	DOUBLE	Coefficient d'accessibilité gravitaire à la population, en heure creuse
acgrempg2_hc	DOUBLE	Coefficient d'accessibilité gravitaire à l'emploi du groupe 1, en heure creuse
acgrempg1_hc	DOUBLE	Coefficient d'accessibilité gravitaire à l'emploi du groupe 2, en heure creuse

			l'emploi du groupe 2, en heure creuse
acgreptot_hc	DOUBLE		Coefficient d'accessibilité gravitaire à l'emploi total, en heure creuse
SHONacti	DOUBLE	NN	Surface Hors Œuvre Nette des établissements
NBlogt	DOUBLE	NN	Nombre de logements

Cette table est indexée sur les champs suivants :

Nom de l'index	Type d'index	Colonnes utilisées
IDX_02_grid	Index	grid_id
IDX_03_grid	Index	grid_id_777
IDX_04_grid	Index	grid_id_use cellule_habitat
IDX_05_grid	Index	IRIS

2.2.4 Table gridcells_evo_nblogt_shon

Elle indique pour chaque zone et pour chaque année de la simulation, le nombre de logements et le nombre de m² de SHON d'activités.

Nom de la colonne	Type de Données	Clé primaire	Non Null	Flags	Valeur par défaut	Commentaire	Numérotation automatique
grid_id	INTEGER		NN			Numéro unique d'identification	
zone_id	INTEGER		NN			Numéro de la Zone associée	
cellule_habitat	INTEGER		NN			Valeur à 1 si la cellule comporte des logements, sinon 0	
cellule_urbanisee	INTEGER		NN			Valeur à 1 si la cellule est urbanisée (logements ou activités économiques), sinon 0	
IRIS	DOUBLE		NN			Numéro de l'IRIS de la zone	
SHONacti	DOUBLE		NN			Surface Hors Œuvre Nette des établissements	
NBlogt	DOUBLE		NN			Nombre de logements	
premiereCel	INTEGER		NN			Statut de la cellule au sein de la zone	
DVT	INTEGER		NN			Appartenance au périmètre de développement urbain	
NBlogt1999	DOUBLE		NN			Nombre de logements en 1999	
NBlogt2000	DOUBLE		NN			Nombre de logements en 2000	
NBlogt2001	DOUBLE		NN			Nombre de logements en 2001	
NBlogt2002	DOUBLE		NN			Nombre de logements en 2002	
NBlogt2003	DOUBLE		NN			Nombre de logements en 2003	
NBlogt2004	DOUBLE		NN			Nombre de logements en 2004	
NBlogt2005	DOUBLE		NN			Nombre de logements en 2005	
NBlogt2006	DOUBLE		NN			Nombre de logements en 2006	
NBlogt2007	DOUBLE		NN			Nombre de logements en 2007	
NBlogt2008	DOUBLE		NN			Nombre de logements en 2008	
NBlogt2009	DOUBLE		NN			Nombre de logements en 2009	
NBlogt2010	DOUBLE		NN			Nombre de logements en 2010	
NBlogt2011	DOUBLE		NN			Nombre de logements en 2011	
NBlogt2012	DOUBLE		NN			Nombre de logements en 2012	
NBlogt2013	DOUBLE		NN			Nombre de logements en 2013	
NBlogt2014	DOUBLE		NN			Nombre de logements en 2014	
NBlogt2015	DOUBLE		NN			Nombre de logements en 2015	
NBlogt2016	DOUBLE		NN			Nombre de logements en 2016	
NBlogt2017	DOUBLE		NN			Nombre de logements en 2017	
NBlogt2018	DOUBLE		NN			Nombre de logements en 2018	
NBlogt2019	DOUBLE		NN			Nombre de logements en 2019	
NBlogt2020	DOUBLE		NN			Nombre de logements en 2020	
NBlogt2021	DOUBLE		NN			Nombre de logements en 2021	
NBlogt2022	DOUBLE		NN			Nombre de logements en 2022	
NBlogt2023	DOUBLE		NN			Nombre de logements en 2023	

NBlogt2024	DOUBLE	NN	Nombre de logements en 2024
NBlogt2025	DOUBLE	NN	Nombre de logements en 2025
SHONacti1999	DOUBLE	NN	Shon des établissements en 1999
SHONacti2000	DOUBLE	NN	Shon des établissements en 2000
SHONacti2001	DOUBLE	NN	Shon des établissements en 2001
SHONacti2002	DOUBLE	NN	Shon des établissements en 2002
SHONacti2003	DOUBLE	NN	Shon des établissements en 2003
SHONacti2004	DOUBLE	NN	Shon des établissements en 2004
SHONacti2005	DOUBLE	NN	Shon des établissements en 2005
SHONacti2006	DOUBLE	NN	Shon des établissements en 2006
SHONacti2007	DOUBLE	NN	Shon des établissements en 2007
SHONacti2008	DOUBLE	NN	Shon des établissements en 2008
SHONacti2009	DOUBLE	NN	Shon des établissements en 2009
SHONacti2010	DOUBLE	NN	Shon des établissements en 2010
SHONacti2011	DOUBLE	NN	Shon des établissements en 2011
SHONacti2012	DOUBLE	NN	Shon des établissements en 2012
SHONacti2013	DOUBLE	NN	Shon des établissements en 2013
SHONacti2014	DOUBLE	NN	Shon des établissements en 2014
SHONacti2015	DOUBLE	NN	Shon des établissements en 2015
SHONacti2016	DOUBLE	NN	Shon des établissements en 2016
SHONacti2017	DOUBLE	NN	Shon des établissements en 2017
SHONacti2018	DOUBLE	NN	Shon des établissements en 2018
SHONacti2019	DOUBLE	NN	Shon des établissements en 2019
SHONacti2020	DOUBLE	NN	Shon des établissements en 2020
SHONacti2021	DOUBLE	NN	Shon des établissements en 2021
SHONacti2022	DOUBLE	NN	Shon des établissements en 2022
SHONacti2023	DOUBLE	NN	Shon des établissements en 2023
SHONacti2024	DOUBLE	NN	Shon des établissements en 2024
SHONacti2025	DOUBLE	NN	Shon des établissements en 2025

2.2.5 Table households

Elle décrit les 662 249 ménages de l'aire urbaine au recensement de 1999.

Nom de la colonne	Type de Données	Clé primaire	Non Null	Flags	Valeur par défaut	Commentaire	Numérotation automatique
cars	INTEGER		NN			Nombre de voitures du ménage	
workers	INTEGER		NN			Nombre d'actifs	
ownership_status	INTEGER		NN			Statut d'occupation du logement, 1 si propriétaire, 0 si locataire	
persons	INTEGER		NN			Nombre de personnes 1 à 4, puis 5 si 5 ou plus	
income	INTEGER		NN			Classe de revenu: 1=bas, 2=moyen, 3=haut	
age_of_head	INTEGER		NN			Age du chef: 1 si < 30 ans, 2 si 30-44, 3 si 45-59, 4 si 60-74, 5 si > 74	
children	INTEGER		NN			Nombre d'enfants	
household_id	INTEGER	PK	NN			Numéro unique d'identification.	
taillemen	INTEGER		NN			Idem persons	
revenu	INTEGER		NN			Idem income	
Demenagement	DOUBLE		NN			1 : le ménage a déménagé dans l'année, 0 : il n'a pas déménagé (initialement calculé pour estimer les coefficients)	
IRIS	DOUBLE		NN			Numéro de l'IRIS du ménage	
grid_id	INTEGER		NN			Numéro de la cellule du ménage	
type6	TEXT		NN			Typologie en 6 caractères	
type6b	TEXT		NN			Typologie en 6 caractères (option b)	
type8	TEXT		NN			Typologie en 8 caractères	
type8b	TEXT		NN			Typologie en 8 caractères (option b)	
type10	TEXT		NN			Typologie en 10 caractères	
type12	TEXT		NN			Typologie en 12 caractères	

resi_d4	TEXT	NN	Couronne de résidence : C1, C2, C3 ou C4
type_id	INTEGER	NN	Identifiant unique de la typologie en 12 caractères
nb_boucles	FLOAT	NN	Nombre de boucles de déplacements générées par le ménage.

Nom de l'index	Type d'index	Colonnes utilisées
PRIMARY	PRIMARY	household_id

2.2.6 Table dm_mentype

Elle permet de faire le lien entre les ménages de la table **Households** et ceux de la table **dm_men06_simb** afin de pouvoir affecter un comportement de mobilité à chaque ménage de l'agglomération. Dans la mesure où l'échantillon utilisé pour les enquêtes ménages ne permet pas, pour des raisons de représentativité statistique, de décomposer très finement les ménages selon plusieurs caractéristiques (âge, revenu, localisation, motorisation...), on devra selon les cas apparier des ménages différents sur certains critères. Ainsi au niveau le plus fin, ce sont 6 variables qui sont prises en compte pour chercher un ménage sosie dans l'enquête ménages, mais ce nombre de critères peut tomber à 3 pour les ménages présentant des caractéristiques peu répandues.

Nom de la colonne	Type de Données	Clé primaire	Non Null	Flags	Valeur par défaut	Commentaire	Numérotation automatique
type12	VARCHAR		NN			Typologie en 12 caractères	
typeEMD	VARCHAR		NN			Valeur la clef du type de ménage	
typecolEMD	VARCHAR		NN			Valeur du nom de la colonne qu'il faut utiliser (type6, type6b, type8, type8b, type10, type12) pour rechercher un ménage dans la table de l'enquête ménages 2006	
type_id	INTEGER		NN			Numéro unique d'identification	

IndexName	IndexType	Columns
idx_mentype_01	Index	type12

2.2.7 Table dm_tx_revenu

Cette table est utilisée par le modèle de calcul du revenu des nouveaux ménages créés par le modèle de transition (Cf. 3.2.3.2).

Nom de la colonne	Type de Données	Clé primaire	Non Null	Flags	Valeur par défaut	Commentaire	Numérotation automatique
tx_revenu_id	DOUBLE		NN			Identifiant unique.	
tx_activite	DOUBLE		NN			Nombre d'actif	
logement	VARCHAR(255)		NN			Statut d'occupation du logement, 1 si propriétaire, 0 si locataire	
nombre_vp	DOUBLE		NN			Nombre de voitures particulières	
P_BASREV	DOUBLE		NN			Probabilité pour le revenu Bas	
P_REVMOY	DOUBLE		NN			Probabilité pour le revenu Moyen	
P_RICHES	DOUBLE		NN			Probabilité pour le revenu Haut	

2.2.8 Table sirene99

C'est la table qui décrit tous les établissements économiques du périmètre. Elle reprend les données du répertoire SIRENE pour 1999 qui comprend :

Nom de la colonne	Type de Données	Clé primaire	Non Null	Flags	Valeur par défaut	Commentaire	Numérotation automatique
SIRET	VARCHAR	PK				Identifiant SIRET	
IRIS	DOUBLE					Numéro de l'IRIS de la zone associée.	
DCOMIRIS	VARCHAR					Numéro de l'IRIS de la zone associée	

				(alphanumérique)
DEPCOM	VARCHAR			Code du département de l'établissement
LIBCOM	VARCHAR			Libellé de la commune
D4	VARCHAR			Découpage en 4 couronnes : CENT, COU1, AURB, GDLY
APET700	VARCHAR			Code APET 700 de l'établissement.
APET31	VARCHAR			Code APET 31 de l'établissement.
NES15	VARCHAR			Code de l'activité suivant la NES15
TEFET	VARCHAR	NN		Tranche d'effectif salarié
EFETCENT	DOUBLE	NN		Effectif salarié approché à la centaine
NB_EMPLOI	DOUBLE			Nombre d'emplois
DEPET	VARCHAR			Code INSEE du Département
COMET	VARCHAR			Code INSEE de la commune
NOMETAB	VARCHAR			Nom de l'établissement
NATURE	VARCHAR			Nature du local
NBTOA	INTEGER	NN		Nombre d'établissements ordinaires actifs de l'entreprise
siret_id	INTEGER	NN		Numéro unique d'identification
grid_id	INTEGER	NN		Numéro de la cellule associée
nestaille_id	INTEGER	NN		Numéro unique d'identification de la typologie nestaille.
nestaille	VARCHAR	NN		Typologie nestaille : Code basé sur l'activité et la taille de l'établissement
taillecl	VARCHAR			Classe de taille
typoActiTaille	VARCHAR			Typologie lié à l'activité et la taille.
SHON	DOUBLE	NN		Surface Hors Œuvre Nette
typoActiTaille_id	INTEGER			Numéro unique d'identification typoActiTaille
nes36	VARCHAR	NN		Secteur d'activité selon la NES36
nes36_id	INTEGER	NN		Numéro unique d'identification nes36
nes15_id	INTEGER	NN		Numéro unique d'identification nes15
taille_id	INTEGER	NN		Numéro unique d'identification taille
taille	VARCHAR	NN		Taille en salariés: 1-9, 10-19, 20-49, 50-249, 250-499, 500+ ou 00 si inconnue

IndexName	IndexType	Columns
PRIMARY	PRIMARY	SIRET
Index_siret_id	Index	siret_id
sirene99_iris	Index	IRIS

2.2.9 Table typoactitaille_types

Cette table affecte à chaque classe d'activité et de taille (typologie typoactitaille) un identifiant numérique, pouvant être utilisé par Opus (qui ne traite pas les données qualitatives). Elle est utilisée pour faire des liens entre les tables.

Nom de la colonne	Type de Données	Clé primaire	Non Null	Flags	Valeur par défaut	Commentaire	Numérotation automatique
typoActiTaille_id	INTEGER					Numéro unique d'identification	
typoActiTaille	VARCHAR					Code de la typologie lié à l'activité et la taille	

2.2.10 Table lien_nes36_apet700_99

Regroupe les quelques 700 codes NAF en 36 codes NES ou dans les 15 classes de la typologie d'activités employée par le modèle.

Nom de la colonne	Type de Données	Clé primaire	Non Null	Flags	Valeur par défaut	Commentaire	Numérotation automatique
APET700	VARCHAR		NN			Code APET 700 de l'établissement	

nes36	VARCHAR	NN	Secteur d'activité selon la NES36
nes36_id	INTEGER	NN	Numéro unique d'identification nes36
nes16	VARCHAR	NN	Secteur d'activité selon la NES16
nes15	VARCHAR	NN	Secteur d'activité selon la NES15
nes15_id	INTEGER	NN	Numéro unique d'identification nes15

2.2.11 Table lien_nes36_taille_shon_etab

Cette table est issue des traitements opérés sur les données recueillies lors des enquêtes nationales Marchandises en Ville. Elle indique la superficie moyenne des établissements pour chacune des 36 classes d'activité fondées sur la NES36 et chacune des classes de taille retenues dans le modèle.

Nom de la colonne	Type de Données	Clé primaire	Non Null	Flags	Valeur par défaut	Commentaire	Numérotation automatique
shon_etab_id	INTEGER		NN			Numéro unique d'identification	
nes36_id	DOUBLE		NN			Numéro unique d'identification nes36	
taille_id	DOUBLE		NN			Numéro unique d'identification taille	
shon_par_etab	DOUBLE		NN			Surface Hors Œuvre Nette de l'établissement	

2.2.12 Table dm_boucle06_simb

Cette table est utilisée par le modèle de génération des déplacements des ménages.

Nom de la colonne	Type de Données	Clé primaire	Non Null	Flags	Valeur par défaut	Commentaire	Numérotation automatique
NUMECH	DOUBLE		NN			Identifiant unique du ménage	
NUMPERS	DOUBLE		NN			Numéro de la personne du ménage	
NUMBOUCLE	DOUBLE		NN			Numéro de la boucle	
COEFF	DOUBLE		NN			Coefficient de redressement	
MOTIFS	INTEGER		NN			Enchaînement des motifs des déplacements de la boucle	
MODES	INTEGER		NN			Enchaînement des modes des déplacements de la boucle	
LIEUX_D34	INTEGER		NN			Enchaînement des destinations des déplacements de la boucle	
NBDEPL	DOUBLE		NN			Nombre de déplacements de la boucle	
DISTANCE	DOUBLE		NN			Distance totale de la boucle	
HEURDEBUT	DOUBLE		NN			Heure de départ	
MINDEBUT	DOUBLE		NN			Minute de départ	
HEURFIN	DOUBLE		NN			Heure de retour	
MINFIN	DOUBLE		NN			Minute de retour	
DUREE	DOUBLE		NN			Durée de la boucle	
MOTIFPRINC	INTEGER		NN			Motif principal de la boucle	
numech_pers	DOUBLE		NN			Concaténation NUMECH+ NUMPERS	

IndexName	IndexType	Columns
IDX_O1_dm_boucle06_si	Index	NUMECH NUMPERS

2.2.13 Table dm_men06_simb

C'est la table qui contient les données issues de l'enquête des ménages 2006 (environ 11000 ménages).

Nom de la colonne	Type de Données	Clé primaire	Non Null	Flags	Valeur par défaut	Commentaire	Numérotation automatique
NUMECH	DOUBLE		NN			Identifiant unique du ménage	
COEFF	DOUBLE		NN			Coefficient de redressement	
RESIDENCE	DOUBLE		NN			Localisation résidentielle suivant le découpage fin EM06	
RESI_D7	INTEGER		NN			Localisation résidentielle (7 zones EM95 + reste périmètre EM06)	

RESI_D4	INTEGER	NN	Couronne CENT, COU1, AURB, GDLY
OCCLOGT	INTEGER	NN	Statut d'occupation du logement: propriétaire ou locataire
OCCLOGT2	INTEGER	NN	Statut d'occupation du logement: 1 (propriétaire) ou 2 (locataire)
AGEQT	DOUBLE	NN	Age du chef de ménage
AGE	INTEGER	NN	Classe d'âge du chef de ménage: moins30, 30-44, 45-59, 60-74, 75plus
NB_PERSQT	DOUBLE	NN	Nombre de personnes du ménage
NB_PERS2	DOUBLE	NN	Nombre de personnes du ménage : valeur de 1 à 5 (ou plus)
NB_ACTQT	DOUBLE	NN	Nombre d'actifs
NB_ACT2	DOUBLE	NN	Nombre d'actifs : valeur de 0 à 2 (ou plus)
NB_VPQT	DOUBLE	NN	Nombre de voitures
NB_VP2	DOUBLE	NN	Nombre de voitures : valeur de 0 à 2 (ou plus)
ST_CHEF	INTEGER	NN	Statut du chef: Tps-plein, Tps-part, Chômeur, Retraite, Inactif, Etudiant
AGE_AGREGÉ	INTEGER	NN	Age agrégé
NbDepla	DOUBLE	NN	Nombre de déplacements
PoidsDepla	DOUBLE	NN	Facteur de poids déplacements
PoidsMen	DOUBLE	NN	Facteur de poids ménage
PoidsDistKM	DOUBLE	NN	Facteur de poids distance parcourue
REV_UC	INTEGER	NN	Revenu par UC: BAS, MOYEN, HAUT
type12	INTEGER	NN	Typologie en 12 caractères
type10	INTEGER	NN	Typologie en 10 caractères
type8	INTEGER	NN	Typologie en 8 caractères
type8B	INTEGER	NN	Typologie en 8 caractères (option b)
type6	INTEGER	NN	Typologie en 6 caractères
type6B	INTEGER	NN	Typologie en 6 caractères (option b)

2.2.14 Table dm_pers06_simb

Cette table qui contient les données détaillées par personne issues de l'enquête des ménages 2006 (environ 27500 personnes).

Nom de la colonne	Type de Données	Clé primaire	Non Null	Flags	Valeur par défaut	Commentaire	Numérotation automatique
NUMECH	DOUBLE		NN			Identifiant unique du ménage	
NUMPERS	DOUBLE		NN			Numéro de la personne du ménage	
RESIDENCE	DOUBLE		NN			Localisation résidentielle suivant le découpage fin EM06	
RESI_D7	INTEGER		NN			Localisation résidentielle (7 zones EM95 + reste périmètre EM06)	
RESI_D4	INTEGER		NN			Couronne CENT, COU1, AURB, GDLY	
AGE	DOUBLE		NN			Age de la personne	
SEXE	DOUBLE		NN			Sexe de la personne : 1 = homme, 2 = femme	
STATUT	INTEGER		NN			Statut de la personne: ACTIF, PRIM, COLYC, ETUD, RETR, FOYER, CHOM	
TYPE_MEN	INTEGER		NN			Composition du ménage: CELI, COUP, ENFA, AUTRE	
REV_UC	INTEGER		NN			Revenu par UC: REV1, REV2, REV3	
ACCESVP	DOUBLE		NN			Accès à la voiture : 0 pas de permis, 1 a le permis et est le chef de famille et dispose d'un véhicule, 2 autre	
DIST_TRAVE	DOUBLE		NN			Distance au lieu de travail / établissement scolaire	
TYPO_71	INTEGER		NN			Typologie en 71 types de F. Gitton	
numech_pers	DOUBLE		NN			Concaténation NUMECH+ NUMPERS	

IndexName	IndexType	Columns
-----------	-----------	---------

IDX_O1_dm_pers06_simb

Index

NUMECH
NUMPERS

2.2.15 Table tm_mat_tg_syn

Table contenant des données synthétiques calculées sur les Origines - Destinations (777*777 IRIS = 603729 lignes). Elle est utilisée par le modèle pour le calcul de l'attraction des zones et de la répartition modale.

