



Rapport pour le PREDIT : Lettre de commande n° 07MTS051

MOSART
**(MOdélisation et Simulation de l'Accessibilité
aux Réseaux et aux Territoires) :**
**un prototype d'outil d'aide à la décision, individuelle et collective
pour une mobilité durable.**



Rapport Final : Décembre 2009

Réalisation :

Alain BONNAFOUS, Yves CROZET,
Aurélie MERCIER, Nicolas OVTRACHT, Valérie THIEBAUT

Sommaire

SOMMAIRE	5
TABLE DES FIGURES	7
REMERCIEMENTS.....	11
INTRODUCTION	13
PARTIE I - CONSIDERATIONS METHODOLOGIQUES SUR LA CONSTRUCTION DE L'OUTIL MOSART ET SES DIVERSES FONCTIONNALITES	15
1. L'apport des SIG.....	15
2. La plateforme numérique de modélisation MOSART	20
3. L'application Webmapping.....	24
4. Présentation de l'aire d'étude	29
5. Le réseau de transport en commun de l'agglomération de Lyon.....	33
6. Les bases de données utilisées dans MOSART	36
7. Eléments méthodologiques sur la mesure du coût généralisé.....	57
7.1. Calcul du coût généralisé des déplacements.....	58
7.2. Calcul du coût généralisé des déplacements en transports en commun	61
7.3. L'évaluation de la sensibilité des individus au coût généralisé	66
8. Prise en compte de la congestion automobile par un modèle de transport	68
8.1. La génération des déplacements	69
8.2. La distribution des déplacements.....	74
8.3. La répartition modale.....	79
8.4. L'affectation sur différents tronçons et la détermination des vitesses	82
8.5. Une procédure itérative.....	84

PARTIE II - SIMULATIONS AUTOEUR DES MESURES D'ACCESSIBILITE :	
DE L'ANALYSE DE L'EXISTANT A LA REALISATION DE SCENARIOS	
PROSPECTIFS.....	87
1. Analyse de l'accessibilité et de la concurrence modale en situation de référence.....	87
1.1. Cadrage méthodologique et hypothèses de travail.....	87
1.2. Une accessibilité décroissante de la distance au centre	89
1.3. Une structure de l'accessibilité disparate selon les modes.....	89
1.4. Les termes de la concurrence modale	92
2. Le péage urbain	95
2.1. Présentation du péage urbain	95
2.2. Péage urbain et accessibilité automobile	96
2.3. Péage urbain et concurrence modale.....	99
3. La taxe sur l'usage de l'automobile	102
3.1. La taxe carbone.....	102
3.2. Une taxe kilométrique « extrême ».....	103
3.3. Couplage entre péage urbain et taxation automobile	105
4. Une analyse de l'attractivité par l'accessibilité : l'exemple du tramway T4.....	107
4.1. Présentation du projet T4.....	107
4.2. Une accessibilité cohérente avec les objectifs annoncés.....	108
4.3. Pourquoi un tel engouement pour le tramway T4 ?	109
CONCLUSION.....	113
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	117

Table des figures

- Figure 1 : les 3 volets pour la mise en place d'un SIG
- Figure 2 : Interactions entre la base de données SIG et les différents modules de MOSART
- Figure 3 : Architecture de la Plateforme numérique de modélisation MOSART
- Figure 4 : Processus de traitement de l'information pour la mise en place d'un scénario dans le cadre du projet MOSART
- Figure 5 : La technologie du Webmapping
- Figure 6 : les différents types de Web SIG et leurs principales fonctionnalités
- Figure 7 : Principales caractéristiques des Web SIG
- Figure 8 : exemple de site Webmapping de la ville de Vernon et du district régional du Okanagan Nord du Canada
- Figure 9 : exemple de site Webmapping de la région Bretagne
- Figure 10 : Architecture Webmapping de MOSART
- Figure 11 : Aire d'étude : Aire urbaine de Lyon (INSEE 1999)
- Figure 12 : Répartition spatiale de la population sur l'aire urbaine de Lyon
- Figure 13 : Répartition spatiale de l'emploi sur l'aire urbaine de Lyon
- Figure 14 : Périmètre du PTU de Lyon en 2008
- Figure 15 : Projet de nouvelles infrastructures de transport en commun pour le PTU de Lyon
- Figure 16 : Typologie des données réseaux VP et TC dans Visum
- Figure 17 : Architecture du SIG-T pour MOSART version1
- Figure 18. Modèle hiérarchique de groupes fonctionnels dans les S.I. , de gestion de données, manipulation de données, et d'analyse de données