Nom de la colonne	Type de Données	Clé primaire	Non Null	Flags	Valeur par défaut	Commentaire	Numérotation automatique
OIRIS	INTEGER		NN			IRIS de la zone Origine	
DIRIS	INTEGER		NN			IRIS de la zone Destination	
intra	INTEGER		NN			Déplacement Intra-zone : 1 si OIRIS = DIRIS, sinon 0	
dist	FLOAT		NN			Distance OIRIS/DIRIS en mètres	
tps	FLOAT		NN			Temps généralisé pour aller de ORIS à DIRIS (en minutes)	
tps_adj_min	FLOAT		NN			Temps minimum pour aller vers une zone adjacente. Calculé lorsque il s'agit d'une zone intra	
tps_adj_surf	FLOAT		NN			Surface zone adjacente	
tps_adj_vit_min	FLOAT		NN			Vitesse minimum.	
tpsTC	FLOAT		NN			Temps de déplacement en Transport Collectif	
tpsVP	FLOAT		NN			Temps de déplacement en Voiture Particulière	
tpsMAP	FLOAT		NN			Temps de déplacement en marche à pied	
EXPTG_ACC	FLOAT		NN			Variable calculée exponentielle de temps généralisé (EXPTG) pour le motif Accompagnement	
EXPTG_ACH_SERV	FLOAT		NN			Variable calculée EXPTG pour le motif Achat/Service	
EXPTG_AUTRE	FLOAT		NN			Variable calculée EXPTG pour le motif Autre	
EXPTG_COLL_LYC	FLOAT		NN			Variable calculée EXPTG pour le motif Collège/Lycée	
EXPTG_LOISIRS	FLOAT		NN			Variable calculée EXPTG pour le motif Loisirs	
EXPTG_NOUR_PRIM	FLOAT		NN			Variable calculée EXPTG pour le motif Nourrice/Ecole Primaire	
EXPTG_TRAVAIL	FLOAT		NN			Variable calculée EXPTG pour le motif Travail	
EXPTG_UNIV	FLOAT		NN			Variable calculée EXPTG pour le motif Université	
EXPTG_AUTRES	FLOAT		NN			Variable calculée EXPTG pour le motif Autres Somme des motifs Autre + Loisirs + Accompagnement	
MTLD_ACC	FLOAT		NN			Variable calculée MTLD pour le motif Accompagnement	
MTLD_ACH_SERV	FLOAT		NN			Variable calculée MTLD pour le motif Achat/Service	
MTLD_AUTRE	FLOAT		NN			Variable calculée MTLD pour le motif Autre	
MTLD_COLL_LYC	FLOAT		NN			Variable calculée MTLD pour le motif Collège/Lycée	
MTLD_LOISIRS	FLOAT		NN			Variable calculée MTLD pour le motif Loisir	
MTLD_NOUR_PRIM	FLOAT		NN			Variable calculée MTLD pour le motif Nourrice/Ecole Primaire	
MTLD_TRAVAIL	FLOAT		NN			Variable calculée MTLD pour le motif Travail	
MTLD_UNIV	FLOAT		NN			Variable calculée MTLD pour le motif Université	
MTLD_AUTRES	FLOAT		NN			Variable calculée MTLD pour le motif Autres Somme des motifs Autre + Loisirs + Accompagnement	
TGMNM	FLOAT		NN			Temps généralisé des modes non motorisés	
TGMSYN	FLOAT		NN			Temps synthétique des modes motorisés	

PARTMNM_ACC	FLOAT	NN	Variable calculée PARTMNM (part modale modes non motorisés) pour le motif Accompagnement
PARTMNM_ACH_SERV	FLOAT	NN	PARTMNM motif Achat/Service
PARTMNM_AUTRE	FLOAT	NN	PARTMNM motif Autre
PARTMNM_COLL_LYC	FLOAT	NN	PARTMNM motif Collège/Lycée
PARTMNM_LOISIRS	FLOAT	NN	PARTMNM motif Loisirs
PARTMNM_NOUR_PRIM	FLOAT	NN	PARTMNM motif Nourrice/Ecole Primaire
PARTMNM_TRAVAIL	FLOAT	NN	PARTMNM motif Travail
PARTMNM_UNIV	FLOAT	NN	PARTMNM motif Université
PARTMNM_AUTRES	FLOAT	NN	PARTMNM motif Autres Somme des motifs Autre + Loisirs + Accompagnement
PARTVP_ACC	FLOAT	NN	Variable calculée PARTVP (part modale VP) pour le motif Accompagnement
PARTVP_ACH_SERV	FLOAT	NN	PARTVP motif Achat/Service
PARTVP_AUTRE	FLOAT	NN	PARTVP motif Autre
PARTVP_COLL_LYC	FLOAT	NN	PARTVP motif Collège/Lycée
PARTVP_LOISIRS	FLOAT	NN	PARTVP motif Loisirs
PARTVP_NOUR_PRIM	FLOAT	NN	PARTVP motif Nourrice/Ecole Primaire
PARTVP_TRAVAIL	FLOAT	NN	PARTVP motif Travail
PARTVP_UNIV	FLOAT	NN	PARTVP motif Université
PARTVP_AUTRES	FLOAT	NN	PARTVP motif Autres Somme des motifs Autre + Loisirs + Accompagnement
PARTTC_ACC	FLOAT	NN	Variable calculée PARTTC (part modale TC) pour le motif Accompagnement
PARTTC_ACH_SERV	FLOAT	NN	PARTTC motif Achat/Service
PARTTC_AUTRE	FLOAT	NN	PARTTC motif Autre
PARTTC_COLL_LYC	FLOAT	NN	PARTTC motif Collège/Lycée
PARTTC_LOISIRS	FLOAT	NN	PARTTC motif Loisirs
PARTTC_NOUR_PRIM	FLOAT	NN	PARTTC motif Nourrice/Ecole Primaire
PARTTC_TRAVAIL	FLOAT	NN	PARTTC motif Travail
PARTTC_UNIV	FLOAT	NN	PARTTC motif Université
PARTTC_AUTRES	FLOAT	NN	PARTTC motif Autres Somme des motifs Autre + Loisirs + Accompagnement
ODVP_ACC	FLOAT	NN	Nombre de boucles réalisés en Voiture Particulière (ODVP) pour le motif Accompagnement
ODVP_ACH_SERV	FLOAT	NN	O/D VP motif Achat/Service
ODVP_AUTRE	FLOAT	NN	O/D VP motif Autre
ODVP_COLL_LYC	FLOAT	NN	O/D VP motif Collège/Lycée
ODVP_LOISIRS	FLOAT	NN	O/D VP motif Loisirs
ODVP_NOUR_PRIM	FLOAT	NN	O/D VP motif Nourrice/Ecole Primaire
ODVP_TRAVAIL	FLOAT	NN	O/D VP motif Travail
ODVP_UNIV	FLOAT	NN	O/D VP motif Université .
ODVP_AUTRES	FLOAT	NN	O/D VP motif Autres Somme des motifs Autre + Loisirs + Accompagnement
ODTC_ACC	FLOAT	NN	Nombre de boucles réalisés en Transports Collectifs pour le motif Accompagnement
ODTC_ACH_SERV	FLOAT	NN	O/D TC motif Achat/Service
ODTC_AUTRE	FLOAT	NN	O/D TC motif Autre
ODTC_COLL_LYC	FLOAT	NN	O/D TC motif Collège/Lycée
ODTC_LOISIRS	FLOAT	NN	O/D TC motif Loisirs
ODTC_NOUR_PRIM	FLOAT	NN	O/D TC motif Nourrice/Ecole Primaire
ODTC_TRAVAIL	FLOAT	NN	O/D TC motif Travail
ODTC_UNIV	FLOAT	NN	O/D TC motif Université
ODTC_AUTRES	FLOAT	NN	O/D TC motif Autres Somme des motifs Autre + Loisirs + Accompagnement

IndexName	IndexType	Columns
IDX_01_MAT_TG_SYN	Index	OIRIS
IDX_02_MAT_TG_SYN	Index	DIRIS

2.2.16 Table tm_mat_tg_vp

Table des temps généralisés en voiture particulière pour chaque couple Origine / Destination. Elle est utilisée par le modèle de calcul de l'attraction des zones et de répartition modale. Le temps généralisé et les distances parcourues sont actualisées après la phase d'affectation Davisum.

Nom de la colonne	Type de Données	Clé primaire	Non Null	Flags	Valeur par défaut	Commentaire	Numérotation automatique
OIRIS	INTEGER		NN			IRIS de la zone Origine	
DIRIS	INTEGER		NN			IRIS de la zone Destination	
dist	DOUBLE		NN			Distance en mètres.	
tps	DOUBLE		NN			Temps généralisé VP en minutes pour aller de OIRIS à DIRIS.	
vit	DOUBLE		NN			Vitesse	

IndexName	IndexType	Columns
IDX_01_MAT_TG_VP	Index	OIRIS
IDX_02_MAT_TG_VP	Index	DIRIS

2.2.17 Table tm_mat_tg_tc

Table des temps généralisés en transports collectifs pour chaque couple Origine / Destination. Elle est utilisée par le modèle de calcul de l'attraction des zones et de répartition modale. Le temps généralisé est actualisé après la phase d'affectation Davisum.

Nom de la colonne	Type de Données	Clé primaire	Non Null	Flags	Valeur par défaut	Commentaire	Numérotation automatique
OIRIS	INTEGER		NN			IRIS de la zone Origine	
DIRIS	INTEGER		NN			IRIS de la zone Destination	
tpsTC	DOUBLE		NN			Temps généralisé TC en minutes pour aller de OIRIS à DIRIS.	

IndexName	IndexType	Columns
IDX_01_MAT_TG_TC	Index	OIRIS
IDX_02_MAT_TG_TC	Index	DIRIS

2.2.18 Table tm_mat_tg_map

Table des temps généralisés en marche à pied pour chaque couple Origine / Destination. Elle est utilisée par le modèle de calcul de l'attraction des zones et de répartition modale. Le temps généralisé est actualisé après la phase d'affectation Davisum.

Nom de la colonne	Type de Données	Clé primaire	Non Null	Flags	Valeur par défaut	Commentaire	Numérotation automatique
OIRIS	INTEGER		NN			IRIS de la zone Origine	
DIRIS	INTEGER		NN			IRIS de la zone Destination	
ONUMIRIS	INTEGER		NN			Numéro 1-777 de OIRIS	
DNUMIRIS	INTEGER		NN			Numéro 1-777 de DIRIS	
OLIBCOM	INTEGER		NN			Libellé commune OIRIS	
DLIBCOM	INTEGER		NN			Libellé commune DIRIS	
TMAP	DOUBLE		NN			Temps généralisé de marche à pied en minutes	

2.2.19 Table tm_zones_adjacentes

Table pour le calcul des temps généralisés pour les déplacements entre zones adjacentes.

Nom de la colonne	Type de Données	Clé primaire	Non Null	Flags	Valeur par défaut	Commentaire	Numérotation automatique
IRISCONS	INTEGER		NN			IRIS considéré	
iriscons_code	INTEGER		NN			Code 1-777 de IRISCONS	
IRISADJ	INTEGER		NN			IRIS adjacent	
irisadj_code	INTEGER		NN			Code 1-777 de IRISADJ	
surfacecons	FLOAT		NN			Surface IRIS considéré	
surfaceadj	FLOAT		NN			Surface IRIS adjacent	
tpsVP	FLOAT		NN			Temps généralisé VP	
tpsTC	FLOAT		NN			Temps généralisé TC	

2.2.20 Table tm_mat_attractions

Table des données d'attractions par zone et par motif. Elle est utilisée par le modèle de calculs de l'attraction des zones.

Nom de la colonne	Type de Données	Clé primaire	Non Null	Flags	Valeur par défaut	Commentaire	Numérotation automatique
IRIS	INTEGER		NN			IRIS de la zone	
ACC	INTEGER		NN			Nombre d'attractions de la zone, motif Accompagnement	
ACH_SERV	INTEGER		NN			Nombre d'attractions de la zone, motif Achat/Service	
AUTRE	INTEGER		NN			Nombre d'attractions de la zone, motif Autre	
COLL_LYC	INTEGER		NN			Nombre d'attractions de la zone, motif Collège/Lycée	
LOISIRS	INTEGER		NN			Nombre d'attractions de la zone, motif Loisirs	
NOUR_PRIM	INTEGER		NN			Variable calculée EXPTG pour le motif Nourrice/Ecole Primaire	
TRAVAIL	INTEGER		NN			Nombre d'attractions de la zone, motif Travail	
UNIV	INTEGER		NN			Nombre d'attractions de la zone, motif Université	
AUTRES	INTEGER		NN			Nombre d'attractions de la zone, motif Autres Somme des motifs Autre + Loisirs + Accompagnement	

IndexName	IndexType	Columns
IDX_01_TM_MAT_ATTRACT	Index	IRIS

2.2.21 Table tm_mat_cordon_art

Table de transit et échange issue du cordon pour les véhicules articulés. Elle est utilisée par le modèle de calcul de répartition horaire.

Nom de la colonne	Type de Données	Clé primaire	Non Null	Flags	Valeur par défaut	Commentaire	Numérotation automatique
oiris	INTEGER		NN			IRIS d'origine	
oiris_code	INTEGER		NN			Numéro 1-777 de OIRIS	
diris	INTEGER		NN			IRIS de destination	
diris_code	INTEGER		NN			Numéro 1-777 de DIRIS	
nb_dep	DOUBLE		NN			Nombre de déplacements	

2.2.22 Table tm_mat_cordon_vp

Table de transit et échange issue du cordon pour les voitures particulières. Elle est utilisée par le modèle de calcul de répartition horaire.

Nom de la colonne	Type de Données	Clé primaire	Non Null	Flags	Valeur par défaut	Commentaire	Numérotation automatique
oiris	INTEGER		NN			IRIS d'origine	
oiris_code	INTEGER		NN			Numéro 1-777 de OIRIS	
diris	INTEGER		NN			IRIS de destination	
diris_code	INTEGER		NN			Numéro 1-777 de DIRIS	
nb_dep	DOUBLE		NN			Nombre de déplacements	

2.2.23 Table tm_mat_cordon_vul

Table de transit et échange issue du cordon pour les véhicules utilitaires légers et les camions porteurs. Elle est utilisée par le modèle de calcul de répartition horaire.

Nom de la colonne	Type de Données	Clé primaire	Non Null	Flags	Valeur par défaut	Commentaire	Numérotation automatique
oiris	INTEGER		NN			IRIS d'origine.	
oiris_code	INTEGER		NN			Numéro 1-777 de OIRIS.	
diris	INTEGER		NN			IRIS de destination.	
diris_code	INTEGER		NN			Numéro 1-777 de DIRIS.	
nb_dep	DOUBLE		NN			Nombre de déplacements.	

2.2.24 Table dm_motorisation

Table utilisée par le modèle de transition des ménages afin de calculer le taux de motorisation pour les nouveaux ménages générés par Urbansim.

Nom de la colonne	Type de Données	Clé primaire	Non Null	Flags	Valeur par défaut	Commentaire	Numérotation automatique
popu_densite_classe	DOUBLE		NN			Classe de densité de la population	
nb_pers	DOUBLE		NN			Nombre de personnes du ménage	
nb_act	DOUBLE		NN			Nombre d'actifs du ménage	
proba	DOUBLE		NN			Probabilité (valeur de 0 à 1)	
proba_cumulee	DOUBLE		NN			Probabilité cumulée	
nb_vp	DOUBLE		NN			Nombre de voitures	
moto_id	INTEGER		NN			Identifiant unique	

2.2.25 Table ParamFreturb

Le passage de paramètres de SIMBAD vers l'application Freturb est réalisé à l'aide de la table **ParamFreturb** qui compte autant de colonnes que de paramètres :

Nom de la colonne	Type de Données	Clé primaire	Non Null	Flags	Valeur par défaut	Commentaire	Numérotation automatique
annee	INTEGER		NN			Année de simulation SIMBAD Ex : 2000	
nomappli	TEXT		NN			Nom de l'application: lyonprototype	
etab	TEXT		NN			SIRENE la première année, ST45 les suivantes.	

2.2.26 Vue v_sirene99

La vue **v_sirene99** (en lecture) de la table **sirene99** contient les données des établissements:

Nom de la colonne	Type de Données	Clé primaire	Non Null	Flags	Valeur par défaut	Commentaire	Numérotation automatique
zone	DOUBLE					Code IRIS de la zone	
siret	VARCHAR		NN			Numéro de siret de l'établissement	
nes36_id	INTEGER		NN			Secteur d'activité selon la nes36	

taille_id	INTEGER	NN	Taille de l'établissement
apet700	VARCHAR		Apet 700
tefet	VARCHAR	NN	Tranche d'effectif salarié
efetcent	DOUBLE	NN	Tranche d'effectif salarié approché à la centaine
nature	VARCHAR		Nature du local
nbtoa	INTEGER	NN	Nombre d'établissements ordinaires actifs de l'entreprise à laquelle appartient l'établissement

2.2.27 Vue v_zone

La vue **v_zone** de la table lyon_zone qui comporte pour les 777 Zones :

Nom de la colonne	Type de Données	Clé primaire	Non Null	Flags	Valeur par défaut	Commentaire	Numérotation automatique
zone	INTEGER					Code IRIS de la zone	
zone_em	INTEGER		NN			Code de la zone Enquête-Ménage à laquelle appartient l'IRIS.	
couronne	VARCHAR		NN			Couronne codée en C1, C2, C3, C4 au lieu de CENT, COU1, GDLY, AURB du champ RESI_D4 de la table Zone	
Libcom	VARCHAR		NN			Nom de la commune	
superficie	FLOAT		NN			Superficie	
population	FLOAT		NN			Population	
distzonecentre	INTEGER		NN			Distance au centre (préfecture)	

Les 777 zones doivent être regroupées en 36 zones, c'est le rôle de l'attribut zone_em ajouté à la table lyon_zone.

2.2.28 Vue v_coorzone

La vue **v_coorzone** de la table lyon_zone qui comporte pour les 777 Zones les coordonnées X,Y des barycentres :

Nom de la colonne	Type de Données	Clé primaire	Non Null	Flags	Valeur par défaut	Commentaire	Numérotation automatique
zone	INTEGER					Code IRIS de la zone	
x	FLOAT		NN			Coordonnée X du barycentre	
y	FLOAT		NN			Coordonnée Y du barycentre	
nbmvt	FLOAT		NN			Nombre de mouvements de marchandises. Mis à NULL avant de lancer Freturb qui effectuera son calcul	

2.2.29 Vue v_distanceOD777

La vue **v_distanceOD777** du distancier comporte pour les 777 Zones :

Nom de la colonne	Type de Données	Clé primaire	Non Null	Flags	Valeur par défaut	Commentaire	Numérotation automatique
ZoneOri	INTEGER		NN			Code IRIS de la zone d'origine	
ZoneDest	INTEGER		NN			Code IRIS de la zone de destination	
DistanceMetre	INTEGER		NN			Distance calculée par l'itinéraire le plus rapide (le chemin le plus court en temps).	

Le distancier de 36*36 pour le macro zonage est calculé par Freturb

2.2.30 Vue v_mat_freturb_repartition_hor

Les données OD pour les 777 zones en sortie de Freturb sont insérées dans la table **v_mat_freturb_repartition_hor** initialement vide lors du lancement de Freturb par SIMBAD:

Nom de la colonne	Type de Données	Clé primaire	Non Null	Flags	Valeur par défaut	Commentaire	Numérotation automatique
ZoneOri	INTEGER		NN			Code IRIS de la zone d'origine	
ZoneDest	INTEGER		NN			Code IRIS de la zone de destination	
flux_vul_port_HC	FLOAT		NN			Flux VUL et porteurs en heure creuse	
flux_vul_port_HP	FLOAT		NN			Flux VUL et porteurs en heure de pointe	
flux_artic_HC	FLOAT		NN			Flux articulés en heure creuse	
flux_artic_HP	FLOAT		NN			Flux articulés en heure de pointe	

2.2.31 Table annual_household_control_totals

Cette table indique à Urbansim, pour chacune des années de la simulation, le nombre de ménages qui doivent exister. Le module de transition crée ou supprime des ménages pour remplir les objectifs annuels ainsi indiqués.

Nom de la colonne	Type de Données	Clé primaire	Non Null	Flags	Valeur par défaut	Commentaire	Numérotation automatique
year	INTEGER		NN			Année	
age_of_head	INTEGER		NN			Age du chef de ménage en classes	
persons	INTEGER		NN			Nombre de personnes du ménage en classes	
total_number_of_households	INTEGER		NN			Nombre total de ménages	

2.2.32 Table household_characteristics_for_ht

Indique pour chacun des attributs utilisés par Urbansim la liste des modalités (variable qualitative) ou les bornes (variable quantitative) qui encadrent cette variable. Urbansim utilise cette table dans le module de transition des ménages afin de renseigner à la marge les attributs qui y sont listés.

Nom de la colonne	Type de Données	Clé primaire	Non Null	Flags	Valeur par défaut	Commentaire	Numérotation automatique
characteristic	TEXT		NN			Nom de l'attribut	
min	INTEGER		NN			Valeur mini (entier)	
max	INTEGER		NN			Valeur maxi (entier)	

2.2.33 Table annual_relocation_rates_for_households

Cette table indique la probabilité de déménager des différents types de ménages, caractérisés par l'âge du chef, le statut d'occupation du logement et la taille du ménage.

Nom de la colonne	Type de Données	Clé primaire	Non Null	Flags	Valeur par défaut	Commentaire	Numérotation automatique
age_min	INTEGER		NN			Age minimum	
age_max	INTEGER		NN			Age maximum	
ownership_status_min	INTEGER		NN			Statut occupation minimum	
ownership_status_max	INTEGER		NN			Statut occupation maximum	
persons_min	INTEGER		NN			Nombre de personnes minimum	
persons_max	INTEGER		NN			Nombre de personnes maximum	
probability_of_relocating	DOUBLE		NN			Probabilité de déménager	

2.2.34 Table annual_sirene99_control_totals

Cette table indique à Urbansim, pour chacune des années de la simulation, le nombre d'établissements qui doivent exister. Le module de transition crée ou supprime des établissements pour remplir les objectifs annuels ainsi indiqués.

Nom de la colonne	Type de Données	Clé primaire	Non Null	Flags	Valeur par défaut	Commentaire	Numérotation automatique
year	INTEGER		NN			Année.	
nes36_id	INTEGER		NN			Code NES36 de l'activité.	
taille_id	INTEGER		NN			Code taille.	
total_number_of_etabl	DOUBLE		NN			Nombre total d'établissements pour l'année et les caractéristiques correspondantes.	

2.2.35 Table sirene99_characteristics_for_ht

Indique pour chacun des attributs utilisés par Urbansim la liste des modalités (variable qualitative) ou les bornes (variable quantitative) qui encadrent cette variable. Urbansim utilise cette table dans le module de transition des établissements afin de renseigner à la marge les attributs qui y sont listés.

Nom de la colonne	Type de Données	Clé primaire	Non Null	Flags	Valeur par défaut	Commentaire	Numérotation automatique
characteristic	VARCHAR(50)		NN			Nom de l'attribut	
min	INTEGER		NN			Valeur mini (entier)	
max	INTEGER		NN			Valeur maxi (entier)	

2.2.36 Table annual_relocation_rates_for_sirene99

Cette table indique la probabilité de déménager des différents types d'établissements, caractérisés par leur taille et leur activité.

Nom de la colonne	Type de Données	Clé primaire	Non Null	Flags	Valeur par défaut	Commentaire	Numérotation automatique
nestaille_id	INTEGER		NN			Code définissant la taille et le type d'activité	
sirene99_relocation_probability	DOUBLE		NN			Probabilité de déménager	

2.2.37 Tables household/sirene99_location_choice_model_specification

Ces tables sont utilisées par le modèle de localisation des ménages ou des entreprises pour établir la liste des coefficients de la fonction Logit.

Nom de la colonne	Type de Données	Clé primaire	Non Null	Flags	Valeur par défaut	Commentaire	Numérotation automatique
sub_model_id	INTEGER		NN			Identifiant du sous modèle	
equation_id	INTEGER		NN			Identifiant de l'équation	
coefficient_name	VARCHAR(50)		NN			Nom du coefficient	
variable_name	VARCHAR(50)		NN			Nom de l'attribut ou de la variable utilisé lié au coefficient	

2.2.38 Tables household/sirene9_location_choice_model_coefficients

Ces tables sont utilisées par le modèle de localisation des ménages ou des entreprises pour définir les valeurs des coefficients répertoriés dans les tables de spécification.

Nom de la colonne	Type de Données	Clé primaire	Non Null	Flags	Valeur par défaut	Commentaire	Numérotation automatique
sub_model_id	INTEGER		NN			Identifiant du sous modèle	
p_value	DOUBLE		NN			Résultat statistique P Value	
standard_error	DOUBLE		NN			Résultat statistique Standard Error	
t_statistic	DOUBLE		NN			Résultat statistique t_statistic	
estimate	DOUBLE		NN			Résultat statistique estimation	
coefficient_name	VARCHAR(50)		NN			Nom du coefficient	

3. L'application SIMBAD/URBANSIM

3.1 Configuration de l'application SIMBAD

Préalablement à toute simulation SIMBAD, il est nécessaire de configurer l'application. Celle-ci s'opère à deux niveaux : l'une pour UrbanSim, la suivante propre aux modules spécifiques à SIMBAD. L'une comme l'autre sont réalisées à l'aide de fichiers Python (.py) disponibles sous [lyonprototype41/configs](#):

- [baseline.py](#) pour la configuration UrbanSim
- [simbad_configuration.py](#) pour la configuration SIMBAD

3.1.1 Fichier de configuration UrbanSim

Situé sous [UrbanSim/configs](#), ce fichier de configuration permet de définir en partie les paramètres d'exécution UrbanSim listés dans le tableau suivant:

Non de la variable	Valeur	Description
base_year	1999	L'année de base pour les données contenues dans la base MySQL
years	2000, ..., 2025	Liste des années pour lesquelles la simulation doit être réalisée
models	Liste	Liste des modèles à exécuter
Input_configuration	Objet DatabaseConfiguration()	Paramètres de connexion à la base MySQL
	Objet CreatingBaseyearCacheConfiguration	Paramètres de création du cache de données (répertoire racine, noms des tables à mettre en cache)
models_configuration	Structures de données	Définition des modèles à ajouter à UrbanSim : simbad_initialisation_model, simbad_deplacement_menages_model, simbad_attractions_zones_model, freturb_transportation_model, simbad_repartition_horaire_model, simbad_affectation_davisum_model, simbad_etablissement_transition_model, simbad_revenu_menages_model, simbad_etablissement_relocation_model, simbad_etablissement_location_choice_model, simbad_caracteristiques_zones_model Les modèles propre à l'application SIMBAD ont un préfixe commun « simbad » afin de les distinguer des modules Urbansim.

3.1.2 Fichier de configuration Simbad

Situé sous [lyonprototype41\configs](#), ce fichier de configuration permet de définir en partie les paramètres SIMBAD listés dans le tableau suivant :

Non de la variable	Valeur	Description
simbad_years_all	2000, .., 2025	Idem variable years d'UrbanSim
simbad_years_detail	2000, 2005, 2010, 2015, 2020, 2025	Liste des années pour lesquelles les calculs détaillés doivent être réalisés avec un détail au niveau revenu (bas, moyen, haut), système de transport routier (Transit, PL, VUL, VP) , tranche horaire (HP, HC)
simbad_years_sans_detail	Liste	Liste des années (différence des listes simbad_years_all - simbad_years_detail)
config_affectation_freturb	Structures de données	Configuration de lancement de l'application Freturb (chemin d'accès à Freturb et nom du fichier de commandes de lancement)
config_attractions	Structures de données	Coefficients de calage et beta utilisés par le modèle de calculs d'attraction des zones, par motif (travail, achat/service, université, collège/lycée, nourriture/primaire, autres) et niveau de revenu (bas, moyen, haut).
config_repartition_horaire	Structures de données	Coefficients de répartition horaire HP + HC
config_affectation_davisum_TC_VP	Structures de données	Configuration pour l'affectation Davisum.
Simbad_matrices_OD	Structures de données	Liste des matrices OD à créer pour réaliser l'affectation Davisum

3.2 Les apports de SIMBAD à Opus-UrbanSim

3.2.1 Les fichiers modèles ajoutés

Ils sont situés sous [lyonprototype41\models](#):

```
freturb_transportation_model.py
simbad_affectation_davisum_model.py
simbad_attractions_zones_model.py
simbad_caracteristiques_zones_model.py
simbad_deplacement_menages_model.py
simbad_etablissement_location_choice_model.py
simbad_etablissement_relocation_model_creator.py
simbad_etablissement_relocation_probabilities.py
simbad_etablissement_transition_model.py
simbad_etablissement_typo.py
simbad_initialisation_model.py
simbad_repartition_horaire_model.py
simbad_revenu_menages.py
simbad_revenu_menages_model.py
simbad_taux_motorisation.py
simbad_utils.py
```

3.2.2 Les fonctions utilitaires créées dans SIMBAD

Elles sont stockées dans le fichier : lyonprototype41/models/simbad_utils.py qui contient l'ensemble des fonctions utilitaires utilisées dans les divers modules de SIMBAD à l'aide de l'instruction python suivante : « `from simbad_utils import *` ».

Le tableau suivant liste les noms des fonctions utilitaires ainsi qu'une brève description :

<u>lyonprototype41::models::simbad_utils.simbad_results_print</u>
Affichage des résultats d'un tableau de données mémoire.
<u>lyonprototype41::models::simbad_utils.simbad_results_write_table</u>
Sauvegarde des résultats d'un tableau de donnée dans le répertoire de cache.
<u>lyonprototype41::models::simbad_utils.simbad_write_ds_as</u>
Sauvegarde d'un Dataset dans une nouvelle table dans le répertoire de cache.
<u>lyonprototype41::models::simbad_utils.simbad_load_ds</u>
Chargement d'un Dataset.
<u>lyonprototype41::models::simbad_utils.simbad_print_ds</u>
Affichage des résultats d'un Dataset.
<u>lyonprototype41::models::simbad_utils.storage_current_year</u>
Retourne les données de l'année courante.
<u>lyonprototype41::models::simbad_utils.storage_previous_year</u>
Retourne les données de l'année précédente.
<u>lyonprototype41::models::simbad_utils.flt_storage_from_dir</u>
Retourne les données de type "flat" (flt) pour un chemin racine et une année donnée.
<u>lyonprototype41::models::simbad_utils.init_caracteristiques_zones</u>
Initialisation du tableau de données Caracteristiques Zones base sur le contenu de la table lyon_zone.
<u>lyonprototype41::models::simbad_utils.simbad_get_iris_codesZones</u>
Initialisation d'un dictionnaire de passage IRIS => IRIS code.
<u>lyonprototype41::models::simbad_utils.simbad_get_motifs_rev</u>
Retourne la liste des motifs * revenus.
<u>lyonprototype41::models::simbad_utils.simbad_get_codeiris_codesZones</u>
Initialisation d'un dictionnaire de passage IRIS code => IRIS.
<u>lyonprototype41::models::simbad_utils.simbad_create_od_index</u>
Création d'un index d'access OD depuis la formule : $oiris_code * 10000 + diris_code$.
<u>lyonprototype41::models::simbad_utils.simbad_add_code_iris</u>
Ajout et calculs des attributs code iris 1-777, 901-910.
<u>lyonprototype41::models::simbad_utils.simbad_add_attribute_ds</u>
Ajout d'un ou plusieurs attributs initialisés à zéro dans une table existante (Dataset).
<u>lyonprototype41::models::simbad_utils.simbad_add_get_attribute_ds</u>
Ajoute, si non existant, un attribut initialisé a zero dans une table (Dataset) puis retourne l'attribut en question.
<u>lyonprototype41::models::simbad_utils.simbad_get_dataset_new_ids</u>
Comparaison de 2 Datasets pour les années year et prev_year, puis retourne un tableau des Index (ou les Ids si return_ids=True) des nouveaux Identifiants.
<u>lyonprototype41::models::simbad_utils.simbad_cache_table_from_mysql</u>
Mise en cache d'une table MySql.
<u>lyonprototype41::models::simbad_utils.simbad_clean_values</u>
Elimination/remplacement des valeurs numériques incohérentes.
<u>lyonprototype41::models::simbad_utils.simbad_run_model</u>
Indique si le modèle peut être lancé
<u>lyonprototype41::models::simbad_utils.simbad_calc_temps_adj</u>
Calcul des temps aux zones adjacentes tpsTC, tpsVP.

3.2.3 Ajout / modifications de modules

SIMBAD reprend le module de localisation des ménages d'UrbanSim en l'adaptant au contexte français et aux données locales. Il transforme le module de localisation des activités en le calquant sur celui des ménages. Enfin, il ajoute un module de mobilité des ménages et prépare les liens avec les logiciels Freturb et Davisum. Mais préalablement au lancement de ces modules, une initialisation du logiciel doit être mise en œuvre.

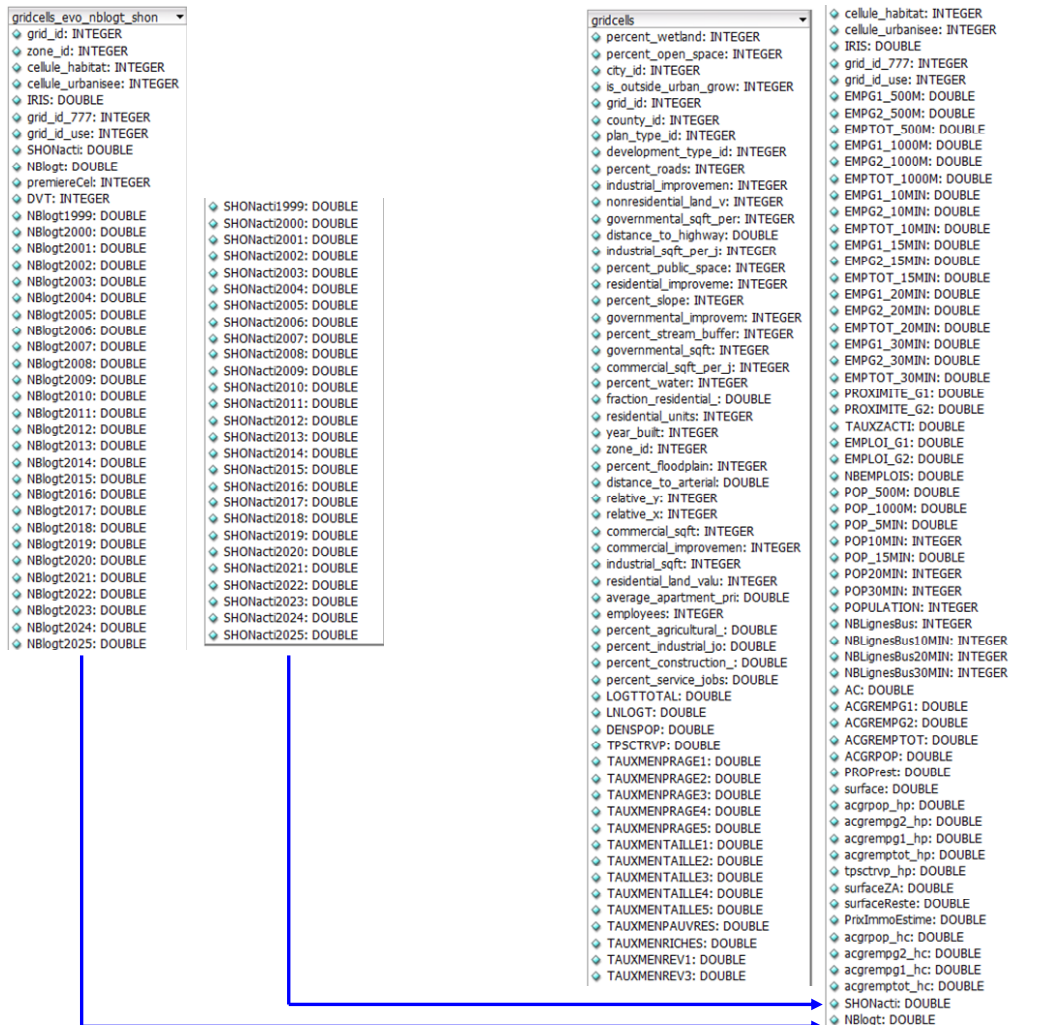
3.2.3.1 Initialisation

Elle est appelée par la commande :

lyonprototype41/models/simbad_initialisation_model.py.

Pour une année donnée de la simulation, les valeurs des attributs **nblogt** et **shonacti** de la table **gridcells_evo_nblogt_shon** (ouverte en lecture), sont affectées à la table **gridcells** (ouverte en écriture). C'est la méthode run() qui effectue cette tâche.

Mise à jour de gridcells par gridcells_evo_nblogt_shon



3.2.3.2 Le module de transition démographique et de localisation des ménages (UrbanSim)

a) Modifications apportées aux modules d'origine Urbansim

Dans une première phase, les tables de données Urbansim listées ci-dessous ont été adaptées pour SIMBAD :

- La table donnant le nombre total de ménages pour chaque année simulée selon leurs caractéristiques : **annual_household_control_totals**
- La table des attributs recalculés sur la base des contraintes aux marges dans la module de transition: **household_characteristics_for_ht**

- La table des probabilités de déménager : **annual_relocation_rates_for_households**

Les instructions de lecture de la table `annual_relocation_rates_for_households` ont été modifiées dans le code Urbansim. Les données indiquant les probabilités de déménager sont chargées en mémoire dans un objet Urbansim de classe **RateDataset**. Ces modifications ont eu lieu dans les fichiers sources `urbansim\datasets\rate_dataset.py` et `urbansim\datasets\rate_dataset.py`. Dans la version SIMBAD, au lieu d'utiliser les attributs `age_min` et `income_min` d'Urbansim, ce sont les attributs `age_min`, `persons_min`, `ownership_status_min` qui sont retenus.

b) Calcul du revenu des ménages

Les calculs sont lancés à partir de la méthode `run()` de la classe modèle `SimbadRevenuMenagesModel`, depuis laquelle un objet de classe `SimbadRevenuMenages()` est créé pour appeler la méthode `calculs_revenus_nouveaux_menages()`.

La liste des nouveaux ménages est extraite par la fonction `simbad_get_dataset_new_ids()`, puis les calculs sont effectués selon la procédure de Monte-Carlo, par tirage d'un nombre aléatoire compris entre [0,1] pour déterminer le niveau de revenu (bas, moyen ou haut) en fonction des caractéristiques du ménage : le taux d'activité (=nombre d'actifs / nombre de personnes), le type de logement et le nombre de voitures.

Le calcul de l'attribut `type12`, nécessaire au modèle de déplacement des ménages, est effectué à partir de la table **dm_mentype**.

- Fichiers sources

`lyonprototype41/models/simbad_revenu_menages_model.py`

`lyonprototype41/models/simbad_revenu_menages.py`

- Données utilisées

En lecture, les tables `dm_tx_revenu`, `dm_mentype`, `lyon_zone`.

En modification, la table `households`.

Le contenu de la table **dm_tx_revenu** est le suivant :

tx_revenu_id	tx_activite_ori	tx_activite	logement	nombre_vp	P_BASREV	P_REVM0Y	P_RICHES
1	0	0	proprietaire	0	0.25	0.82	1
2	0	0	proprietaire	1	0.067	0.751	1
3	0	0	proprietaire	2	0.029	0.603	1
4	0	0	locataire	0	0.401	0.981	1
5	0	0	locataire	1	0.209	0.886	1
6	0	0	locataire	2	0.029	0.689	1
7	0.33	0.33	proprietaire	0	0.194	0.928	1
8	0.33	0.33	proprietaire	1	0.068	0.755	1
9	0.33	0.33	proprietaire	2	0.225	0.612	1
10	0.33	0.33	locataire	0	0.523	0.991	1
11	0.33	0.33	locataire	1	0.254	0.914	1
12	0.33	0.33	locataire	2	0.095	0.711	1
13	0.66	0.66	proprietaire	0	0.138	0.936	1
14	0.66	0.66	proprietaire	1	0.069	0.759	1
15	0.66	0.66	proprietaire	2	0.016	0.62	1
16	0.66	0.66	locataire	0	0.654	1 NULL	
17	0.66	0.66	locataire	1	0.298	0.942	1
18	0.66	0.66	locataire	2	0.161	0.733	1
19	>0,66 <1	0.999	proprietaire	0	0.828	1 NULL	
20	>0,66 <1	0.999	proprietaire	1	0.1	0.716	1
21	>0,66 <1	0.999	proprietaire	2	0.032	0.642	1
22	>0,66 <1	0.999	locataire	0	0.696	1 NULL	
23	>0,66 <1	0.999	locataire	1	0.289	0.961	1
24	>0,66 <1	0.999	locataire	2	0.148	0.852	1
25	1	1	proprietaire	0	0.223	0.693	1
26	1	1	proprietaire	1	0.045	0.531	1
27	1	1	proprietaire	2	0.012	0.494	1
28	1	1	locataire	0	0.515	0.915	1
29	1	1	locataire	1	0.126	0.759	1
30	1	1	locataire	2	0.04	0.667	1

3.2.3.3 Calcul des caractéristique des zones et des variables d'accessibilités

- Fichier source

lyonprototype41/models/simbad_caracteristiques_zones_model.py

- Données utilisées

En lecture, les tables **households**, **sirene99**, **tm_mat_tg_syn**, **lyon_zone**.

En modification, la table **gridcells**.

En création la table **zones_caracteristiques**.

- Description

La table de sortie **zones_caracteristiques** est initialisée par un tableau mémoire à partir de la liste des IRIS (777+10) issus de la table **lyon_zone**, puis les calculs suivants sont lancés :

```
# Calcul des variables des activites economiques
self.calculs_vars_activites_economiques(year, caracteristiques_zones, ds_etab, ds_gridcells)

# Calcul des variables concernant la population
self.calculs_vars_population(year, caracteristiques_zones, ds_men, ds_gridcells)

# Calcul des variables d'access aux reseaux de transport
self.calculs_vars_access_reseau_transport(year, caracteristiques_zones, ds_gridcells, ds_od)

# Calcul du prix de l'immobilier
self.calculs_vars_prix_immobilier(year, caracteristiques_zones, ds_gridcells)

# Calcul des variables d'accessibilites
```



```
self.calculs_vars_accessibilites(year, caracteristiques_zones, ds_od, ds_gridcells)
```

```
# Calcul taux de motorisation menages
```

```
SimbadTauxMotorisation(storage).calculs_taux_motorisation(year, caracteristiques_zones,  
ds_men, ds_gridcells)
```

Dans la table de sortie **zones_caracteristiques** les résultats des variables sont établis à l'IRIS, puis pour certaines variables la table **gridcells** est actualisée selon le tableau suivant :

Description	Attributs de la table zones_caracteristiques	Attributs de la table gridcells
Variables des activités économiques		
Nombre d'établissements du groupe 1 dans la zone i (NG1)	etab_nombre_g1	
Nombre d'établissement du groupe 2 dans la zone i (NG2)	etab_nombre_g2	
Nombre d'établissement du groupe 3 dans la zone i (NG3)	etab_nombre_g3	
Nombre de grands commerces (nb établissements J3 de plus de 10 emplois)- NGC _i	etab_nombre_grcom	
Nombre d'établissements secondaires (nb établissement d'APET700 = 802A ou 802C) - NES _i	etab_nombre_etsec	
Somme des emplois des établissements du groupe 1 (EG1)	etab_somme_emploi_g1	
Somme des emplois des établissements du groupe 2 (EG2)	etab_somme_emploi_g2	
Somme des emplois des établissements du groupe 3 (EG3)	etab_somme_emploi_g3	
Somme des emplois des établissements des secteurs d'activité d'achat et de service, nes15=J3, EP	etab_nombre_emplois_ach_serv	
Somme des emplois des établissements des secteurs d'activité nes15=EP, EQ, EM	etab_nombre_emplois_autres	
Somme des emplois de tous les établissements (ET _i)	etab_nombre_emplois_tot	
Variables concernant la population		
Population totale de la zone	popu_totale	
Proportion de bas revenus	popu_prop_bas_revenu	tauxmenrev1
Proportion de hauts revenus	popu_prop_haut_revenu	tauxmenrev3
Proportion de personnes dans des ménages dont le chef a moins de 30 ans (<30)	popu_prop_pers_chef_moins_30	tauxmenprage1
Proportion de personnes dans des ménages dont le chef a entre 30 et 45 ans ([30-45])	popu_prop_pers_chef_entre_30_45	tauxmenprage2
Proportion de personnes dans des ménages dont le chef a plus de 75 ans (>=75)	popu_prop_pers_chef_plus_75	tauxmenprage5
Proportion de personnes dans des ménages de 1 personne	popu_prop_pers_pers_1	tauxmentaille1
Proportion de personnes dans des ménages de 2 personnes	popu_prop_pers_pers_2	tauxmentaille2
Proportion de personnes dans des ménages de 5 personnes ou plus	popu_prop_pers_pers_5	tauxmentaille5
Densité de population DPOP _i = Pop _i /S _i	popu_densite	
Classe de densité de population	popu_densite_classe	
Variables d'accès aux réseaux de transport		
Nombre d'arrêts de bus	reseau_nbre_arret_bus	
Nombre d'échangeurs	reseau_nbre_echangeurs	
Nombre de gares	reseau_nbre_gares	

Nombre de stations de métro	reseau_nbre_station_metro	
Temps d'accès VP à la Préfecture (Iris=693830101) en HP.	reseau_distance_prefecture	
Calcul du prix de l'immobilier		
Prix de l'immobilier donnée par la formule : $935.2 * 9.24 * Q1 + 10.63 * Q5 - 5.44 * Tvp$ Avec : Q1 : proportion de ménage de l'Iris du premier quintile de revenu Q5 : proportion de ménage de l'Iris du premier quintile de revenu Tvp : temps d'accès VP à la préfecture	priximmoestime	priximmoestime
Calcul des variables d'accessibilité		
Gravitaire à l'emploi du groupe 1	acc_gravitaire_eg1	acgrempg1
Gravitaire à l'emploi du groupe 2	acc_gravitaire_eg2	acgrempg2
Gravitaire à l'emploi total	acc_gravitaire_emptot	acgremptot
Gravitaire aux grands commerces	acc_gravitaire_grcom	acgrgrcom
Gravitaire aux établissements secondaires	acc_gravitaire_etsec	acgretsec
Gravitaire à la population	acc_gravitaire_pop	acgrpop
Nombre d'échangeurs à moins de 15 mn	acc_nbre_echangeurs15min	nbechangeurs15min
Nombre de gares à moins de 30 mn	acc_nbre_gares30min	nbgares30min
Nombre d'arrêts de bus à moins de 1000 mètres	acc_nbre_arret_bus1000m	nbarbus1000m
Nombre de stations de métro à moins de 1000 mètres	acc_nbre_station_metro1000m	nbstmetro1000m
Variable d'accessibilité agrégée obtenue à partir d'une formule qui combine les variables précédentes : $-0.119 * \text{reseau_distance_prefecture} +$ $0.124 * \text{acc_nbre_echangeurs15min} +$ $0.112 * \text{acc_nbre_arret_bus1000m} +$ $0.092 * \text{acc_nbre_station_metro1000m} +$ $0.117 * \text{acc_nbre_gares30min} +$ $0.129 * \text{acc_gravitaire_grcom} +$ $0.129 * \text{acc_gravitaire_etsec} +$ $0.130 * \text{acc_gravitaire_eg1}$	acc_agreee	ac
Calcul du taux de motorisation		
	taux_moto	

3.2.3.4 Le module de transition économique et de localisation des activités

a) Principes

Afin de traiter les établissements, la solution retenue a été de s'appuyer sur ce qui a été fait pour les ménages (Household), sans modification dans la démarche.