- Figure 19 : Classification des erreurs dans les SIG (d'après Hunter G.J. 1992)
- Figure 20 : Contrôle qualité : Zone de Nord-Ouest de Laurent Bonnevay
- Figure 21 : Contrôle qualité : Zone de Nord-Ouest de Laurent Bonnevay
- Figure 22 : Contrôle qualité : Zone du centre Berthelot et de l'Hôpital Saint-Joseph
- Figure 23 : Contrôle qualité : zone périphérique du centre de Lyon
- Figure 24 : Contrôle qualité : zone de confluence de Lyon
- Figures 25 et 26 : le cas de la gare multimodale de Laurent Bonnevay
- Figure 27 : connecteur TC et VP au niveau de la zone Centre Berthelot
- Figure 28 : Réseaux VP et TC intégrés dans le modèle de transport du logiciel Visum
- Figure 29 : Calcul d'une fonction isochrone à partir du Vieux Lyon en mode TC avec un crédit temps de 30 minutes en heure de pointe
- Figure 30 : Calcul du plus court chemin entre 2 zones en mode VP en heures creuse
- Figure 31 : Les zones accessibles depuis Meyzieu en 40 minutes
- Figure 32 : Centre ville : les zones accessibles en 40 minutes (TC + Vélo'V) depuis Meyzieu
- Figure 33 : Les aménités urbaines accessibles depuis Meyzieu en 40 minutes
- Figure 34 : Accessibilité aux emplois en transport en commun en heure de pointe sur la zone de Lyon - La Verpillière
- Figure 35 : Accessibilité aux emplois en VP sur la zone de Lyon - La Verpillière
- Figure 36 : Architecture du modèle de transport « à quatre étapes
- Figure 37 : Impact des fonctions d'impédance sur la distribution des déplacements
- Figure 38 : Exemples de taux de saturation des tronçons routiers sur Lyon et sa périphérie
- Figure 39 : Accessibilité en « situation de référence »

- Figure 40 : Accessibilité suite à la mise en place d'un péage urbain
- Figure 41 : Différentiel d'accessibilité avec une taxation de l'usage de l'automobile
- Figure 42 Différentiel d'accessibilité avec une taxation de l'usage de l'automobile et un péage urbain
- Figure 43 : Différentiel d'accessibilité en transports en commun suite à la mise en service du tramway T4
- Figure 44 : Différentiel d'accessibilité entre la VP et les TC avec le T4 et un temps de déplacement perçu à 25% du temps réel

Remerciements

Le laboratoire d'économie des transports (LET) et l'équipe MOSART tiennent remercier le PREDIT pour le financement de cette recherche. Ils souhaitent associer à ces remerciements les partenaires qui ont soutenu le projet MOSART dès son lancement : le SYTRAL, la DATAR et le pôle de compétitivité LUTB qui a labellisé ce projet. Fabrice Marchal, chercheur au LET au moment du lancement du projet nous a aussi aidé à faire les bons choix scientifiques et techniques, tout comme nos partenaires de la SSII Géomod qui ont été d'une aide

précieuse. Ces remerciements sont d'autant plus fondés que le projet MOSART se développe maintenant dans le cadre d'un projet ANR « Ville Durable » baptisé PLAINSUDD. D'autres développements sont en cours avec notamment des partenaires lyonnais et rhône-alpins, ainsi qu'avec l'Université Technologique de Munich. Les ambitions de MOSART restent fortes, c'est un projet de longue haleine dont nous continuons à souhaiter qu'il représente une référence pour les politiques publiques de mobilité urbaine durable.

Introduction

Le Laboratoire d'Economie des Transports, en partenariat avec GEOMOD, a lancé le projet MOSART il y a près de quatre ans. MOSART a été conçu comme un outil d'aide à la décision individuelle et collective pour une mobilité durable. Se présentant comme un Système d'Information Géographique dédié aux transports (« MOSART Version 1 »), cet outil s'est développé au fil des ans pour devenir une véritable plate-forme numérique de modélisation dans le cadre de « MOSART Version 2 ». L'utilisation d'un modèle d'affectation du trafic associé à des données de navigation et d'occupation du sol permettent à MOSART d'être aujourd'hui un observatoire des mobilités spatiales. L'originalité du projet réside dans le fait qu'il s'intéresse conjointement à la question de la vitesse (par le biais des temps de déplacement) et à celle de l'utilisation du sol (par le biais des densités). En combinant ces deux aspects, MOSART offre une nouvelle approche de l'évaluation des politiques de transport et d'aménagement du territoire en proposant l'accessibilité comme élément central du raisonnement.