Comme dans les fichiers sources Python, les noms des attributs spécifiques à la table sont définis directement sous un format de type string (ex : "age_of_head"). Il est donc plus rigoureux de créer un nouveau type de Dataset nommé **Sirene99Dataset** pour gérer les données des entreprises. Cela nécessite de créer également d'autres sources Python pour gérer les indicateurs et les modèles (transition, location, relocation), si possible, en utilisant la notion d'héritage de classe afin d'éviter de dupliquer le code existant pour les ménages (Household). Pour les établissements, les classes de modèles suivants ont été créées :

- EtablissementLocationChoiceModel (simbad_etablissement_location_choice_model.py)
- SimbadEtablissementTransitionModel (simbad_etablissement_transition_model.py)

- EtablissementRelocationModelCreator
(simbad_etablissement_relocation_model_creator.py)

La nouvelle entité établissements « sirene99 » et son modèle ont été créés par similitude avec ce qui existe pour les ménages « Household »

Table des données d'établissements : sirene99

Fichier : Voir sous [lyonprototype41\models](#):

```
simbad_etablissement_location_choice_model_creator.py
simbad_etablissement_relocation_model_creator.py
simbad_etablissement_relocation_probabilities.py
simbad_etablissement_transition_model.py
```

Il faut également définir ces nouveaux modèles dans le fichier de configuration [lyonprototype41\configs\baseline.py](#)

Par exemple pour le model de Transition :

```
class GeneralConfiguration(Configuration):
    _controller_configuration["simbad_etablissement_transition_model"] = {
        'import': {
            'lyonprototype41.models.simbad_etablissement_transition_model':
'SimbadEtablissementTransitionModel'
        },
        'init': {
            'arguments': {'debuglevel': 'debuglevel'},
            'name': 'SimbadEtablissementTransitionModel'
        },
        'prepare_for_run': {
            'arguments': {'storage': 'base_cache_storage'},
            'name': 'prepare_for_run',
            'output': '(control_totals, characteristics)'
        },
        'run': {
            'arguments': {
                'characteristics': 'characteristics',
                'control_totals': 'control_totals',
                'etabl_set': 'sirene99',
                'year': 'year',
                "storage": "base_cache_storage"
            }
        }
    },
```

b) Calcul de la typologie des nouveaux établissements

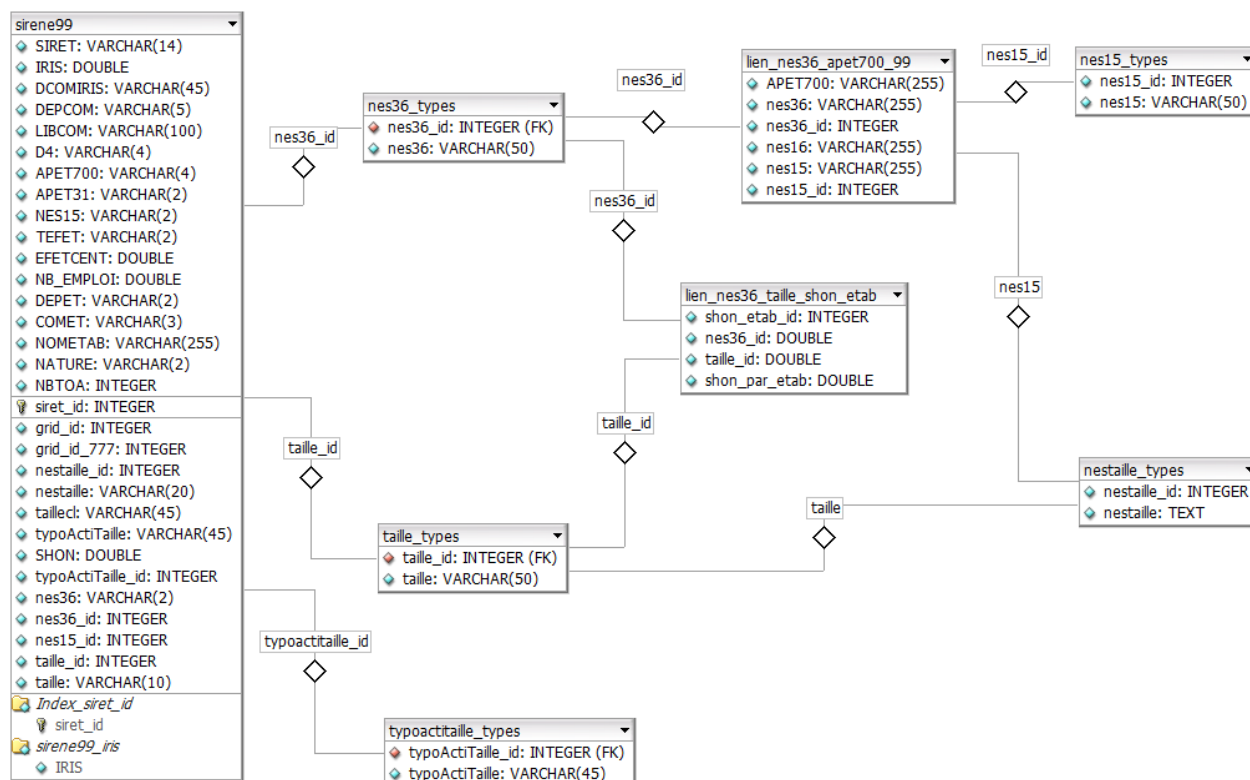
Les calculs de la typologie, de la SHON et du nombre d'emplois, sont effectués à la fin du module de transition qui a généré des nouveaux établissements.

Les attributs actualisés à partir de la classe 36 du secteur d'activité (nes36_id) et la taille de l'établissement (taille_id) sont :

- le libellé correspondant à nes36_id (nes36),
- le libellé correspondant à taille_id (taille),
- la variable combinant secteur d'activité et taille (nestaille_id),
- la typologie (typoactitaille_id),
- la classe 15 du secteur d'activité (nes15 et nes15_id),
- la surface shon (shon),

- le nombre d'emplois (nb_emploi)

Schéma relationnel des tables de données utilisées



- Fichier source

lyonprototype41/models/simbad_etablissement_transition_model.py

lyonprototype41/models/simbad_etablissement_typo.py

- Données utilisées

En lecture, les tables **typoactitaille_types**, **lien_nes36_apet700_99**, **taille_types**, **nestaille_types**, **lien_nes36_taille_shon_etab**, **sirene99_emploi_2000_2025**.

En modification, la table **sirene99**.

3.2.3.5 Le module de mobilité des ménages

a) Principes

A partir des caractéristiques des ménages répertoriés dans la table households, on effectue dans la table issue de l'enquête ménages 2006 (table **dm_men06_simb**) un tirage aléatoire de ménages présentant les mêmes caractéristiques. Ceci permet de déterminer le nombre de boucles d'émission nécessaire au module d'attraction des zones. La table **dm_mentype** indique les ménages de mêmes caractéristiques, en fonction du type de ménage type_id, l'attribut typeemd désigne la valeur clef du type de ménage et l'attribut typecolemd désigne la valeur du nom de la colonne qu'il faut utiliser (type6, type6b, type8, type8b, type10, type12) pour rechercher un ménage dans la table de l'enquête ménages 2006.

En amont de cette phase, le taux de motorisation des ménages doit être calculé pour les ménages nouvellement créés, ainsi que pour ceux ayant déménagé. En effet, ce taux étant très dépendant de la localisation des ménages, il ne peut être calculé de manière pertinente qu'une fois la partie UrbanSim de SIMBAD réalisée.

- Fichier source

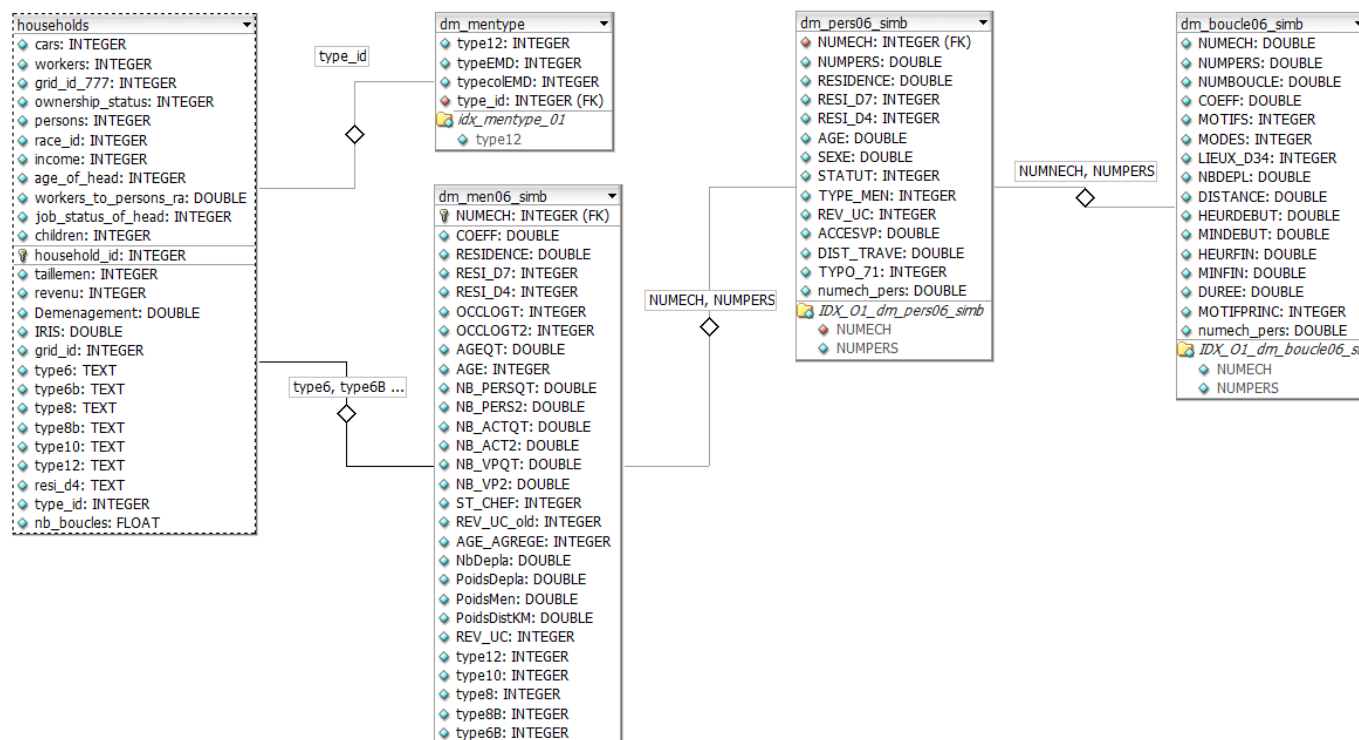
lyonprototype41/models/simbad_deplacement_menages_model.py

- Données utilisées

En lecture, les tables lyon_zone, households, dm_men06_simb, dm_boucle06_simb, dm_pers06_simb, dm_mentype.

En création, la table **m1em_boucl_iris_YYYY** (avec YYYY pour l'année en cours).

Schéma relationnel des tables de données utilisées



Le contenu partiel de la table **dm_mentype** est le suivant :

type12	typeEMD	typecolEMD	type_id
D1P1w0A1v0R1	D1P1w0A1v0R1	type12	1
D1P1w0A1v0R2	D1P1w0A1v0	type10	2
D1P1w0A1v0R3	D1P1w0A1v0	type10	3
D1P1w0A2v0R1	D1P1w0A2v0	type10	4
D1P1w0A2v0R2	D1P1w0A2v0	type10	5
D1P1w0A2v0R3	D1P1w0A2v0	type10	6
D1P1w0A3v0R1	D1P1w0A3v0R1	type12	7
D1P1w0A3v0R2	D1P1w0A3v0R2	type12	8
D1P1w0A3v0R3	D1P1w0A3v0	type10	9
D1P1w0A4v0R1	D1P1w0A4v0R1	type12	10
D1P1w0A4v0R2	D1P1w0A4v0R2	type12	11
D1P1w0A4v0R3	D1P1w0A4v0	type10	12
D1P1w0A1v1R1	D1P1w0A1v1	type10	13
D1P1w0A1v1R2	D1P1w0A1v1	type10	14
D1P1w0A1v1R3	D1P1w0A1v1	type10	15
D1P1w0A2v1R1	D1P1w0A2	type8	16
D1P1w0A2v1R2	D1P1w0A2	type8	17
D1P1w0A2v1R3	D1P1w0A2	type8	18
D1P1w0A3v1R1	D1P1w0A3v1	type10	19
D1P1w0A3v1R2	D1P1w0A3v1R2	type12	20
D1P1w0A3v1R3	D1P1w0A3v1	type10	21
D1P1w0A4v1R1	D1P1w0A4v1	type10	22
D1P1w0A4v1R2	D1P1w0A4v1R2	type12	23
D1P1w0A4v1R3	D1P1w0A4v1	type10	24
D1P1w0A1v2R1	D1P1w0A1	type8	25
D1P1w0A1v2R2	D1P1w0A1	type8	26
D1P1w0A1v2R3	D1P1w0A1	type8	27

b) Calcul du taux de motorisation

Le calcul de la motorisation de chaque ménage est effectué par tirage d'un nombre aléatoire compris entre [0,1] et en fonction des caractéristiques du ménage : le nombre de personnes, le nombre d'actifs, la classe de la densité de population de la cellule où le ménage est localisé.

- Fichier source

lyonprototype41/models/simbad_taux_motorisation.py

- Données utilisées

En lecture, les tables dm_motorisation, lyon_zone.

En modification, la table households, gridcells.

Le contenu partiel des données de la table **dm_motorisation** est le suivant :

popu_densite_classe	nb_pers	nb_act	proba	proba_cumulee	nb_vp	moto_id
1	1	0	0.457	0	0	1
1	1	0	0.502	0.457	1	2
1	1	0	0.041	0.959	2	3
1	1	1	0.1	0	0	4
1	1	1	0.835	0.1	1	5
1	1	1	0.066	0.935	2	6
1	2	0	0.069	0	0	7
1	2	0	0.645	0.069	1	8
1	2	0	0.286	0.714	2	9
1	2	1	0.033	0	0	10
1	2	1	0.49	0.033	1	11
1	2	1	0.478	0.523	2	12
1	2	2	0.006	0	0	13
1	2	2	0.25	0.006	1	14
1	2	2	0.744	0.256	2	15
1	3	0	0.083	0	0	16
1	3	0	0.5	0.083	1	17
1	3	0	0.417	0.583	2	18
1	3	1	0.021	0	0	19
1	3	1	0.394	0.021	1	20
1	3	1	0.586	0.415	2	21
1	3	2	0.003	0	0	22
1	3	2	0.173	0.003	1	23
1	3	2	0.824	0.176	2	24
1	4	0	0	0	0	25
1	4	0	0.429	0	1	26
1	4	0	0.571	0.429	2	27

c) Attractions des zones et répartition modale

Le calcul des temps VP/TC aux zones adjacentes est réalisé par appel de la fonction `simbad_calc_temps_adj()`. Pour chaque classe de revenu et de motif, les calculs des phases de distribution et de répartition modale sont exécutés.

- Fichier source

`lyonprototype41/models/simbad_attractions_zones_model.py`

- Données utilisées

En lecture, la table **m1em_boucl_iris_YYYY** (émissions à l'année YYYY) issue du module de déplacement des ménages, la table **tm_zones_adjacentes** nécessaire pour le calcul des temps généralisés VP/TC des zones adjacentes.

En modification, les tables **tm_mat_attractions** (attractions), **tm_mat_tg_syn** (matrices OD des temps généralisés), **tm_calc_e** (calculs émissions), **tm_calc_a** (calculs attractions).

En création, la table **tm_mat_tg_syn_XXX** (avec XXX pour le niveau de revenu « bas », « moyen », « haut »).

En lecture, la structure de données `config_attractions` de la configuration SIMBAD pour le niveau de revenu « bas », « moyen », « haut » et les 6 motifs « travail », « ach_serv », « nour_prim », « coll_lyc », « univ », « autres ».

```
config_attractions = {
    # Marge max entre les emissions et attraction en pourcentage
    'MaxEcartMTLD': 2,
    # Coefficients de calage
    'CoeffsCalage': config_attractions_calage,
```

```

'CoeffsCalageOD_MM':
{ 'bas':          config_attractions_calage_OD_MM_bas,
  'moyen':        config_attractions_calage_OD_MM_moyen,
  'haut':         config_attractions_calage_OD_MM_haut,
},
'CoeffsCalageOD_TC':
{ 'bas':          config_attractions_calage_OD_TC_bas,
  'moyen':        config_attractions_calage_OD_TC_moyen,
  'haut':         config_attractions_calage_OD_TC_haut,
},
# Coefficients Beta
'CoeffsBeta' :
{ 'bas':          config_attractions_beta_bas,
  'moyen':        config_attractions_beta_moyen,
  'haut':         config_attractions_beta_haut,
},
}

```

d) Répartition horaire

La table de sortie **mat_repartition_hor** est initialisée par un tableau mémoire avec les OD oiris, diris, oris_code, diris_code.

Les données cordon sont converties en unité VP (UVP), par multiplication d'un coefficient 2,5 pour les articulés et un coefficient de 2 pour les VUL et porteurs.

Les données des flux de transport de marchandises sont tirées de l'année la plus proche pour laquelle l'application Freturb a été lancée (tous les 5 ans 2000, 2005, 2010 ..., 2025). De plus les données Freturb sont déjà en UVP et distinguées entre l'heure de pointe et l'heure creuse.

Les données des flux générés par les ménages sont issues du module d'attraction des zones et de la répartition modale.

Le temps de traitement est d'environ 3 minutes pour générer l'exhaustivité des matrices, au final la table contient $(777 + 10)^2 = 619\,369$ lignes et 102 colonnes² :

- Fichier source

lyonprototype41/models/simbad_repartition_horaire_model.py

- Données utilisées

En lecture, les tables des flux de transit et d'échange **tm_mat_cordon_art** (ART), **tm_mat_cordon_vp** (VP), **tm_mat_cordon_vul** (VUL).

En lecture, la table **v_mat_freturb_repartition_hor** (articulés et VUL) des flux de transports de marchandises, issue de l'application Freturb.

² Détail du calcul :

$$\begin{aligned}
 & 4[\text{oiris/diris/oiris_code/diris_code}] + 2[\text{HP/HC}] * (2[\text{VP/TC}] * 3[\text{niveaux de revenu}] * 6[\text{motifs}] \text{ ménages} + 2[\text{ART/VUL}] \\
 & \text{Freturb} + 3[\text{VP/ART/VUL}] \text{ cordon} + 2[\text{VP/TC}] * 3[\text{niveaux de revenu}] \text{ sous totaux ménages} + 2[\text{route/transport}] \text{ totaux}) \\
 & = 4 + 2 * (2*3*6 + 2 + 3 + 2*3 + 2) \\
 & = 4 + 2 * 49 \\
 & = 102
 \end{aligned}$$

En lecture, les tables des flux des ménages VP et TC `tm_mat_tg_syn_REV` (REV pour les niveaux de revenu bas, moyen, haut)

En lecture, depuis le fichier de configuration `simbad_configuration.py`, les coefficients de répartition horaire HP (l'heure creuse étant 1 – Coefficient HP) par motif pour les ménages, transit/échange pour les données cordons (le transit se rapporte à toutes les OD dont l'origine ou la destination est comprise entre [901,910]).

En création, la table **mat_repartition_hor**.

3.2.4 Le module de mobilité des marchandises

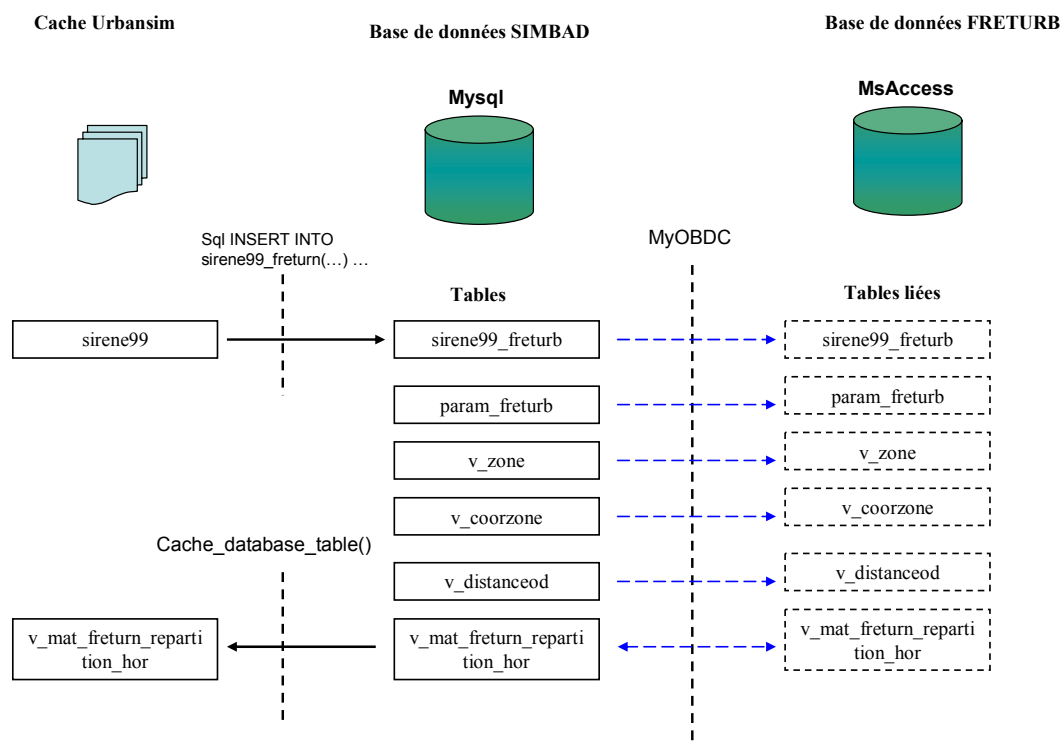
Compte tenu de la durée d'une simulation FRETURB et de l'espace disque nécessaire pour accueillir les traitements intermédiaires et les résultats finaux, les flux de marchandises ne sont estimés que tous les 5 ans. Ainsi, selon l'année en cours de traitement, SIMBAD évalue s'il faut ou non lancer l'application Freturb en vérifiant si l'année est répertoriée dans la liste définie par la variable `config_simbad_run_freturb` :

```
# Liste des annees pour lesquelles Freturb est lance (il faut impérativement
la premiere annee)
config_simbad_run_freturb = [2000, 2005, 2010, 2015, 2020, 2025]
```

Les données des entreprises **sirene99** qui évoluent chaque année sont dans le cache UrbanSim. Elles sont importées dans la table MySQL **sirene99_freturb** afin que l'application Freturb puisse y accéder au travers de la vue **v_sirene99** liée dans l'application Freturb écrite sous Microsoft Access (les autres tables ou vues **v_*** sont également accessibles par l'application Freturb). L'application Freturb est lancée par SIMBAD afin de réaliser les calculs de génération et de distribution des flux de marchandises. L'enchaînement est effectué en mode synchrone, c'est à dire que SIMBAD attend la fin de l'exécution de Freturb. Au final les données résultats de la table **v_mat_freturb_repartition_hor** sont mises dans le cache UrbanSim.

Après exécution de Freturb, le résultat est conservé dans un fichier copié sous **lyonprototype41/data/freturb/YYYY_FreturbSimbadCopy.mdb** (avec YYYY pour l'année en cours).

Flux de données entre SIMBAD et Freturb :



Ainsi sur 25 ans, on obtient 6 fichiers Microsoft Access avec leurs traces pour une taille totale sur le disque de 958 Mo.