La « complexification des besoins et la diversification des attentes » (Guesnerie, 2006) en matière de transport se traduisent paradoxalement par un retour à la lenteur dans les centres-villes où la tendance n'est plus la construction de voies routières rapides mais la mise en service de transports en commun, en site propre de surface, comme en témoigne l'implantation de tramways dans de nombreuses agglomérations françaises. Si cette inflexion des tendances peut être interprétée comme une réponse à la congestion ou à la pollution urbaine, elle relève également d'une volonté de réorganiser l'usage des espaces urbains et périurbains.

Aussi, le concept d'accessibilité (et plus particulièrement d'accessibilité gravitaire), en associant au coût du déplacement les opportunités qu'il permet d'atteindre mérite-t-il d'être « re-découvert » pour comprendre les évolutions récentes et anticiper les contraintes à venir. Si l'accessibilité est un concept fréquemment utilisé en géographie, les économistes (des transports) l'avaient mis à l'écart depuis quelques dizaines d'années en se concentrant sur les avantages en termes de gains de temps procurés par les infrastructures de transport. Le concept d'accessibilité, en mobilisant conjointement la vitesse et la densité, invite à remettre en selle l'espace et à relativiser la recherche de gains de temps.

Il convient dès lors d'interroger les politiques de transport sous un angle spatio-temporel pour comprendre quels sont les facteurs explicatifs sous-jacents à la « préférence pour la lenteur » émergeant aujourd’hui, au moins en certains lieux, dans les zones urbaines. Ce ne sont ainsi pas tant les gains de temps, ou la vitesse automobile, qui sont « montrés du doigt » mais davantage le rapport qu’ils entretiennent avec l'espace urbain et périurbain ainsi que leurs impacts environnementaux. Tandis que la vitesse et la congestion consomment de l'espace, la rareté de ce dernier nécessite d'en rationaliser l'usage. Face à cette double contrainte spatiale et environnementale, il convient d'évaluer les dynamiques actuellement à l'œuvre tant sur l'éventail des possibilités et choix offerts aux individus par le service de transport que sur l'organisation de l'espace urbain et périurbain. Cette analyse de l'existant constitue une situation de référence pour faire émerger des politiques futures. Elle se double d'une évaluation prospective pour envisager les impacts des différents scénarii de politiques de transport qui s'offrent aux élus.

Dans ce contexte, l'ambition de ce rapport est double :

- Une première partie détaille la plate-forme numérique de modélisation MOSART à partir de son architecture. Elle montre, pour l'aire d'étude de Lyon, comment l'articulation entre les différentes composantes de l'outil permet d'obtenir des calculs d'accessibilité gravitaire différenciés selon les modes et les périodes de la journée à un niveau zonal très détaillé.
- La seconde partie simule, à partir des contraintes sociales et environnementales liées à l'accroissement de la mobilité dans les grandes agglomérations, différentes alternatives offertes aux élus. A l'échelle individuelle, ces scénarii peuvent être envisagés comme autant de « contraintes » dans la détermination des choix de localisation.

Partie I - Considérations méthodologiques sur la construction de l'outil MOSART et ses diverses fonctionnalités

Il est nécessaire de commencer par la présentation des bases analytiques et empiriques nécessaires à la mise en œuvre des mesures d'accessibilité afin de définir les fondations sur lesquelles nous construisons notre travail. Après un rappel sur les apports des SIG (section 1), nous présenterons l'architecture de la plate-forme MOSART (section 2) et les développements à attendre dans la dimension webmapping (géoportail) (section 3). Nous présenterons ensuite notre périmètre d'étude et de ses caractéristiques (section 4), après quoi nous détaillerons les bases de données mobilisées dans l'outil d'aide à la décision MOSART (section 5) qui, plus qu'un simple SIG, est réellement conçu comme plate-forme numérique de modélisation. L'un des objectifs de cet outil consiste à évaluer et simuler des politiques de transport au travers des indices d'accessibilité dont la cohérence avec le calcul économique a fait l'objet de multiples travaux (Raux *et al.*, 2008). Les deux sections suivantes s'attachent à la mise en place de mesures d'accessibilité à partir d'un Système d'Information Géographique. Tandis que la section 6 illustre comment le SIG est mobilisé afin de mesurer le coût généralisé et *in fine* l'accessibilité, la section 7 développe un modèle de transport pour intégrer le phénomène de congestion automobile dans le calcul des temps de parcours.

1. *L'apport des SIG*

L'utilisation des techniques issues du monde des Systèmes d'Information Géographique fonde la démarche scientifique du projet MOSART. Ceci explique pourquoi ce projet a commencé par la mise en place d'un SIG dédié aux transports (SIG-T) et qu'ensuite il est monté en puissance par l'utilisation d'un modèle de transport (VISUM).