- Fichier source

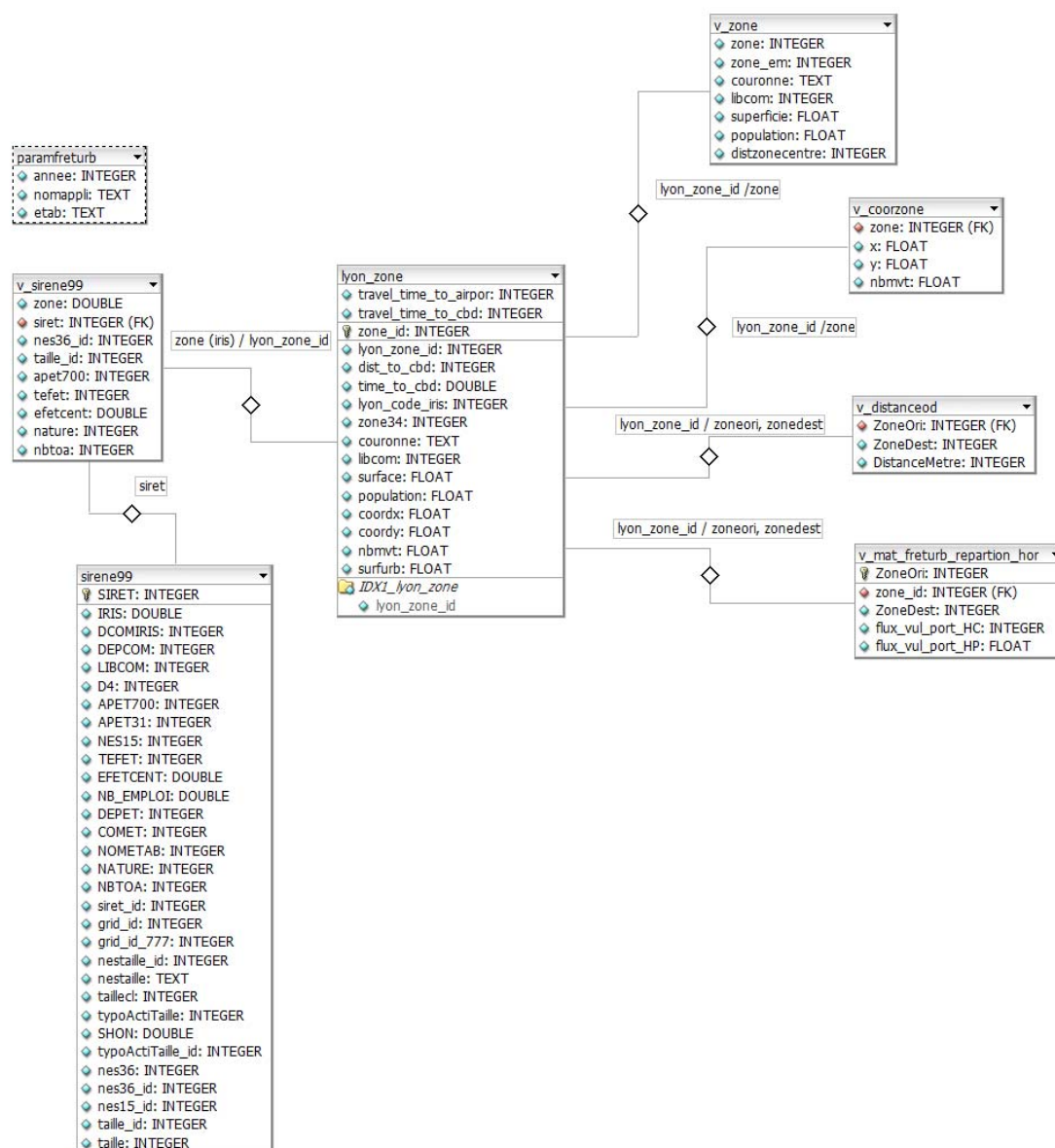
lyonprototype41/models/freturb_transportation_model.py

- Données utilisées

En lecture, les tables **v_sirene99** (vue de la table **sirene99_freturb** issue de **sirene99**), **v_zone** (vue de la table **lyon_zone**), **v_coorzone** (vue de la table **lyon_zone**), **v_distanceod**.

En modification, la table **v_mat_freturb_repartition_hor**.

Schéma relationnel des tables de données utilisées



3.2.5 Le module d'affectation du trafic sur le réseau lyonnais à l'aide de Davisum

a) Principes

Le déroulement des traitements depuis l'application SIMBAD est le suivant

- Création des matrices OD de demande par segments de données VP, PL et TC en HP (heure de pointe) ou HC (heure creuse) depuis les données issues de la répartition modale, l'application Freturb, les données de transit et d'échanges et qui sont retraitées par la procédure de répartition horaire.
- Lancement de Davisum
- Chargement des matrices OD par segment de demande
- Lancement de la procédure d'affectation et de génération des matrices indicateurs
- Chargement des matrices d'indicateurs dans SIMBAD
- Mise à jour de la matrice des temps généralisés VP et TC

Les matrices de demande sont générées au format ascii (fichiers textes), pour optimiser les temps de génération. Seules les OD ayant des valeurs non vides et positives sont extraites de SIMBAD. L'application Davisum est lancée et contrôlée par SIMBAD (l'exécution est en mode synchrone). Le fichier « version » original qui contient les données du réseau routier et transport est ouvert. Les matrices de demandes sont chargées dans Davisum. Le fichier de procédure global (fichier VP-TC Procedure_global.par) ou de détail (fichier VP-TC Procedure_detail.par) est chargé. La procédure est modifiée pour initialiser l'année de simulation en cours à l'étape 2, et initialiser le coefficient de pénalité de péage à l'étape 5. La procédure est exécutée. Le fichier version original est sauvegardé sous le même nom avec en suffixe le numéro de l'année sur 4 chiffres (2000, 2001 ...)³. Enfin, l'application Davisum est fermée par SIMBAD.

Les matrices d'indicateurs sont chargées dans le cache UrbanSim dans les tables **davisummat_*** soit de manière exhaustive :

- En HP (toutes les années):
 - davisummat_hp_tch_vp: temps à charge VP,
 - davisummat_hp_td_tc : temps moyen TC
 - davisummat_hp_tg_pl : temps généralisé PL
 - davisummat_hp_tg_tc : temps généralisé TC
 - davisummat_hp_tg_vp : temps généralisé VP
- En HC (tous les 5 ans) (fichiers idem à ceux de heures de pointe, mais le nom de la table contient « hc » au lieu de « hp »).

Enfin la table **tm_mat_tg_syn** est modifiée pour affecter les attributs :

- tpsvp du temps généralisé VP (**davisummat_hp_tg_vp**)

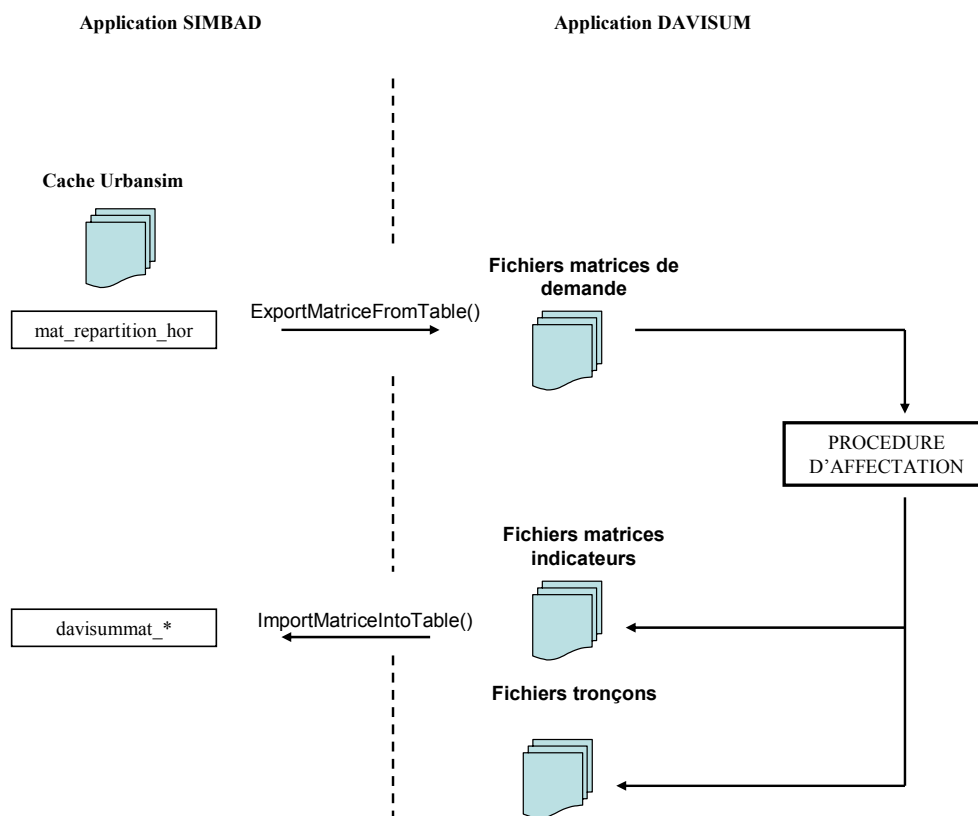
³ Ainsi sur 25 ans, on obtient :

- 26 fichiers versions (un par an), taille disque = 5,26 Go
- 32 fichiers tronçons (26 en HP + 6 en HC), taille disque = 282 Mo
- 204 fichiers matrices de demandes générée par SMBAD, taille disque = 5,23 Go
- 400 fichiers matrices indicateurs en sortie Davisum, taille disque = 6,7 Go

Taille totale sur disque = 17,47 Go

- tpstc du temps généralisé TC (**davisummat_hp_tg_tc**) ou la moyenne du temps à charge pour les zones adjacentes (**davisummat_hp_td_tc**)
- tpschvp du temps à charge VP (**davisummat_hp_tch_vp**)

Principe du flux de données entre SIMBAD et Davisum :



- Fichier source

lyonprototype41/models/simbad_affectation_davisum_model.py

- Données utilisées

En lecture, la table **mat_repartition_hor** issue du module de répartition horaire,

En lecture depuis le fichier de configuration **simbad_configuration.py** :

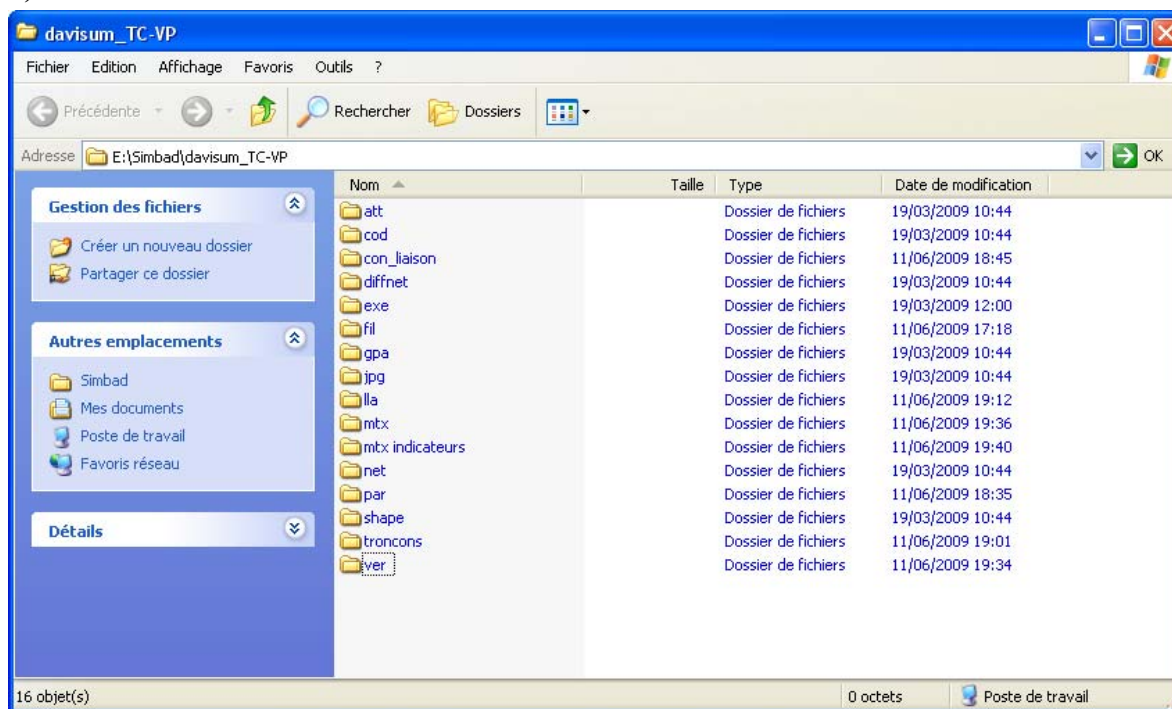
la structure de données **simbad_matrices_OD** qui liste les matrices de demande à générer,

la structure de données **config_affectation_davisum_TC_VP** qui donne l'emplacement des fichiers de données Davisum et qui liste les fichiers matrices indicateurs à sauvegarder.

En modification, la table **tm_mat_tg_syn**.

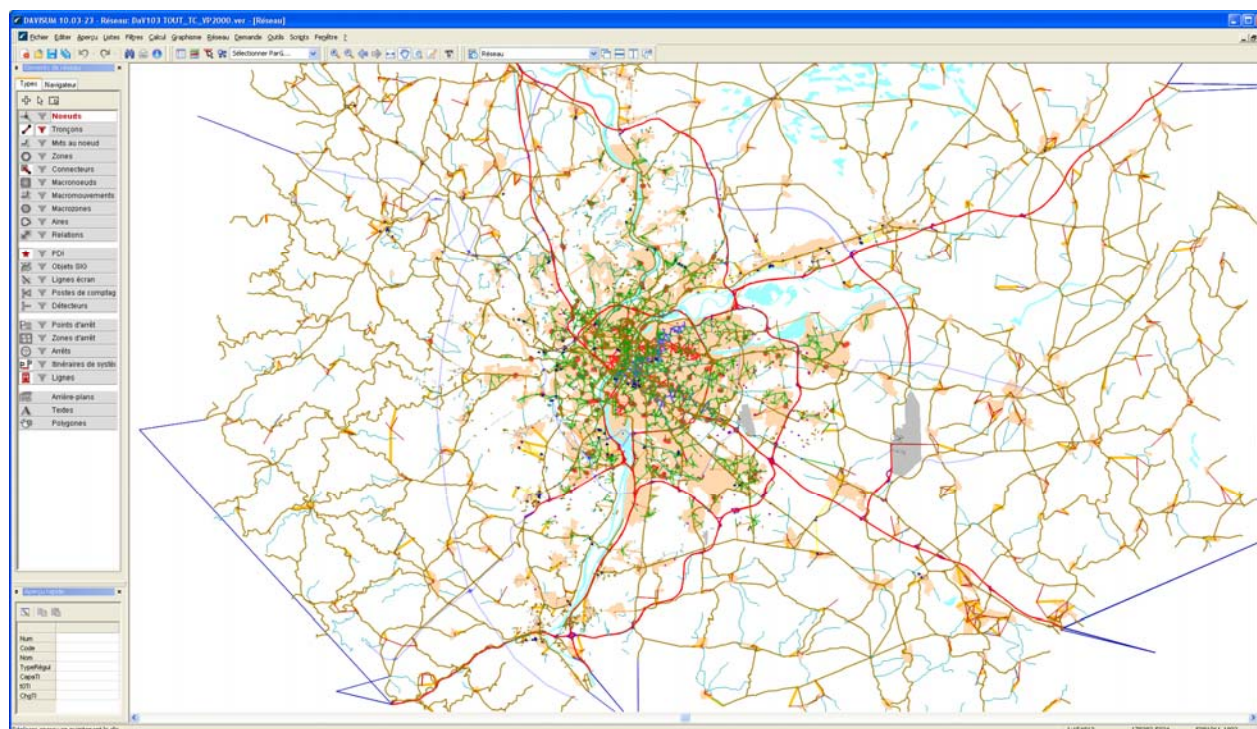
En création, les tables **davisummat_*** (voir description pour le détail).

b) Arborescence des fichiers Davisum



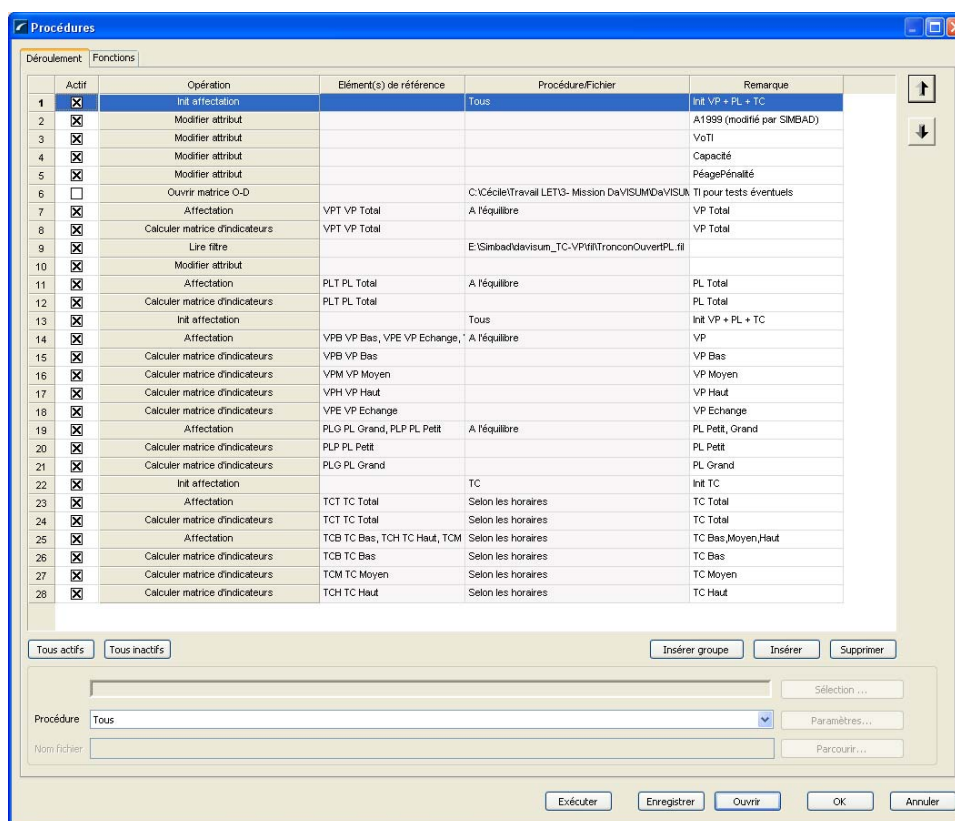
c) Fonctions principales de Davisum

- Ouverture d'un fichier version dans l'application Davisum

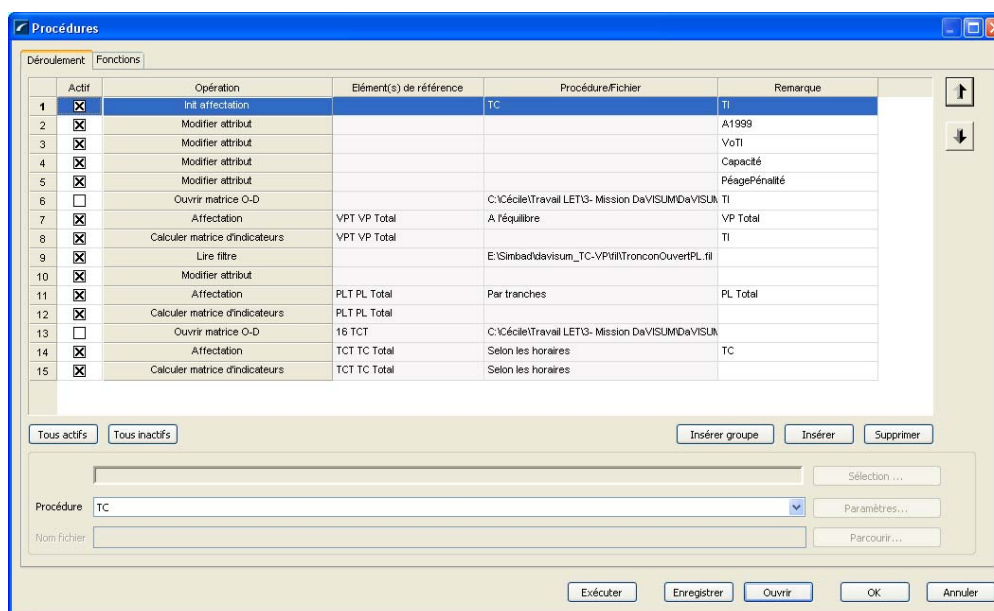


Le fichier version a une taille d'environ 150 Mo, une version du fichier est sauvegardée pour chaque année constituant la simulation (2000 à 2025).

- La procédure d'affectation détaillée, lancée tous les 5 ans



- La procédure d'affectation globale, lancée les autres années



- Paramètres de l'étape 2, modification de l'attribut caractéristique tronçon en fonction de l'année en cours

Paramètres : Modifier attribut

Classe élém. réseau : Tronçons ☐ actifs seuls

Attribut cible : Numéro Type ☐ Ajouter valeur ☒ Couper ☐ Arrondir

:= ☐ Constante ☒ Formule

	Coefficient	Attribut	Op.	Coefficient	Attribut	...
	1.000000	caractéristique Année 20		0.000000	1.0	☐

Insérer Supprimer

OK Annuler

- Paramètres de l'étape 3, modification du type de tronçon

Paramètres : Modifier attribut

Classe élém. réseau : Tronçons ☐ actifs seuls

Attribut cible : v0 TI ☐ Ajouter valeur ☒ Couper ☐ Arrondir

:= ☐ Constante ☒ Formule

	Coefficient	Attribut	Op.	Coefficient	Attribut	...
	1.000000	Type de tronçon\	v0 TI	0.000000	1.0	☐

Insérer Supprimer

OK Annuler

- Paramètres de l'étape 4, modification de la capacité des tronçons

Paramètres : Modifier attribut

Classe élém. réseau : Tronçons ☐ actifs seuls

Attribut cible : Capacité TI ☐ Ajouter valeur ☒ Couper ☐ Arrondir

:=
☐ Constante 0
☒ Formule

Coefficient	Attribut	Op.	Coefficient	Attribut	...
1.000000	pe de tronçon\Capacité		0.000000	1.0	☐

Insérer Supprimer

OK Annuler

- Paramètres de l'étape 5, modification du coefficient de pénalité de péage (PL)

Paramètres : Modifier attribut

Classe élém. réseau : Tronçons ☐ actifs seuls

Attribut cible : PenalitePeageVP ☐ Ajouter valeur ☒ Couper ☐ Arrondir

:=
☐ Constante 0.00
☒ Formule

Coefficient	Attribut	Op.	Coefficient	Attribut	...
1.000000	PenalitePeageVP		0.000000	1.0	☐

Insérer Supprimer

OK Annuler

- Paramètres de l'étape 10, modification du système de transport PL

Paramètres : Modifier attribut

Classe élém. réseau : Tronçons ☒ actifs seuls

Attribut cible : Ensemble SysTr

:=

☒ Constante ☐ Formule

PLT,PLG,PLP,V,B,N,T

Attribut
...

Insérer Supprimer

OK Annuler

- Paramètres des matrices d'indicateurs calculées après une affectation TI (réseau routier)

Paramètres matrice d'indicateurs TI

Relations considérées

☐ Calculer uniquement les relations O-D > 0

☐ Afficher uniquement paires de zones actives

Choix de chemin

Critère de recherche : Tps gén.