Rappelons ce que l'on entend par Système d'Information Géographique. En effet, il existe de nombreuses définitions des SIG en fonction des disciplines qui les utilisent. Nous proposons ci-dessous quelques définitions assez complètes illustrant l'étendue des possibilités de ces outils :

- "Un type particulier de système d'information dont la base de données contient des informations reliées à des entités physiques, des activités ou des événements localisés et assimilables aux formes géométriques de points, de lignes et de zones. Un SIG gère les informations spécifiques à ces points, lignes et zones pour extraire les données requises afin de réaliser des recherches et des analyses spécialisées" (Dueker 1979).

- "Un ensemble puissant d'outils pour saisir, conserver, extraire, transformer et afficher les données spatiales décrivant le monde réel." (Burrough 1986)

- "Un ensemble de principes, de méthodes, d'instruments et de données à référence spatiale utilisés pour saisir, conserver, transformer, analyser, modéliser, simuler et cartographier les phénomènes et les processus distribués dans l'espace géographique. Les données sont analysées afin de produire l'information nécessaire pour aider les décideurs." (Thériault, 1992)

Ainsi suivant ces définitions, on s'aperçoit que les SIG sont des outils puissants permettant la gestion et la construction de bases de données spatiales, de nombreuses analyses et modélisations:

- Faciliter les études et les prises de décision;
- Éditer des cartes thématiques et des cartes d'aide à la décision tel que l'état du réseau, l'évolution des nouvelles constructions;
- Connaître précisément l'état des lieux d'un espace géographique;
- Croiser des informations géographiques, économiques et sociales dans un référentiel commun en vue d'analyser et de visualiser des phénomènes;
- Permettre la superposition de cartographies différentes offrant la possibilité de rapprochements de renseignements;
- Doter les décideurs d'un outil moderne pour la gestion des territoires;
- Comprendre des phénomènes et prévoir les risques à travers des simulations;
- Réaliser des simulations, étudier les avantages et les inconvénients d'un projet;
- Doter les professionnels d'un outil métier pour la gestion et l'aménagement du territoire, pour le suivi de l'environnement, les routes, la gestion du patrimoine...

Ainsi, les SIG sont utilisés dans de nombreux domaines aussi bien en termes de gestion que de recherche :

- Aménagement du territoire : outils d'aide à la décision pour la planification d'infrastructures, gestion de la voirie
- Environnement, Agriculture, Géologie et hydrologie : suivi de l'occupation des sols, feux de forêts, PAC (Politique Agricole Commune)
- Transports : suivi de flottes, optimisation de parcours, accessibilité du territoire
- Gestion de réseaux d'eau, électricité, de réseau routier
- Santé, étude et analyse d'épidémie
- Géomarketing, commerces et services

On peut résumer les fonctions d'un SIG par 5 grandes fonctionnalités :

- Abstraction (représentation du monde réel)
- Acquisition des données
- Archivage des données (archivage)
- Analyse des données (manipulation et interrogation des données géographiques)
- Affichage (la présentation des données)

Ces différentes fonctionnalités ou étapes des SIG ont été largement utilisées dans le cadre de la mise en place des couches SIG, de la construction des scénarios et de la représentation des résultats de ces scénarios dans le cadre de MOSART.

Il est à noter, que certains organismes regroupent les fonctionnalités des SIG en 3 parties. Ainsi, pour la société ESRI, un SIG doit proposer plusieurs volets pour afficher et manipuler les informations géographiques (cf. Fig. 1). En réalité, on retrouve bien les 5 grandes fonctionnalités des SIG dans cette autre décomposition qui est d »une certaine manière plus simple.

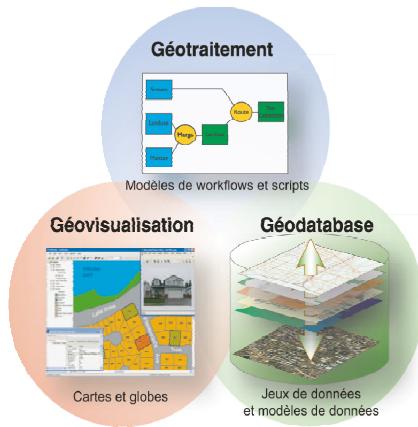


Figure 1 : les 3 volets pour la mise en place d'un SIG (Esri France)

- La géodatabase correspond aux bases de données spatiales (acquisition, structuration).
- Les géotraitements concernent l'analyse spatiale, les croisements des couches d'informations et l'analyse des données.
- L'affichage permet de visualiser les couches d'informations, et les requêtes sur les différentes thématiques (présentation des données).

Depuis une quinzaine d'années, de nombreuses applications SIG ont été développées dans le domaine des transports au point que l'on parle aujourd'hui de SIG-T (Dueker 2000, Thill 2000), pour un SIG dédié à l'analyse des réseaux de transports. Dans le cadre de l'analyse de la mobilité des individus, le SIG-T permet des modélisations et des analyses sur les réseaux de transports. L'objectif du projet MOSART est d'utiliser un modèle de transport développé avec VISUM, associé à un SIG, pour permettre la mise en place d'un outil d'aide à la décision utilisant l'ensemble des fonctionnalités d'analyse des 2 applications.

On peut aussi noter depuis quelques années le développement d'outils d'aide à la navigation. Ce sont des dispositifs permettant d'informer l'usager d'un itinéraire optimal en fonction des contraintes de la circulation (congestion, travaux). Ces dispositifs s'appuient sur les bases de données routières de type NAVTEQ et TéléAtlas, mais ne sont pas à proprement parler des SIG-T. Ce sont plutôt des systèmes d'informations ayant une application webmapping « légère » pour visualiser les informations et les résultats d'un parcours optimisé.

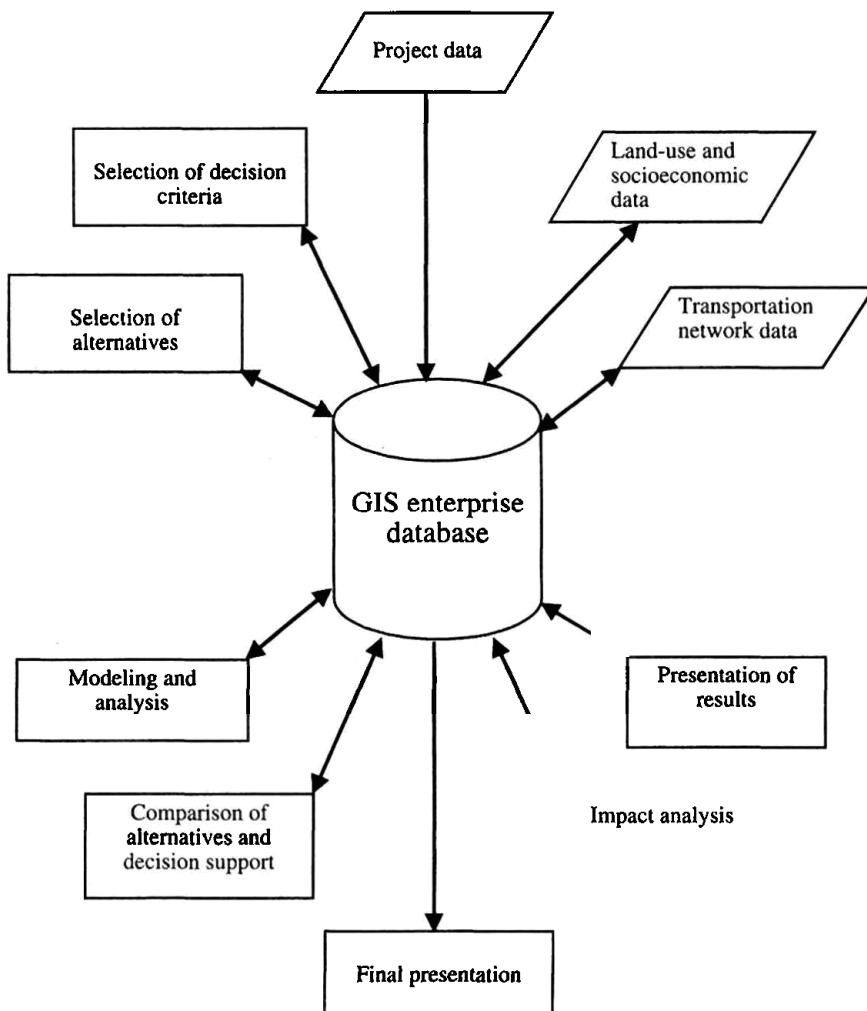


Figure 2 : Interactions entre la base de données SIG et les différents modules de MOSART (Miller H.J., Shaw S.L., 2001)

Le SIG dans MOSART tient un rôle central dans la mesure où dès que l'on veut construire des scénarios de nouvelles politiques de transport (taxe carbone, etc ...) ou de la mise en place de nouvelles infrastructures et faire du géotraitement (fonctions spatiales SIG) avec les couches de données sur l'accessibilité et les couches de données socio-économiques, nous devons passer par le serveur de données ou utiliser les fonctions d'analyses spatiales du SIG (cf Fig. 2). D'autre part, pour la mise à jour des données (réseau TC, réseau VP) ou l'implémentation de nouvelles couches d'informations dans la plateforme, nous devons passer par les fonctionnalités du SIG, soit pour construire ces bases de données, soit pour les préparer afin de les intégrer plus facilement dans les différents modules. Il est à noter aussi que l'application VISUM développe de plus en plus de passerelles avec le monde des SIG. C'est une illustration de l'importance des connexions et des échanges de données entre les

différents modules de la plate-forme MOSART qui est décrite de manière détaillée dans la section suivante.