☒ Utiliser chemins issus de l'affectation

Pondération des chemins : Val. moy. chg itinéraires

Additionner chemins de

☒ Tronçons ☒ Connecteurs E

☒ Mvts au noeud ☒ Connecteurs A

Indicateurs

Enregistrer ...	Stocker en ...	Ouvrir	Indicateur
☒	☐	☐	t0 -SysTrTI
☒	☐	☐	tChg-SysTrTI
☐	☐	☐	v0-SysTrTI

Enregistrer dans un fichier : Tous ON Initialiser

Stocker en mémoire : Tous ON Initialiser

Fichier de sortie

Nom fichier : E:\Simbad\davisum_TC-VP\mtx_indicateurs\mat_indic_vpt

Format : Format O NumMoyenTransp. (VISEM) ☒ 4

Séparateur : Espace Confirmer écrasement ☒

OK Annuler

Paramètres matrice d'indicateurs TI

Relations considérées

☐ Calculer uniquement les relations O-D > 0

☐ Afficher uniquement paires de zones actives

Choix de chemin

Critère de recherche : Tps gén.

☒ Utiliser chemins issus de l'affectation

Pondération des chemins : Val. moy. chg itinéraires

Additionner chemins de

☒ Tronçons ☒ Connecteurs E

☒ Mvts au noeud ☒ Connecteurs A

Indicateurs

Enregistrer ...	Stocker en ...	Ouvrir	Indicateur
☐	☐	☐	vChg-SysTrTI
☒	☐	☐	Tps généralisé-SysTrTI
☐	☐	☐	Dist en véhicule

Enregistrer dans un fichier : Tous ON Initialiser

Stocker en mémoire : Tous ON Initialiser

Fichier de sortie

Nom fichier : E:\Simbad\davisum_TC-VP\mtx_indicateurs\mat_indic_vpt

Format : Format O NumMoyenTransp. (VISEM) ☒ 4

Séparateur : Espace Confirmer écrasement ☒

OK Annuler

Sélection également du « Tps généralisé-SysTrTI » situé plus bas dans la liste.

Le « Nom de fichier » E:\Simbad\davisum_TC-VP\mtx_indicateurs\mat_indic_tct est un nom de fichier générique qui est complété par une extension en fonction des indicateurs sélectionnés lorsque le format est de type « Format O », donné par le tableau suivant :

Matrices d'indicateurs

	Num	Code	Nom	Déc.	Arrondi aléat.	Somme	Somme Interne	Stocker données en	Nom fichier	Format	SegD
1	1	TTC	tChg-SysTrTI	0	☐	21452223	0	☒			VPH VP Haut
2	2	TT0	t0 -SysTrTI	0	☐	19740323	0	☒			VPH VP Haut
3	3	IMP	Tps généralisé-SysTrTI	0	☐	1e+009	0	☒			VPH VP Haut
4	4	VPC	vChg-SysTrTI	0	☐	25630115	0	☒			VPH VP Haut
5	5	DIS	Dist en véhicule	0	☐	16918852	0	☒			VPH VP Haut
6	6	DID	Dist vol d'oiseau	0	☐	11916600	0	☒			VPH VP Haut
7	7	JRT	Tps déplacement	2	☐	voir fichier	voir fichier	☐	E:\Simbad\davisum_TC-VP Format O		TCT TC Total
8	8	RIT	Tps transport	0	☐	4e+011	0	☒			TCT TC Total
9	9	IVT	Tps en véhicule	0	☐	4e+011	0	☒			TCT TC Total
10	10	AXT	TempsTCAux	0	☐	4e+011	0	☒			TCT TC Total
11	11	OWT	Tps attente départ	0	☐	4e+011	0	☒			TCT TC Total
12	12	TWT	Temps attente correspondance	0	☐	4e+011	0	☒			TCT TC Total
13	13	WKI	Tps marche à pied	0	☐	4e+011	0	☒			TCT TC Total
14	14	ACT	Tps rabattement	0	☐	4e+011	0	☒			TCT TC Total
15	15	EGT	Tps accès dest	0	☐	4e+011	0	☒			TCT TC Total
16	16	PJT	Tps déplac perçu	0	☐	4e+011	0	☒			TCT TC Total
17	17	NTR	NbRuptures	2	☐	3.99e+011	0.00	☒			TCT TC Total
18	18	IPD	Tps généralisé	2	☐	voir fichier	voir fichier	☐	E:\Simbad\davisum_TC-VP Format O		TCT TC Total
19	19	TT0	t0 -SysTrTI	2	☐	voir fichier	voir fichier	☐	E:\Simbad\davisum_TC-VP Format O		VPT VP Total
20	20	TTC	tChg-SysTrTI	2	☐	voir fichier	voir fichier	☐	E:\Simbad\davisum_TC-VP Format O		VPT VP Total
21	21	IMP	Tps généralisé-SysTrTI	2	☐	voir fichier	voir fichier	☐	E:\Simbad\davisum_TC-VP Format O		VPT VP Total
22	22	TT0	t0 -SysTrTI	2	☐	voir fichier	voir fichier	☐	E:\Simbad\davisum_TC-VP Format O		PLT PL Total
23	23	IMP	Tps généralisé-SysTrTI	2	☐	voir fichier	voir fichier	☐	E:\Simbad\davisum_TC-VP Format O		PLT PL Total
24	24	JRD	Dist déplacement	3	☐	voir fichier	voir fichier	☐	E:\Simbad\davisum_TC-VP Format O		TCT TC Total

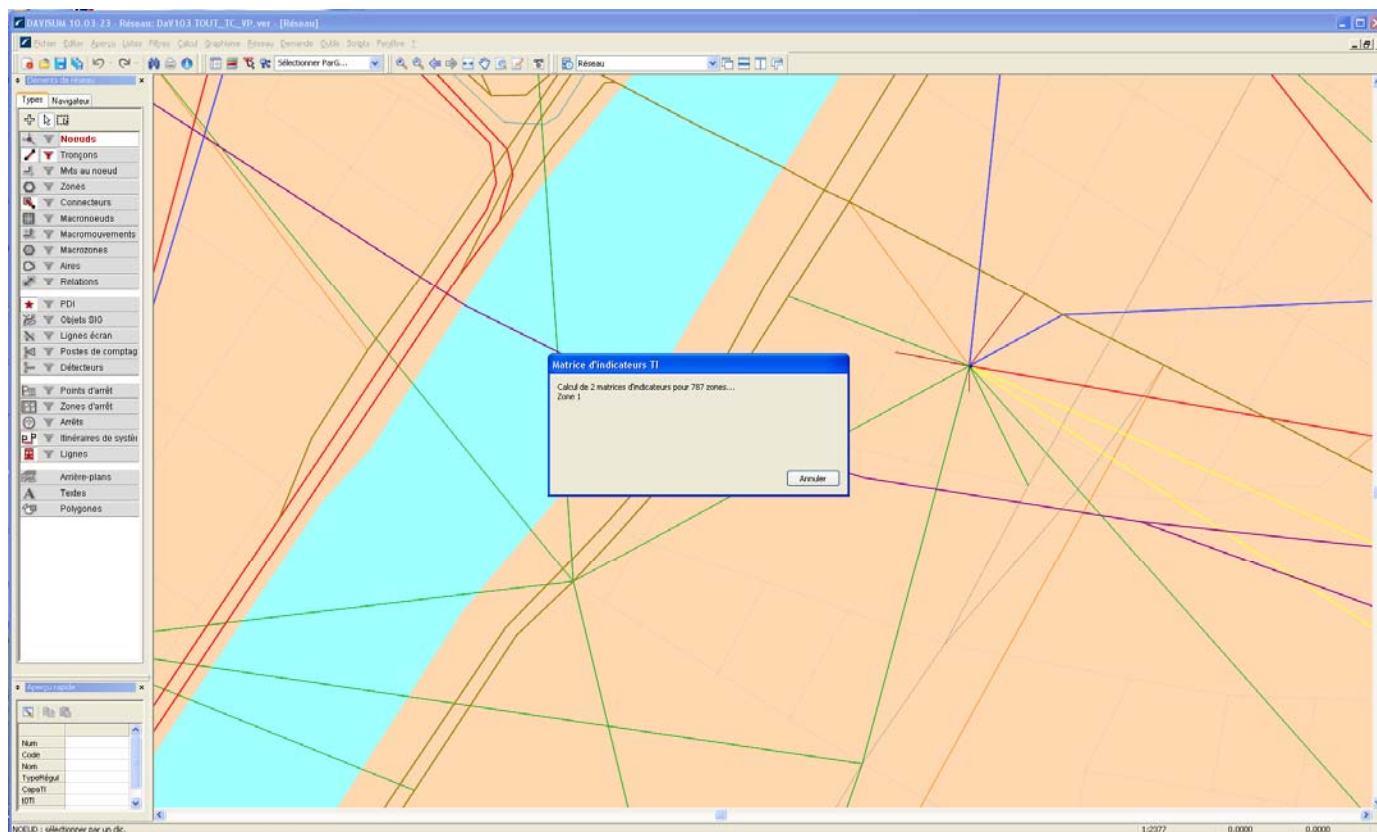
- Paramètres de l'affectation TC

Le fichier de liaison E:\Simbad\davisum_TC-VP\con_liaison\LiaisonTC-BB TtesLiaisons.con permet de réduire les temps de calcul de l'affectation. Il doit être généré à chaque nouvelle version du réseau TC.

- Paramètres des matrices d'indicateurs calculées après une affectation TC (réseau transport en commun)

Sélection également de « Dist Déplacement » et « Tps généralisé » plus bas dans la liste

- Exemple d'exécution de la procédure d'affectation Davisum



4. Utilisation de SIMBAD

4.1 Configurer et lancer une estimation

Préalablement aux essais de simulation, il est nécessaire de lancer une estimation afin de fixer les coefficients utilisés.

4.1.1 Estimation des ménages

Le fichier de configuration des variables à estimer est :

lyonprototype41/estimation/HLCM_specification.py.

Après avoir pris soin de modifier la variable model avec la valeur 'hlcm', l'estimation est réalisée en exécutant le fichier lyonprototype41/estimation/run_estimation.py :

```
model = 'hlcm' #Localisation des menages
```

Les tables générées en sorties dans la base de données MySQL sont :

- la table définissant les variables estimées `household_location_choice_model_specification` :

sub_model_id	equation_id	coefficient_name	variable_name
-2	-2	ac	lyonprototype41.gridcell.ac
-2	-2	priximmoestime	lyonprototype41.gridcell.priximmoestime
-2	-2	men_prage_1	lyonprototype41.household_x_gridcell.men_prage_1
-2	-2	men_prage_2	lyonprototype41.household_x_gridcell.men_prage_2
-2	-2	men_revenu_1	lyonprototype41.household_x_gridcell.men_revenu_1
-2	-2	men_revenu_3	lyonprototype41.household_x_gridcell.men_revenu_3
-2	-2	men_taille_1	lyonprototype41.household_x_gridcell.men_taille_1
-2	-2	men_taille_2	lyonprototype41.household_x_gridcell.men_taille_2
-2	-2	men_taille_5	lyonprototype41.household_x_gridcell.men_taille_5
-2	-2	men_prage_5	lyonprototype41.household_x_gridcell.men_prage_5

- la table de résultat de l'estimation pour l'ensemble des variables choisies précédemment `household_location_choice_model_coefficients`

sub_model_id	p_value	standard_error	t_statistic	estimate	coefficient_name
-2	0	0	141.3	0.98	ac
-2	0	0	31.1	0.0007	priximmoestime
-2	0	0	37	6.28	men_prage_1
-2	0	0	15.5	1.33	men_prage_2
-2	0	0	5	3.45	men_prage_5
-2	0	0	-16	-2.863	men_revenu_1
-2	0	0	26.6	5.19	men_revenu_3
-2	0	0	32.2	2.85	men_taille_1
-2	0	0	23.6	6.71	men_taille_2
-2	0	0	-15.9	-7.24	men_taille_5

4.1.2 Estimation des entreprises

Le fichier de configuration des variables à estimer est :

`lyonprototype41/estimation/ETABL_specification.py`.

L'estimation est réalisée en exécutant le fichier `lyonprototype41/estimation/run_estimation.py` en ayant pris soin de modifier la variable `model` avec la valeur 'etabl' :

`model = 'etabl'                   #Localisation Etablissement`

Les tables générées en sorties dans la base de données MySQL sont :

- la table définissant les variables estimées
simbad_etablissement_location_choice_model_specification :

sub_model_id	equation_id	coefficient_name	variable_name
11	-2	acgrempg1_hp	lyonprototype41.gridcell.acgrempg1_hp
11	-2	acgrempg2_hp	lyonprototype41.gridcell.acgrempg2_hp
11	-2	acgrempot_hp	lyonprototype41.gridcell.acgrempot_hp
11	-2	acgrpop_hp	lyonprototype41.gridcell.acgrpop_hp
11	-2	denspop	lyonprototype41.gridcell.denspop
11	-2	priximmoestime	lyonprototype41.gridcell.priximmoestime
11	-2	proximite_g1	lyonprototype41.gridcell.proximite_g1
11	-2	proximite_g2	lyonprototype41.gridcell.proximite_g2
11	-2	tpsctrvp_hp	lyonprototype41.gridcell.tpsctrvp_hp
12	-2	acgrempg1_hp	lyonprototype41.gridcell.acgrempg1_hp
12	-2	acgrempg2_hp	lyonprototype41.gridcell.acgrempg2_hp
12	-2	acgrempot_hp	lyonprototype41.gridcell.acgrempot_hp
12	-2	acgrpop_hp	lyonprototype41.gridcell.acgrpop_hp
12	-2	denspop	lyonprototype41.gridcell.denspop
12	-2	priximmoestime	lyonprototype41.gridcell.priximmoestime
12	-2	proximite_g1	lyonprototype41.gridcell.proximite_g1
12	-2	proximite_g2	lyonprototype41.gridcell.proximite_g2
13	-2	acgrempg1_hp	lyonprototype41.gridcell.acgrempg1_hp
13	-2	acgrempg2_hp	lyonprototype41.gridcell.acgrempg2_hp
13	-2	acgrempot_hp	lyonprototype41.gridcell.acgrempot_hp
13	-2	denspop	lyonprototype41.gridcell.denspop
13	-2	proximite_g1	lyonprototype41.gridcell.proximite_g1
13	-2	proximite_g2	lyonprototype41.gridcell.proximite_g2
13	-2	tpsctrvp_hp	lyonprototype41.gridcell.tpsctrvp_hp
14	-2	acgrempg1_hp	lyonprototype41.gridcell.acgrempg1_hp
14	-2	acgrempg2_hp	lyonprototype41.gridcell.acgrempg2_hp
14	-2	acgrempot_hp	lyonprototype41.gridcell.acgrempot_hp
14	-2	acgrpop_hp	lyonprototype41.gridcell.acgrpop_hp

...

Chaque sub_model_id représente un secteur d'activité. Une estimation est réalisée pour l'ensemble des variables d'un même secteur.

- la table de résultat des estimations pour l'ensemble des variables choisies précédemment
simbad_etablissement_location_choice_model_coefficients

sub_model_id	p_value	standard_error	t_statistic	estimate	coefficient_name	
11	1.6424e-005	0.000134793	8.3215	0.00112168	acgrempg1_hp	🔍
11	2.4206e-005	0.000142297	7.88604	0.00112216	acgrempg2_hp	🔍
11	1.1571e-005	0.000121157	-8.73137	-0.00105787	acgremptot_hp	🔍
11	0.00182	1.0481e-005	4.0587	4.254e-005	acgropop_hp	🔍
11	6.822e-006	7.312e-006	9.38139	6.86e-005	denspop	🔍
11	0.000337426	0.000174469	-5.36348	-0.000935762	proximmoestime	🔍
11	1.31e-007	0.000308921	15.769	0.00487136	proximite_g1	🔍
11	2.27e-007	0.000704625	-14.6891	-0.0103503	proximite_g2	🔍
11	0.00211725	0.00620679	-3.95026	-0.0245184	tpsctrvp_hp	🔍
12	0.0121572	0.000181594	2.86067	0.000519482	acgrempg1_hp	🔍
12	0.00564098	0.000188673	3.41038	0.000643447	acgrempg2_hp	🔍
12	0.00462806	0.000161328	-3.55703	-0.00057385	acgremptot_hp	🔍
12	0.00142001	1.4036e-005	4.48766	6.2988e-005	acgropop_hp	🔍
12	6.801e-006	1.0647e-005	10.7083	0.000114012	denspop	🔍
12	0.00394912	0.000222315	-3.6763	-0.000817297	proximmoestime	🔍
12	1.039e-005	0.000428302	10.0444	0.00430201	proximite_g1	🔍
12	3.7991e-005	0.000886094	-8.23074	-0.00729321	proximite_g2	🔍
13	7.091e-005	0.000171488	8.53508	0.00146366	acgrempg1_hp	🔍
13	6.133e-005	0.000169622	8.75883	0.00148569	acgrempg2_hp	🔍
13	7.3685e-005	0.00015712	-8.47676	-0.00133187	acgremptot_hp	🔍
13	2.7678e-005	1.007e-005	10.0797	0.000101499	denspop	🔍
13	0.0229537	0.000423069	2.50993	0.00106187	proximite_g1	🔍
13	0.000538556	0.000855383	5.87476	0.00502517	proximite_g2	🔍
13	0.000376874	0.00817651	-6.28705	-0.0514061	tpsctrvp_hp	🔍
14	0.000473939	0.000122713	6.01995	0.000738727	acgrempg1_hp	🔍
14	0.000687327	0.000128744	5.6049	0.000721597	acgrempg2_hp	🔍
14	0.000282524	0.000109352	-6.63579	-0.000725634	acgremptot_hp	🔍 ...

4.2 Configurer et lancer une simulation

La configuration est réalisée à l'aide des fichiers **lyonprototype41/configs/baseline.py** (UrbanSim) et **lyonprototype41/configs/simbad_configuration.py** (SIMBAD). La simulation est lancée à l'aide du fichier **lyonprototype41/tools/letsim_run.py**.

La volumétrie des données SIMBAD est pour une simulation de 25 ans :

Cache UrbanSim : 39,3 Go
 Davisum : 17,47 Go
 Freturb : 958 Mo

Le temps d'exécution est actuellement d'environ 30 heures.

4.3 Exploitation des données générées par SIMBAD

4.3.1 Les données Davisum

Les données Davisum sont constituées par :

Les fichiers versions = ensemble de fichiers qui constituent un projet Davisum,
 Les matrices de demande = matrices OD en entrée définissant les échanges entre zones,

Les matrices indicateurs = matrices OD de sortie Davisum obtenues après la procédure d'affectation (temps généralisé, distances de parcours ...),

Les fichiers tronçons = fichiers de sortie Davisum qui listent les caractéristiques des tronçons utilisés par exemple pour calculer les émissions de polluants.

Les fichiers versions sont sauvegardés par SIMBAD avec un nom différent chaque année et peuvent être ouverts séparément dans Davisum pour consulter graphiquement les résultats de l'affectation et l'état du réseau.

Les fichiers matrices et tronçons sont des fichiers textes qui peuvent être chargés dans Excel 2007 ou une base de données.

*Exemple de matrice de demande générée par Simbad sous le répertoire **mtx***

```
OR;D2;Y5
*Fichier SIMBAD OD pour Davisum=E:\Simbad\davisum_TC-VP\mtx\MatriceOD_HP_VPT_2000.mtx
*Colonnes      flux=['mat_hc_vp_mt_cordon',      'mat_total_hp_vp_bas_mr',      'mat_total_hp_vp_moyen_mr',
'mat_total_hp_vp_haut_mr']
*
      oiris      diris      flux
      1          3      0.012640
      1          4      0.027836
      1          5      0.037540
      1          8      0.018545
      1         11      0.002779
...
      910         773      0.239730
      910         774      0.169885
      910         775      0.204655
      910         776      0.239730
      910         777      0.249490
      910         901      2.766555
      910         903      0.201825
      910         905      0.246675
      910         906      12.722565
      910         907      3.757395
      910         908      0.481965
```

Il y a au maximum $(777+10)^2$ OD = 619 369 lignes en sortie, car Simbad ne génère pas les lignes avec des valeurs à 0. La taille peut atteindre 35 Mo par fichier.

- Exemple de matrice indicateur générée sous **mtx indicateurs**

```
$OM;D2
* Modes de transport
4
* Intervalle tps
0.00 24.00
* Fact.
1.00
* créé avec : DAVISUM Version 10.03
* créé le : 11.06.09
* Réseau/FichierVersion : E:\Simbad\davisum_TC-VP\ver\DaV103 TOUT_TC_VP.ver
*
* Segment de la demande : VPT VPT
* Choix de chemins : Affectation
*
* Toutes les relations
*
```

* Pondération : Moyenne des charges

*

* Valeurs de sortie additionnées à partir de :

* Tronçons

* ConnecteursE

* ConnecteursA

* MvtsN

*

* Valeur de sortie : Tps gén.

*

* Unité de sortie : [-]

*

*

1 2 475.00

1 3 2064.00

1 4 2078.00

1 5 1729.00

1 6 928.00

1 7 2590.00

1 8 1483.00

1 9 622.00

1 10 1892.00

1 11 1762.00

1 12 2238.00

1 13 2228.00

1 14 2389.00

1 15 687.00

1 16 1842.00

1 17 1685.00

1 18 1636.00

1 19 1367.00

1 20 424.00

1 21 2490.00

...

910 901 6483.17

910 902 2321.00

910 903 5138.54

910 904 5621.00

910 905 5998.54

910 906 7894.41

910 907 7840.99

910 908 7235.29

910 909 7101.00

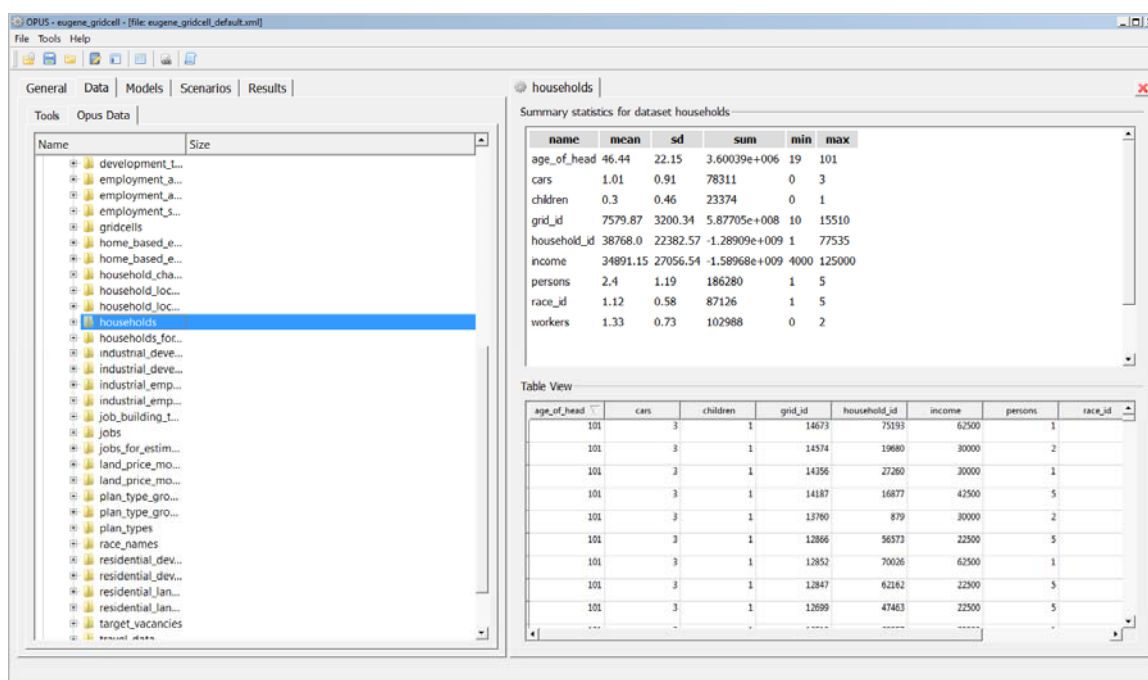
(777+10)² OD soit 619 369 lignes, car l'application Davisum génère toutes les OD.