2. La plateforme numérique de modélisation MOSART

MOSART est un Système d'Information (S.I. MOSART) intégrant de manière transversale des données multi sources (BD réseaux VP-TC, BD socio-éco, ...) et utilisant les applications basées sur la modélisation des transports (VISUM) pour la simulation (affectation pour le calcul de la congestion) et des méthodes d'analyse spatiale du monde des SIG.

Les objectifs de MOSART sont de mettre en œuvre conjointement 3 technologies de pointe que sont la modélisation des transports (VISUM), des analyses spatiales au travers de méthodes issues du monde des SIG s'appuyant sur des bases de données les plus fines et les plus détaillées actuellement et l'utilisation des technologies du Webmapping pour son utilisation et la diffusion des résultats (cf. Fig.3). Le développement de cet outil d'aide à la décision permettra de faire des études et des analyses sur la mobilité des personnes, de comparer des scénarios de politiques de transport et d'aménagement du territoire dans un cadre de développement durable.

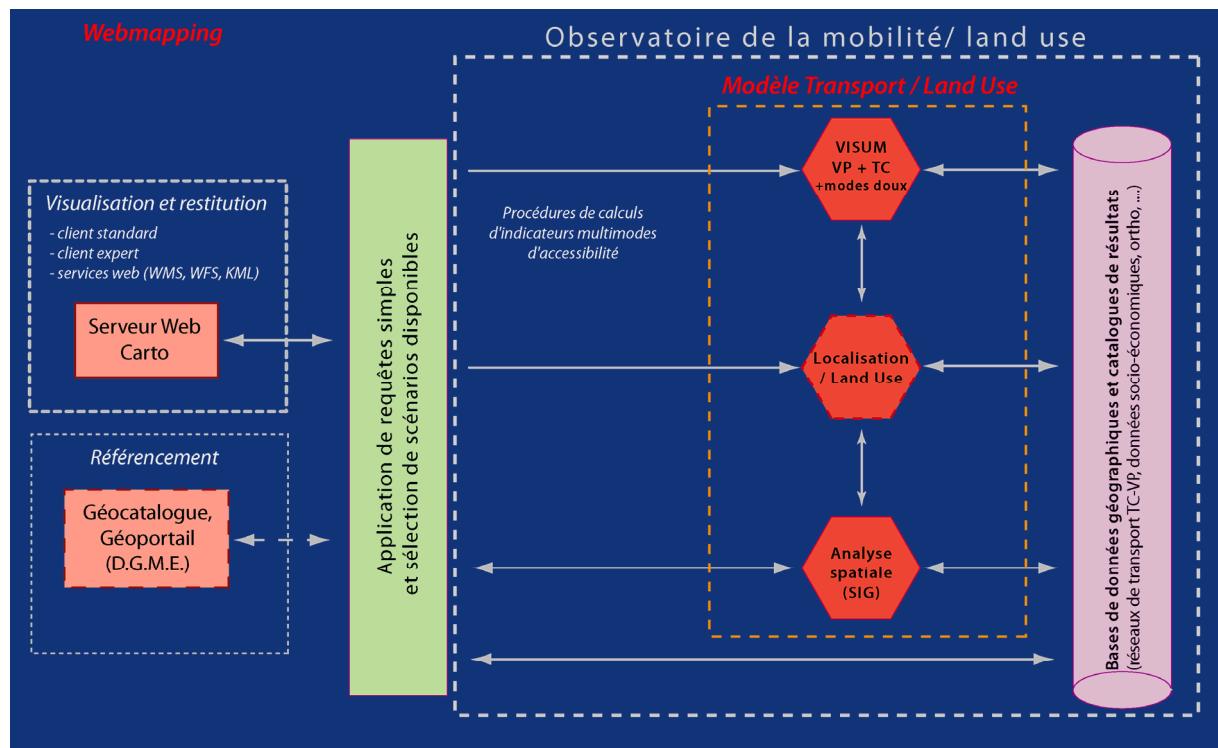


Figure 3 : Architecture de la Plateforme numérique de modélisation MOSART

L'architecture du Système d'Information MOSART peut-être décomposée en deux grandes parties (conf. Fig. 3). La première partie se compose d'un "Observatoire de la mobilité" pour les calculs d'indicateurs et la modélisation de l'accessibilité, et la seconde comprend l'aspect Web-Carto (Webmapping) pour son utilisation et la diffusion des résultats par internet.

La partie "Observatoire de la mobilité" sera décomposée de la manière suivante :

- Un serveur de bases de données géographiques sur lequel les bases de données sont stockées pour pouvoir être utilisées par les différentes applications (VISUM, SIG). Ces bases de données seront préalablement traitées et préparées dans une chaîne de traitement pour être opérationnelles directement avec les applications du S.I. MOSART pour les procédures de calcul et de modélisation. Les procédures de calcul pouvant être extrêmement longues à réaliser, de nombreux scénarios de bases seront calculés préalablement et seront archivés sur le serveur des BD géographiques. L'ensemble des calculs des scénarios sera réalisé dans le logiciel VISUM pour l'affectation du trafic. Les résultats seront archivés sur le serveur contenant les BD géographiques. Pour le croisement des données résultant des scénarios d'accessibilité avec les données socio-économiques, MOSART s'appuiera sur des fonctions issues de l'analyse spatiale permettant de croiser ces différentes couches d'informations.

- La deuxième partie du S.I. MOSART sera composée de l'aspect Webmapping : l'application pourra être utilisée à travers internet de telle manière que l'ensemble des acteurs de l'aménagement du territoire puisse y avoir accès avec le moins de contraintes possible. L'utilisateur interrogera l'application Webmapping-MOSART à l'aide de requêtes en fonction des scénarios qu'il aimerait visualiser ou mettre en place.

Le système pouvant montrer des aspects simples de visualisation de scénarios préalablement calculés, mais aussi des formes « expert » par la construction de scénarios et le lancement par requêtes de procédures de calculs complexes ; il est donc prévu 2 grands types d'utilisateurs du système à travers le Web (conf. Fig. 3).

L'utilisateur standard qui pourra visualiser et interroger le système MOSART sur des scénarios ayant déjà été calculés préalablement.

L'utilisateur averti ou expert pouvant lancer des procédures de calcul de scénarios suivant des paramètres qu'il aura préalablement choisis. Il est à noter que certains calculs de scénarios « à la volée » pourront prendre plusieurs heures.

Dans les deux cas, les utilisateurs auront accès à des fonctions générales de visualisation, informations sur les objets géographiques, impressions et exports (numérique) des résultats des scénarios, fonctions de mesures de distances et de calcul de zones tampons, visualisation ou non de certaines couches thématiques.

Pour répondre à cette exigence, la seconde version de MOSART ne vise pas seulement à déterminer des temps de parcours moyens, mais à construire des cartes d'accessibilité en utilisant pour cela les indicateurs construits par Hansen et Koenig. La question du temps et de la vitesse ne doit en effet pas être abordée pour elle-même. En s'intéressant à l'accessibilité aux emplois, aux logements, aux commerces et aux autres aménités urbaines, on aide le décideur public et privé à passer d'un raisonnement fondé sur la vitesse à une stratégie s'intéressant à la densité, ce qui donne un intérêt nouveau aux modes relativement lents que sont le tramway, les vélos et bien sûr la marche à pied.

Les moyens techniques développés dans la version 2 de MOSART sont également beaucoup plus ambitieux puisque le projet vise à combiner deux solutions technologiques innovantes :

- des logiciels d'affectation (VISUM),
- des données de navigation et d'occupation du sol les plus évoluées et les plus adaptées au projet,

Les principaux choix se déclinent dans l'approfondissement de chacun des trois grands axes :

- Acquisition et création de bases de données spatiales pour alimenter le système d'information (NAVTEQ pour le réseau routier, création du réseau TC de bus avec indication des horaires de chaque ligne pour chaque journée type, réseau et fréquence des TCSP, localisation et caractérisation des stations de Vélo'V ...)

- Simulation numérique de scénarios de mobilité de personnes et de marchandises. A partir du modèle de transport développé avec VISUM, nous donnerons les temps de parcours et les indicateurs d'accessibilité dans diverses hypothèses de travail proposées par les experts ou les responsables des politiques publiques.

- Les résultats du modèle sont systématiquement transposés dans un SIG qui permet des analyses spatiales et la visualisation des résultats à travers une interface Web (type Géoportail). Dans un premier temps disponible pour les seuls partenaires du projet ainsi que les décideurs publics, cette interface pourra dans un second temps être mise en ligne pour le grand public.

- un SIG destiné à devenir un portail géographique (Webmapping).