4.3.2 Les données Freturb

Les fichiers Freturb sont sauvegardés chaque année et peuvent être ouverts pour consultation dans Microsoft Access en prenant soin d'inhiber l'exécution automatique au démarrage en gardant la touche « majuscule » (shift) appuyée.

4.3.3 Les données dans le cache généré par UrbanSim

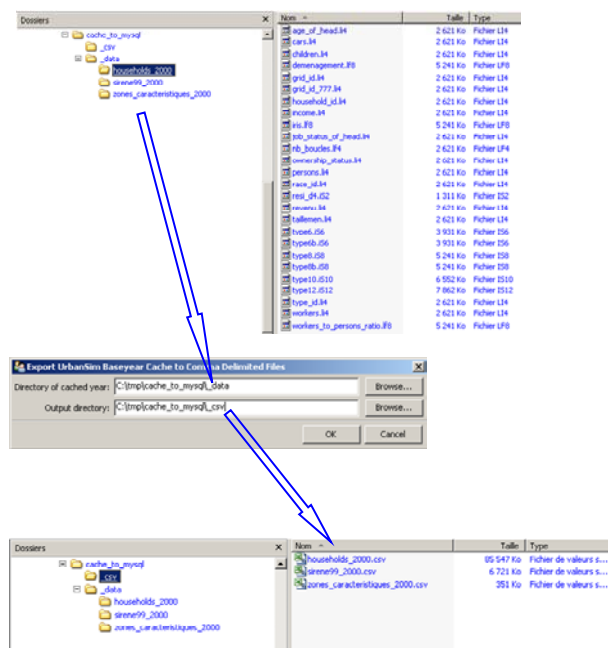
Les fichiers sont nombreux et volumineux et ne peuvent pas être totalement chargés dans une base de données. L'interface GUI d'Opus 4.2 permet une consultation sans exportation préalable dans une base de données ou au format ascii (fichiers au format csv).



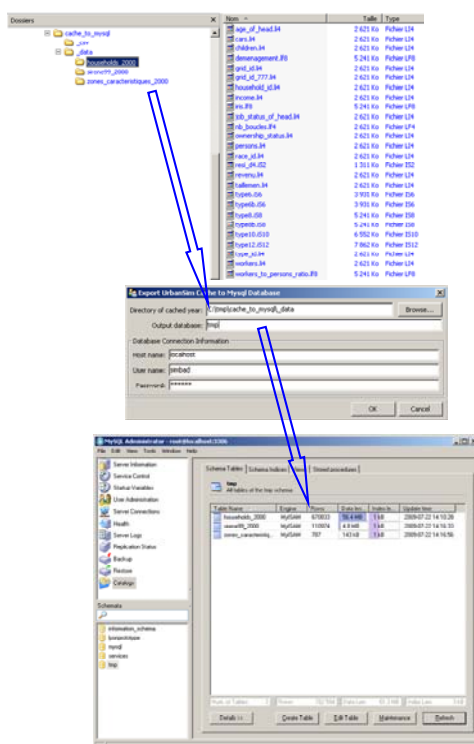
Pour exporter certains fichiers du cache UrbanSim, la procédure est la suivante :

- Créer un répertoire,
- Copier les répertoires de données des tables et années souhaitées,
- Renommer les noms des répertoires (noms des tables) par exemple en ajoutant l'année (ex : households provenant du répertoire 2000 est remplacé par households_2000),
- Dans les répertoires, supprimer les fichiers (nom des attributs) non souhaités,
- Lancer l'outil d'export vers une base de données MySql ou Csv.

L'outil d'export vers des fichiers au format csv est **lyonprototype41/tools/export_cache_to_csv.py** qui appelle le script **opus_core/tools/gui_export_cache_to_tab_delimited_files.py**.

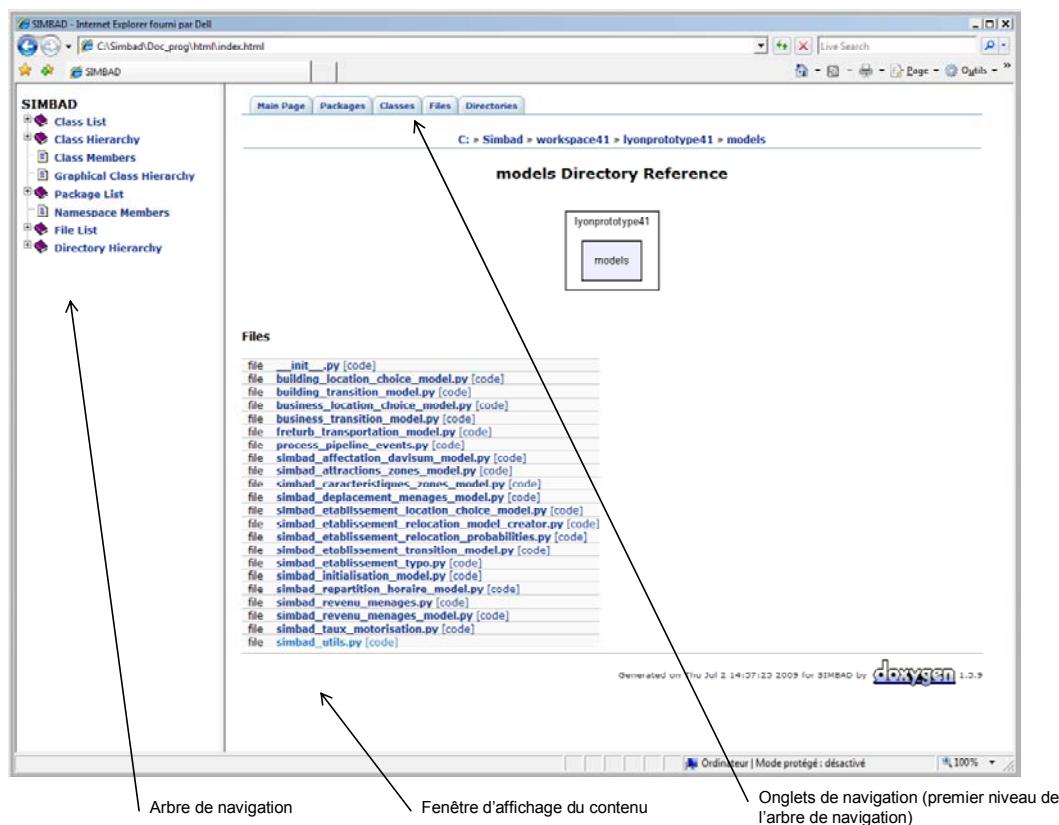


L'outil d'export vers une base de données MySql est **lyonprototype41/tools/export_cache_to_mysql.py** qui appelle le script opus `core/tools/gui export cache to mysql database.py`.



5. Documentation du code source

La documentation du code source SIMBAD est disponible au format Html généré à l'aide de l'outil Doxygen. La page principale est affichée à l'aide du index.html du répertoire des fichiers Html comme le montre la figure ci-après :



7. Bibliographie

- AGUILERA-BELANGER A., MIGNOT D., BLOY D., BUISSON M.A., CUSSET J.M., 1999, *Localisation des activités et mobilités*. Lyon, LET, rapport de recherche pour le compte de la DRAST. 330 p.
- ALONSO W., 1964, *Location and land use*. Harvard University Press, Cambridge Press.
- ANAS A., 1982, *Residential location markets and urban transportation*. New York, Academic Press.
- BAGARD V., CHATEAU B., CROZET Y., LOPEZ-RUIZ H.G., 2008, *Comment satisfaire les objectifs internationaux de la France en termes d'émissions de gaz à effet de serre et de pollution transfrontières ?* Lyon, LET, rapport LET/ENERDATA pour le compte du Prédit, 238 p.
- BATTU C., VIALETTE P., 2005. " 16 700 salariés concernés tous les ans par un transfert dans la région urbaine de Lyon ". *Insee Rhône-Alpes - La Lettre Analyses*, n°35. 4 p.
- BEN-AKIVA M., LERMAN S., 1985. *Discrete Choice Analysis, Theory and Application to Travel Demand*. Cambridge, MA: MIT Press.
- BENARD R., JAYET H., RAJAONARISON D., 1999. " L'environnement souhaité par les entreprises : une enquête dans le Nord-Pas-de-Calais ". *Economie et Statistique* n° 326-327, pp. 177-187.
- BONNAFOUS A., PUEL H., 1983, *Physionomies de la ville*. Paris, Les Editions ouvrières, 165p.
- BONNAFOUS A., 1989, *Le siècle des ténèbres de l'économie*. Paris, Economica, 184 p.
- BONNAFOUS A., 2000, « Les marchandises en ville : le problème méthodologique de l'appréhension statistique », In: Patier, D. (Ed.), *L'intégration des marchandises dans le système des déplacements urbains*, Lyon, LET, coll. Études et Recherches n°15, Actes des 13^{èmes} Entretiens Jacques Cartier, 4-6 octobre 2000, Montréal, Canada, pp. 85-92.
- BONNAFOUS A., MASSON S., 2003, « Evaluation des politiques de transport et équité spatiale ». *Revue d'Economie Régionale et Urbaine* n°4. pp. 547-572.
- BONNEL P., 2003, "Estimation of aggregated modal split model", *European Transport Conference*, France, Strasbourg, 8-10 October 2003, 20 p.
- BONNEL P., 2004, *Prévoir la demande de transport*. Paris, Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 425p.
- BONNEL P., CABANNE I., MASSOT M-H., 2003, *Evolution de l'usage des transports collectifs et politiques de déplacements urbains*. La documentation Française, collection « Le point sur », 81p.
- BONNEL P., ZMUD J., LEE-GOSSELIN M., MADRE J-L., 2009, *Transport Survey Methods: Keeping up with a Changing World*. Emerald press.
- BOUVARD A., 2008, *Les facteurs de localisation des activités économiques: application à l'aire urbaine de Lyon*. Lyon, Université de Lyon, Mémoire pour le Master Recherche « Transport, Espace, Réseaux ». 131 p.
- BOUZOUINA L., 2008, *Ségrégation spatiale et dynamiques métropolitaines*. Lyon, Université de Lyon, Thèse de doctorat de sciences économiques, 323p.
- BUSSIERE R., 1972, *Modèle de localisation résidentielle*, Annales du Centre de Recherche et d'Urbanisme. 162 p.
- CABANNE I., DURAND S., HENNEBELLE P-Y., MASSON S., ROUTHIER J-L., SALIOU E., 2000, *Télescope : Modèle de simulation des trafics de marchandises et de personnes locaux et*

- interurbains dans un espace région-ville*. Lyon, LET, rapport pour l'ADEME - PREDIT, 171 p.
- CABRERA J., 2008, « Quelle dynamique temporelle pour le modèle à quatre étapes ? », Région Rhône-Alpes, séminaire de recherche du Cluster 8, *Transports, Territoire et Société*, 16 juin 2008.
- CABRERA J., 2008, *Passage d'une matrice de temps généralisés en zonage IRIS à une matrice en zonage EM06*. Lyon, LET, note méthodologique. 6 p.
- CAUBEL D., 2006. *Politique de transports et accès à la ville pour tous ? Une méthode d'évaluation appliquée à l'agglomération lyonnaise*. Lyon, Université de Lyon, thèse de doctorat en sciences économiques, 444 p.
- Center of Urban Simulation and Policy Analysis, 2009, *The Open Platform for Urban Simulation and URBANSIM Version 4.2.2. Reference Manual and Users Guide*. University of Washington, Evans School of Public Affairs. Lien internet valide en mars 2009 : <http://www.urbansim.org/opus/releases/latest-stable-release/docs/opus-userguide.pdf>
- CERTU, 2005, *Calcul a posteriori des distances dans les enquêtes ménages déplacements*, Lyon, rapport CERTU.
- CERTU, 2008, *L'enquête ménages déplacements "Standard Certu" : Guide méthodologique*. Lyon, collections du CERTU.
- CERTU, 2009, Les derniers chiffres de la mobilité à jour des EMD 2007, consulté le 03/2009 http://www.certu.fr/fr/_Mobilité_et_déplacements-n25/Connaissance_de_la_mobilité-n41/Données_de_la_mobilité-n43/IMG/pdf/Tabl_Mob_SiteCertu_AVRIL08.pdf
- CROZET Y., MASSOT M-H., ORFEUIL J-P. et le « Groupe de Batz », 2001, « Mobilité urbaine : cinq scénarios pour un débat », DRAST, *Notes du CPVS* n°16. 61 pages.
Lien internet valide en mars 2009 : http://www.recherche-innovation.equipement.gouv.fr/article.php3?id_article=327&var_recherche=notes+du+CPVS
- DDE du Rhône, 2005, *Enquête Cordon de l'agglomération lyonnaise*. Lyon, Rapport Technique, 32 pages.
- DE PALMA A., NGUYEN-LUONG D., MOTAMED K., MOYANO J., 2004, *SIMAUURIF : Modèle dynamique de SIMulation de l'interAction Urbanisation-transports en Région Ile-de-France. Application à la Tangentielle nord*. Rapport intermédiaire 1^{ère} année, IAURIF/Théma pour le compte du PREDIT. 148 p.
- DE PALMA A., NGUYEN-LUONG D., MOTAMED K., PICARD N., MOYANO J., WADDELL P., CHAUCHARD-LEFEVRE F., OUARAS H., 2005, *SIMAUURIF : Modèle dynamique de SIMulation de l'interAction Urbanisation-transports en Région Ile-de-France. Application à la Tangentielle nord*. Rapport intermédiaire n°2, IAURIF/Théma pour le compte du PREDIT. 124 p.
- DEBRAND T., TAFFIN C., 2005, “ Les facteurs structurels et conjoncturels de la mobilité résidentielle depuis 20 ans ”. *Economie et Statistique*, n°381-382, pp. 125-146.
- DELISLE J.-P., LAINE F., 1998, “ Les transferts d'établissements contribuent au desserrement urbain ”. *Insee, Economie et Statistique*, n°311, pp. 91-106.
- DOMENCICH T.A., MCFADDEN D., 1975, *Urban travel demand : a behavioural analysis*. North-Holland, Elsevier, Amsterdam.
- DUFOUR J.-G., PATIER D., 1997, “Introduction to the discussion based on the experience of the French experimental and research programme”. In: ECMT, Round table 109, *Freight transport and the city*, Paris, 11th-12th December 1997, pp. 29-99.

- ELDER H.W., ZUMANO L.V., 1991, "Tenure choice, housing demand and residential location". *The Journal of Real Estate Research*, Vol. 6, N° 3, pp. 341-356.
- FISCHER A., 1994. *Industrie et espace géographique : introduction à la géographie industrielle*. Paris, Masson. 137 p.
- FUJITA M., 1989, *Urban economic theory*, Cambridge, Cambridge University Press. 366p.
- FUJITA M., THISSE J-F., 2003, *Économie des villes et de la localisation*. Bruxelles, De Boeck Université, 560 p.
- GALLEZ C., 1995, *Budgets énergie environnement des déplacements (BEED) en Ile-de-France*. Rapport de convention Ademe-Inrets n°690-9306-RB. 109 p.
- GESMAD, 2000, *Evaluation des modèles de prévision de trafic, note de synthèse*. Paris, rapport pour le PREDIT, 125p.
- GEURS K.T., VAN ECK R., 2001, *Accessibility measures: review and applications Evaluation of accessibility impacts of land-use transport scenarios, and related social and economic impacts*. Biltholven, Pays-Bas, Rapport RIVM (National institute of public health and the environment) n°408505006, 265 p.
- GIORGI L., 2003, *Mobilités durables*. Paris, Revue internationale des sciences sociales, n°176, 403 p.
- GITTON F., 2006, *Comportements de mobilité et simulation de déplacements sur l'agglomération lyonnaise*. Lyon, LET, rapport de stage ENSAE, 79p.
- GODINOT C., BONNEL P., NICOLAS J-P., 2008, *Phase d'affectation : mise en forme du réseau de routier sur l'Aire Urbaine de Lyon*. Lyon, LET, Rapport intermédiaire SIMBAD, 173 p.
- GOSSMANN I., 2006, *Les facteurs de localisation des activités économiques sur l'aire urbaine de Lyon*. Vaulx-en-Velin, Université de Lyon-ENTPE, Travail de Fin d'Etudes. 128 p.
- HANSEN W.G., 1959, "How accessibility shapes land-use", *Journal of the American Institute of Planners*, 25, pp. 73-76
- HOMOCIANU M., 2009, *Modélisation de l'interaction transport-urbanisme – choix résidentiels des ménages dans l'aire urbaine de Lyon*. Lyon, Université de Lyon, thèse pour le doctorat en sciences économiques, 311 p.
- HUNT J-D., KRIGER D-S., MILLER E-J., 2005, "Current operational urban land-use-transport modeling frameworks: a review". *Transport Reviews*, Vol. 25, No. 3, pp. 329-376.
- HYMAN G. M., 1969, "The calibration of trip distribution models". *Environment and Planning*, vol. 1, pp. 105-112.
- JOURDAN N., 2004. "Les transferts interrégionaux d'établissements : Forte progression entre 1996 et 2001". *Insee Première*, n° 949, 4 p.
- KESTENS Y., 2004, *Utilisation du sol, accessibilité et profil des ménages : effet sur le choix résidentiel et la valeur des propriétés*. Québec, Université Laval, thèse de doctorat en aménagement du territoire et développement régional.
- KHELALEF R., 2009, *Représentation cartographique d'indicateurs de mobilité durable*. Vaulx-en-Velin, ENTPE, Rapport de TFE option VA Transports et Territoires, 94 p.
- KRIVOBOKOV M., MARCHAL F., NICOLAS J-P., ZUCCARELLO Ph., "The Lyon Experience with UrbanSim". *European URBANSIM User Group meeting*, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, 17-18 March 2008.

- LABICHE V., 2008, *Les Enquêtes Cordons de l'agglomération lyonnaise pour le projet SIMBAD*. Vaulx en Velin, ENTPE, Rapport de TFE option VA Infrastructures et Circulation, 71 pages + annexes.
- LAMB G-M., HAVERS G., 1970, "Introduction to transportation planning: Treatment of networks". *Traffic Engineering and Control*, vol. 11, N°11, pp. 486-489.
- LANCASTER K-J., 1966, "A new approach to consumer theory". *The Journal of Political Economy* vol. 54, N°2, pp. 132-157.
- LAVIELLE J.-P., 2008, *Evolution des rythmes sociaux et étalement de l'heure de pointe*. Vaulx-en-Velin, ENTPE- PRES de Lyon, Rapport de TFE option VA Transport et Territoire, 67 p. Lien internet valide n mars 2009 : <http://www.certu.fr/IMG/pdf/TFE.pdf>
- LE ROHO Y., 2006, "Les transferts d'établissements pour la Bretagne entre 2002 et 2004". *Octant*, n°104, pp.25-30.
- LE VAN E., ROUTHIER J-L., NICOLAS J-P., 2008, *Les surfaces d'activité économique au sein de l'Aire Urbaine de Lyon*. Lyon, LET, Rapport LET pour le compte de l'ADEME et de la DRAST. 102 p.
- LEBART L., PIRON M., MORINEAU A., 2006, *Statistique exploratoire multidimensionnelle, visualization et inference en fouille de données*. Paris, Dunod, 4^{ème} édition, 439 p.
- LET, Gérardin Conseil, 2001, *Diagnostic du transport de Marchandises en Ville*, Lyon, guide technique pour le MELT et l'ADEME, 88 p.
- 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 économique option Economie des Transports. 570p.
- MASSOT M-H., ORFEUIL J-P., BELLANGER F., 2000, *Eléments pour une prospective de la mobilité*, Paris, Université Paris 12, C.R.E.T.E.I.L., Document de travail. 65 p.
- McFADDEN D., 1978, "Modelling the choice of residential location". *Spatial Interaction Theory and Planning Models*, North Holland, Amsterdam, Karlqvist A, Lundqvist L, Snickars F, Weibull J (eds), , pp. 75-96.
- MERENNE-SCHOUMAKER B., 1991, *La localisation des industries: mutations récentes et méthodes d'analyse*. Paris, Nathan, 192 p.
- MERENNE-SCHOUMAKER B., 2003, *Géographie des services et des commerces*. Rennes, Presses Universitaires de Rennes. 239 p.
- MILLION F., 2004, "L'impact des zones d'activités sur la localisation des entreprises en milieu urbain : le cas de la périphérie lyonnaise". XI^{ème} colloque de l'ASRDLF, *Convergence et disparités régionales au sein de l'espace européen*, Bruxelles, 1-3 septembre. 19 p.
- MILLS E., 1967, "An aggregative model of resource allocation in metropolitan areas". *American Economic Reviews*, Papers and proceedings, Vol. 57.
- MUTH R., 1969, *Cities and housing*. Chicago : University of Chicago Press. 355 p.
- NGUYEN-LUONG D., MOTAMED K., OUARAS H., PICARD N., FERNANDES M., 2007, *SIMAU RIF : Modèle dynamique de SIMulation de l'interAction Urbanisation-transports en Région Ile-de-France*. Rapport final IAURIF/Théma pour le compte du PREDIT. 142 p.
- NICOLAS J-P., POCHET P., POIMBOEUF H., 2001, *Indicateurs de mobilité durable. Application à l'agglomération de Lyon*. Lyon, LET, Coll. Etudes & Recherches n°16, 127 p.

- NICOLAS J-P., DEYMIER G., 2005, *Modèles d'interaction entre transport et urbanisme : état de l'art et choix du modèle pour le projet Simbad*. Lyon, LET, rapport SIMBAD n°1 pour le compte de l'ADEME et de la DRAST. 47 p.
- NICOLAS J-P., MORICE N., 2006, *Scénarios prospectifs pour le projet SIMBAD*. Lyon, LET, rapport SIMBAD n°3 pour le compte de l'ADEME et de la DRAST. 92 p.
- NICOLAS J-P., BOUVARD A., MILLION F., HOMOCIANU M., TOILLIER F., ZUCCARELLO Ph., 2008, *La localisation des activités économiques au sein de l'Aire Urbaine de Lyon*. Lyon, LET, rapport SIMBAD n°6 pour le compte de l'ADEME et de la DRAST. 108 p.
- NICOLAS J-P., DAVID D., 2009, « The mobility of the French and their CO2 emissions », *Atmospheric Environment* n°43, pp. 1015-1020.
- ORFEUIL J-P., SOLEYRET D., 2002, « Quelles interactions entre les marchés de la mobilité à courte et à longue distance ? ». *Recherche Transports Sécurité* n°76, pp. 208-221.
- ORTUZAR (de Dios) J., WILLUMSEN LG., 2001, *Modelling transport*. 3^e édition, John Wiley & Sons, UK, 499 p.
- PATIER D., ROUTHIER J.-L., 1998, « Transport de marchandises en ville : une méthodologie d'enquêtes quantitatives adaptée », *RTS*.
- PATIER D., ROUTHIER J.-L., 2000, *Transport de marchandises en ville : Enquêtes quantitatives réalisées à Dijon et Marseille*. Lyon, LET, rapports de recherche finaux, MELT-DRAST, 2 x 120 p.
- PATIER D., ROUTHIER J.-L., 2008, «How to improve the capture of urban goods movement data», reference paper, *ITSC*, Annecy.
- PATIER D., ROUTHIER J.-L., AMBROSINI C., DURAND S., BOSSIN P., GELAS P., LE NIR M., 1997, *Transport de marchandises en ville : Enquête quantitative réalisée à Bordeaux*. Lyon, LET, rapport de recherche MELT-DRAST, 230 p. + annexes.
- PINJARI A.R., PENDYALA R.M., BHAT C.R., WADDELL P.A., 2007, « Modeling residential sorting effects to understand the impact of the built environment on commute mode choice ». *Transportation Research Board*, Paper n°07-3149. 22 p. Lien internet valide en mars 2009: http://www.urbansim.org/papers/Pinjari_etal_TRB07.pdf
- PITTION J., 2006, *Module d'affectation TC du projet SIMBAD*, Lyon, Laboratoire d'Economie des Transports-ENTPE, Rapport de TFE option Transport, 67 p.
- PLASSARD F., 2003, *Rétrospective de la prospective – Prospective dans le domaine des transports – Recherche critique*, Lyon, ENTPE-RIVES, rapport de recherche pour le PREDIT. 90 p.
- PONSARD C., 1988. *Analyse économique spatiale*. Paris, PUF collection Economie. 452 p.
- RAUX C., MERCIER A., OVTRACHT N., 2008, « Evaluation économique des politiques de transport et indicateurs d'accessibilité spatiale : l'apport des SIG ». *Cybergéo* n°435. 17 p.
- RERAT P., 2005, « Age et mobilité résidentielle dans les villes suisses ». XLI^{ème} colloque ASRDLF, *Villes et territoires face aux défis de la mondialisation*, Dijon, 5-7 septembre 2005.
- ROGERS A., 1988, « Age patterns of elderly migration: an international comparison ». *Demography* vol. 25(3), pp. 355-370.
- ROSS S.L., 2001, « Employment access, neighborhood quality, and residential location choice ». *International Seminar on Segregation in the City* – Lincoln Institute of Land Policy, July 26-28, 2001.
- ROUTHIER J.-L., 2000, « Un outil de simulation des effets des politiques urbaines sur le transport de marchandises en ville ». In: Patier, D. (Ed.), *L'intégration des marchandises dans le système*

- des déplacements urbains*, Lyon, LET, coll. Études et Recherches n°15, Actes des 13^{èmes} Entretiens Jacques Cartier, 4-6 octobre 2000, Montréal, Canada, pp. 145-167.
- ROUTHIER J.-L., SEGALOU E., DURAND S., ALLIGIER L., TOILIER F., 2001, *Mesurer l'impact du transport de marchandises en ville - le modèle de simulation FRETURB (version 1)*, Lyon, LET, rapport de recherche ADEME, DRAST, 103 p. + CD-Rom.
- ROUTHIER J.-L., TOILIER F., 2007, "FRETURB V3, a policy oriented software tool for modelling urban goods movement". USA, Berkeley, 11th World Conference on Transport research. 22 p.
- SCHAFER A., 2000, "Carbon Dioxide emissions from world passenger transport". *Transportation Research Record* 1738. pp. 20-29.
- SÉGALOU E., AMBROSINI C., ROUTHIER J.-L., 2003, "The environmental assessment of urban goods movement". In: E. Taniguchi and R.G. Thompson (eds.), *City Logistics III*, Kyoto, Institute of Systems Science Research.
- SEMALY (2000), *TERESE, modèle d'affectation de voyageurs dans les études de transport collectif*, Lyon, Université Lumière Lyon 2 et l'ENTPE, document pédagogique, cours analyse et prévision de la demande de transport du DESS Transports Urbains et Régionaux de Personnes.
- SHAO Yifan (2008), *Un modèle du prix de l'immobilier sur l'Aire Urbaine de Lyon*. Université de Lyon, Lumière Lyon 2, Mémoire de Master Transport, Espace, Réseau. 62 p.
- SIMMONDS D., ECHENIQUE M., BATES J., OOSTERHAVEN J., 1999, *Review of land-use/transport interaction models*, London, Reports to The Standing Advisory Committee on Trunk Road Assessment, Department of the Environment, Transport and the Regions.
- SKALLI M., 2004, *Test d'un modèle d'affectation des transports collectifs, Elaboration du réseau des transports collectifs lyonnais sous DaVISUM sur la base de données disponibles, et comparaison des résultats d'affectation issus de cette approche avec ceux de TERESE*, Lyon, LET – ENTPE, rapport de fin d'études, école Hassania des Travaux Publics du Maroc. 70 p.
- TABOURIN E., ANDAN O., ROUTHIER J.-L., *Les formes de la croissance urbaine: le modèle de René Bussière appliqué à l'agglomération lyonnaise*. Lyon, LET. 299p.
- THERIAULT M., 2002, *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*. Québec, Université Laval.
- THEYS J., 2000, "Développement durable, villes et territoires, Innover et décroiser pour anticiper les ruptures". DRAST, *Note du CPVS* n°13. 135 p.
- TIEBOUT C., 1956, "A pure theory of local expenditures". *Journal of Political Economy*, 64.
- TOILIER F., ALLIGIER L., PATIER D., ROUTHIER J.-L., 2005, *Vers un modèle global de simulation de la logistique urbaine : FRETURB, version .* Lyon, LET, rapport pour la DRAST, 109 p.+ann.
- VERRY D., NICOLAS J.-P., *Indicateurs de mobilité durable : de l'état de l'art à la définition des indicateurs dans le projet Simbad*. Lyon, LET, rapport LET pour le compte de l'ADEME et de la DRAST, juillet 2005. 96 p.
- WADDELL P., 2002, "URBANSIM : Modeling Urban Development for Land Use, Transportation and Environmental Planning". *Journal of the American Planning Association*, Vol. 68, No. 3, pp. 297–314. Lien internet valide en mars 2009: <http://www.urbansim.org/papers/UrbanSim-JAPA.pdf>
- WADDELL P., 2005, *UrbanSim : Integrating Land Use and Transport*. LET, présentation PowerPoint.

- WADDELL P., BHAT C., RUITER E., BEKHOR S., OUTWATER M., and LOY SCHROER E., 2001, *Land Use and Travel Demand Forecasting Models : Review of the Literature and Operational Models*. Seattle, WA, Final Report to the Puget Sound Regional Council.
- WADDELL P., BORNING A., NOTH M., FREIER N., BECKE M., ULFARSSON G., 2003, *Microsimulation of Urban Development and Location Choices : Design and Implementation of URBANSIM*. Washington, Université de Washington Seattle, Networks and Spatial Economics, Vol. 3, No. 1, pp.43–67. Lien internet valide en Mars 2009 : http://www.urbansim.org/papers/UrbanSim_NSE_Paper.pdf
- WEGENER M., 2000, “Land-Use Transport Interaction : State of the Art : What can we learn from North America”. 21 p.
- WEGENER W., FÜRST F., 1999, *Land use transport interaction: state of the art*, TRANSLAND, IRPUD report, 119 p.
- WILSON A. G., 1967, “A statistical theory of spatial distribution models”. *Transportation Research*, vol. 1, pp. 253-269.

Liste des Tableaux

Tableau 1 : La prise en compte des interactions transport-urbanisme dans les projets de modélisation du PREDIT 3	15
Tableau 2 : tests statistiques de la qualité du modèle de prix de l'immobilier	29
Tableau 3 : Comparaison des observations MIN et des résultats du modèle sur l'aire urbaine de Lyon	30
Tableau 4 : Coefficients estimés du modèle de choix de localisation résidentielle à la cellule.....	38
Tableau 5 : Les 17 secteurs d'activités retenus par rapport à la NES (16 et 36 postes) et leur répartition dans l'aire urbaine de Lyon en 1999	42
Tableau 6 : Secteur d'activité / Taille / Taux de mobilité (%).....	44
Tableau 7 : Matrice des corrélations entre les secteurs.....	48
Tableau 8 : Qualité des régressions pour les secteurs du groupe 1	49
Tableau 9 : Qualité des régressions pour les secteurs du groupe 2.....	49
Tableau 10 : Qualité des régressions pour les secteurs du groupe 3.....	50
Tableau 11 : Qualité des régressions suivant la classe de taille des établissements	50
Tableau 12 : Paramètre de la fonction de résistance en fonction du motif et du revenu	74
Tableau 13 : Les coefficients de la procédure de répartition modale	77
Tableau 14 : Poids des heures de pointe 7-9h et 17-19h par rapport aux déplacements quotidiens..	83
Tableau 15 : Poids des heures de pointe 7-9h et 17-19h dans les déplacements pour motif travail..	84
Tableau 16 : Proportion des trafics de l'enquête cordon pénétrant dans l'agglomération entre 7-9h et 17-19h	87
Tableau 17 : Typologie des liens de l'Aire Urbaine Lyonnaise 1999	96
Tableau 18 : Récapitulatif de l'affectation des nœuds aux types de carrefours.....	97
Tableau 19 : Pénalités aux mouvements tournants dans SIMBAD (en secondes)	98
Tableau 20 : Affectation des différents types de liens aux courbes débit-temps.....	99
Tableau 21 : GEH en fonction du type de réseau	102
Tableau 22 : Charges finales en entrée et en sortie de l'Aire Urbaine Lyonnaise.....	102
Tableau 23 : Temps spécifiques de correspondances MaP entre systèmes de transports aux arrêts (en minutes).....	110
Tableau 24 : Fonction de temps généralisé.....	111
Tableau 25 : Résultats du calage du réseau de transports collectifs	112

Liste des Cartes

Carte 1 : L'aire urbaine de Lyon comme territoire d'application de SIMBAD.....	4
Carte 2 : Les 777 IRIS de l'aire urbaine de Lyon	14
Carte 3 : Répartition par IRIS des logements de l'aire urbaine de Lyon en 1999	25
Carte 4 : Répartition par IRIS des m ² de SHON de l'aire urbaine de Lyon en 1999.....	26
Carte 5 : Prix moyens du m ² observés sur l'aire urbaine de Lyon en 1999 (€99)	28
Carte 6: Prix moyens du m ² estimés sur l'aire urbaine de Lyon (€99)	30
Carte 7 : Localisation de la population dans l'aire urbaine de Lyon en 1999.....	36
Carte 8 : Localisation des établissements du groupe 1 dans l'aire urbaine de Lyon - 1999	46
Carte 9: Localisation des établissements du groupe 2 dans l'aire urbaine de Lyon - 1999	46
Carte 10: Schématisation des flux appréhendé par les modules URBANSIM et FRETURB et des flux non encore connus sur le périmètre de l'aire urbaine lyonnaise.....	78
Carte 11: Enquête Cordon : Zonage Externe à l'AUL sur la région Rhône Alpes	79
Carte 12 : Positionnement des connecteurs des zones externes à l'aire urbaine lyonnaise.	79
Carte 13 : Illustration des doubles comptes	80
Carte 14 : Illustration des déplacements d'échanges non pris en compte dans l'enquête cordon	80
Carte 15 : Illustration des déplacements de transit absents de l'enquête cordon.....	80
Carte 16: Calage du réseau urbain à l'HPS (hors voies rapides) : indicateur GEH.....	103
Carte 17 : Calage du réseau de voies rapides à l'HPS : indicateur GEH.....	103
Carte 18 : Réseaux routiers et autoroutiers actuels et en projet sur l'aire urbaine.....	104

Liste des Figures

Figure 1 : Taux d'émissions au m ² dans les différentes zones concentriques de l'agglomération.....	5
Figure 2 : Niveaux d'émissions par personne et par jour suivant sa zone de résidence.....	6
Figure 3 : « Boucle de rétroaction » transport-urbanisation	7
Figure 4 : Processus de sélection des variables pour la construction de scénarios prospectifs	8
Figure 5 : Le système transport-urbanisme à travers le concept d'accessibilité	10
Figure 6 : Les indicateurs caractérisant les coûts et les services du système.....	11
Figure 7 : L'architecture du projet SIMBAD.....	12
Figure 8 : évolutions des théories et des outils des modèles LUTI.....	17
Figure 9 : Classification des modèles LUTI en fonction de leurs finalités.....	18
Figure 10 : La structure du modèle URBANSIM	20
Figure 11 : Procédure de calcul dans les modèles de choix discret d'URBANSIM.....	22
Figure 12 : Organigramme simplifié de FRETURB.....	56
Figure 13 : 5 établissements à livrer, plusieurs parcours possibles	57
Figure 14 : Mode de construction des zones éligibles à l'aboutissement d'un trajet (exemple de Dijon)	58
Figure 15 : La typologie en 25 fonctions de distance	59
Figure 16 : temps de calcul de FRETURB en fonction du nombre de zones	61
Figure 17 : Estimation du barycentre « marchandises » d'un découpage agrégé	61
Figure 18 : Un exemple de répartition de 180 paires entre deux zones (sous hypothèse d'indépendance).....	62
Figure 19 : Répartition des déplacements au cours de la journée dans les enquêtes ménages déplacements lyonnaises de 1976, 1985, 1995 et 2006	82
Figure 20 : Evolution de la courbe des déplacements cumulés, véhicules particuliers, périmètre EMD 1976.....	83
Figure 21 : 2 scénarios d'évolution de la concentration des motifs au sein de l'heure de pointe.....	86
Figure 22 : Courbes Débit temps appliquées dans SIMBAD	100
Figure 23 : Modélisation d'un arrêt TC	109

Plan détaillé

Sommaire.....	1
1. Introduction : présentation générale du projet SIMBAD	3
1.1. <i>Tester des politique de transport et d'urbanisme à l'aune du développement durable du système de transport</i>	3
1.1.1. L'aire urbaine, à l'articulation des enjeux locaux et globaux des mobilités urbaines	5
1.1.2. Etablir un pont entre le court et le long terme	6
1.1.2.1. Mieux prendre en compte les interactions entre transports et urbanisme	6
1.1.2.2. La démarche prospective : évolutions du contexte et simulation des politiques urbaines	8
1.1.2.3. Un horizon de 25 ans	9
1.1.3. Croiser l'économique, l'environnemental et le social	9
1.2. <i>L'articulation globale du projet</i>	12
2. Prendre en compte les interactions entre Transports et Urbanisme	15
2.1. <i>Présentation générale de la plate-forme URBANSIM</i>	16
2.1.1. Le choix de la plate-forme URBANSIM	16
2.1.2. L'agencement des différents modules d'URBANSIM	19
2.1.3. La modélisation de choix discrets comme outil de base pour les simulations	20
2.1.3.1. Principes généraux	20
2.1.3.2. Le modèle logit	21
2.1.3.3. Adapter le logit multinomial au cas d'un très grand nombre d'alternatives de localisations	22
2.1.4. De l'IRIS aux cellules : l'univers des localisations possibles dans URBANSIM /SIMBAD	23
2.2. <i>Le choix de la neutralisation du module de développement urbain</i>	23
2.2.1. Des données lyonnaises peu appropriées à une modélisation fine du développement urbain	24
2.2.2. Les surfaces disponibles par zone pour accueillir ménages et établissement	24
2.3. <i>Le module de prix de l'immobilier</i>	27
2.3.1. Les données utilisées : une nécessaire adaptation au contexte lyonnais	27
2.3.2. L'estimation du modèle sur les données du Grand Lyon	28
2.3.3. Les résultats obtenus et leur test sur l'ensemble de l'Aire Urbaine	29
2.4. <i>La localisation résidentielle des ménages</i>	31
2.4.1. Les facteurs explicatifs des logiques de localisation résidentielle des ménages	31
2.4.1.1. Relation entre le profil socio-démo-économique des ménages et la localisation résidentielle	31
2.4.1.2. Lien entre les caractéristiques de l'environnement résidentiel et les choix de localisation résidentielle des ménages	33
2.4.2. Déménager ou pas ? Un modèle logit binomial de mobilité résidentielle	34
2.4.2.1. La mobilité résidentielle décroît avec l'âge	34
2.4.2.2. Les locataires déménagent plus que les propriétaires	34
2.4.2.3. La mobilité résidentielle du ménage se réduit avec le nombre d'enfants	34
2.4.3. Où se localiser ? Un modèle logit multinomial de choix de l'IRIS de résidence	35
2.4.3.1. Les variables utilisées	35
2.4.3.2. Le modèle retenu : un fort impact des variables d'accessibilité	36
2.5. <i>La localisation des activités économiques</i>	38
2.5.1. Transfert et localisation des établissements : des facteurs explicatifs intrinsèques convergents	39
2.5.1.1. Les facteurs explicatifs des transferts	39
2.5.1.2. Les facteurs explicatifs des localisations	40
2.5.1.3. Une typologie homogène des établissements par secteur d'activité	41
2.5.2. Application : les probabilités de transfert	43
2.5.3. La probabilité de localisation	44
2.5.3.1. Les variables qualifiant le territoire	44
2.5.3.2. Les résultats de la modélisation	47
2.6. <i>Conclusion : des outils URBANSIM qui méritent d'être encore travaillés</i>	52
3. Modéliser les échanges entre les IRIS de l'aire urbaine	53

3.1.	<i>FRETURB et les échanges de marchandises en ville</i>	53
3.1.1.	Présentation générale du modèle.....	54
3.1.1.1.	Trois enquêtes pour modéliser la génération des flux de marchandises en agglomération	54
3.1.1.2.	La logique de fonctionnement du modèle	54
3.1.1.3.	Le calcul du nombre de livraisons et enlèvements dans l'aire urbaine.....	55
3.1.1.4.	Calcul de l'occupation de la voirie par les véhicules de livraison	55
3.1.1.5.	De la génération à la distribution des flux, une approche expérimentale	57
3.1.2.	Les interfaces de FERTURB avec SIMBAD.....	58
3.1.2.1.	En entrée, une perte de précision par rapport à SIRENE.....	58
3.1.2.2.	Le recours à un macrozonage pour accélérer la production des résultats.....	60
3.1.2.1.	En sortie, des flux de même nature que ceux des déplacements de personnes.....	62
3.1.2.2.	Prospective 2025 : passer d'un nombre d'emplois à un nombre d'établissements.....	62
3.2.	<i>Les échanges liés à la mobilité des résidents</i>	63
3.2.1.	Recalculer le taux de motorisation des ménages qui ont été relocalisés dans URBANSIM.....	64
3.2.2.	Un module de micro-simulation aléatoire pour la génération des chaînes de déplacements	65
3.2.2.1.	Choix méthodologiques : micro-simulation des comportements et sorties du domicile	65
3.2.2.2.	Définition des typologies d'individus et de sorties.....	66
3.2.2.3.	Analyse du pouvoir prédictif.....	68
3.2.2.4.	Synthèse	69
3.2.3.	Distribution et répartition modale : 3 chaînes de modèles pour 3 classes de revenus.....	70
3.2.3.1.	Choix méthodologiques : une approche en termes de sorties et une segmentation des individus en fonction de leur revenu.....	70
3.2.3.2.	L'offre de transports et les matrices de temps généralisés.....	71
3.2.3.3.	Distribution : modèle gravitaire exponentiel.....	72
3.2.3.4.	Répartition modale : un modèle logit imbriqué de choix discret.....	74
3.3.	<i>Le trafic de transit et les flux d'échange avec l'extérieur</i>	77
3.4.	<i>La répartition heures de pointe / heures creuses pour prendre en compte l'impact de la congestion</i>	81
3.4.1.	L'heure de pointe des Lyonnais : une grande stabilité temporelle ?	81
3.4.1.1.	Constater la stabilité de la répartition heure de pointe / heure creuse	81
3.4.1.2.	Analyser les évolutions de la population et les évolutions des motifs pour mieux prendre en compte d'éventuels changements des concentrations horaires.....	84
3.4.1.3.	Les hypothèses d'évolution de l'heure de pointe pour la population de l'aire urbaine de Lyon	86
3.4.2.	L'heure de pointe en sortie de FRETURB : ce qu'indiquent les enquêtes de marchandises en ville.....	86
3.4.3.	L'heure de pointe des trafics de transit et d'échange : l'enquête cordon lyonnaise	87
3.5.	<i>Conclusion : une production de matrice d'échanges en vue de l'affectation</i>	87
4.	Affecter les trafics sur les réseaux routiers et transports collectifs	89
4.1.	<i>Codification du réseau routier : vers une codification automatique ?</i>	90
4.1.1.	Méthodologie de la codification des réseaux routiers.....	90
4.1.1.1.	Niveau d'agrégation	90
4.1.1.2.	Caractéristiques des liens et des nœuds.....	90
4.1.2.	Principes de codification retenus pour le projet SIMBAD.....	92
4.1.2.1.	Un zonage fin et une représentation détaillée des réseaux	92
4.1.2.2.	Une utilisation des bases de données existantes	92
4.1.2.3.	Un traitement le plus automatique possible des attributs des liens et des nœuds	93
4.1.2.4.	Une génération la plus automatique possible des connecteurs.....	94
4.1.3.	Application de la méthode au cas lyonnais et calage du réseau sous DAVISUM	94
4.1.3.1.	Typologie des liens.....	94
4.1.3.2.	Typologie des nœuds et mouvements tournants aux carrefours.....	96
4.1.3.3.	Choix des courbes débit-temps, des vitesses et des capacités	98
4.1.3.4.	Codification automatique des connecteurs.....	100
4.1.3.5.	Calage du réseau.....	101
4.1.3.6.	Projets de développement du réseau à l'horizon 2025	104
4.2.	<i>Codification du réseau de transports collectifs : vers une codification automatique à partir des données publiques ?</i>	104
4.2.1.	Méthodologie de la codification des réseaux transports collectifs.....	105
4.2.2.	Principes de codification retenus pour le projet SIMBAD.....	106
4.2.3.	Calage du réseau de transports collectifs sous DAVISUM.....	107
4.2.3.1.	Codification des nœuds et des liens du réseau support.....	107
4.2.3.2.	Codification des lignes de transports collectifs	107

4.2.3.3.	Codification automatique des connecteurs de centroïde	108
4.2.3.4.	Choix de la fonction de temps généralisé	109
4.2.3.5.	Calage du réseau de transports collectifs.....	111
4.3.	<i>Conclusion : un double usage des résultats de l'affectation.....</i>	<i>112</i>
5.	Conclusion : les pistes de développement.....	115
5.1.	<i>Des premiers résultats</i>	<i>115</i>
5.2.	<i>Renforcer les briques, un processus itératif qui se poursuit.....</i>	<i>116</i>
5.3.	<i>Adosser la plate-forme SIMBAD à une analyse sur une longue période.....</i>	<i>117</i>
5.4.	<i>A plus long terme... ..</i>	<i>119</i>
6.	Annexe technique	121
7.	Bibliographie	195
	Liste des Tableaux	203
	Liste des Cartes.....	205
	Liste des Figures	207
	Plan détaillé.....	209