La combinaison dans un même outil de ces 3 technologies offre la possibilité de multiplier les scénarios en matière de choix publics et privés débouchant ainsi sur une approche renouvelée des politiques d'aménagement du territoire. Ces dernières pourront être simulées par une application pilotée à travers un accès web, de type Géoportail.

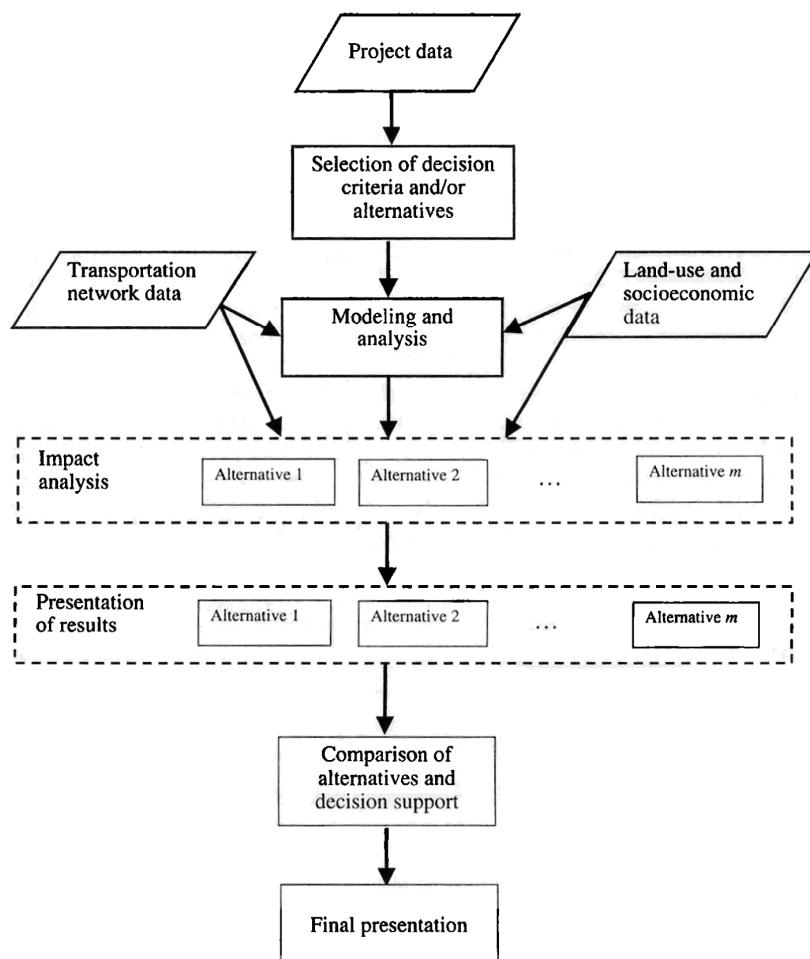


Figure 4 : Processus de traitement de l'information pour la mise en place d'un scénario dans le cadre du projet MOSART (d'après Miller H.J., Shaw S.L., 2001)

La figure 4 montre l'ensemble du processus du traitement de l'information dans le cadre de la mise en place d'un scénario dans le domaine des transports, c'est ce type de

traitement que MOSART réalise dans le cadre de la mise en place de scénarios de prospective (voir plus loin).

3. L’application Webmapping

L’utilisation des Systèmes d’Information Géographique était initialement réservée à des spécialistes et leur manipulation se faisait sur des stations de travaux dédiées aux SIG. L’arrivée sur le marché de la géomatique d’acteurs tel que Microsoft et Google a bousculé et dynamisé le monde de la géomatique à travers leurs applications grand public Google Maps, Google Earth et Microsoft Virtual Earth. Ces applications connaissent un grand succès par leur côté ludique et simple, et ont fait en sorte que le public se familiarise avec les navigateurs géographiques. Du côté français, l’IGN a mis en place le géoportail de l’IGN (www.geoportail.fr), avec comme partenaire le BRGM et le Ministère de l’Ecologie, de l’Energie, du Développement durable et de la Mer, permettant de naviguer sur le territoire français et de visualiser de nombreuses couches d’informations dans des thématiques très diverses tel que : occupation des sols, réseaux de transport, géologie, sites protégés, hydrographie, etc

Aujourd’hui, la mise en place des projets SIG dans les collectivités territoriales comporte très souvent un volet webmapping pour pouvoir ouvrir son utilisation et sa visualisation à un maximum de personnes (autoriser). La technologie du webmapping repose sur 3 composantes : le client, le serveur et les données (cf. Fig. 5). Ceci a débouché au développement d’applications « géo-web » plus conviviales et plus interactives.

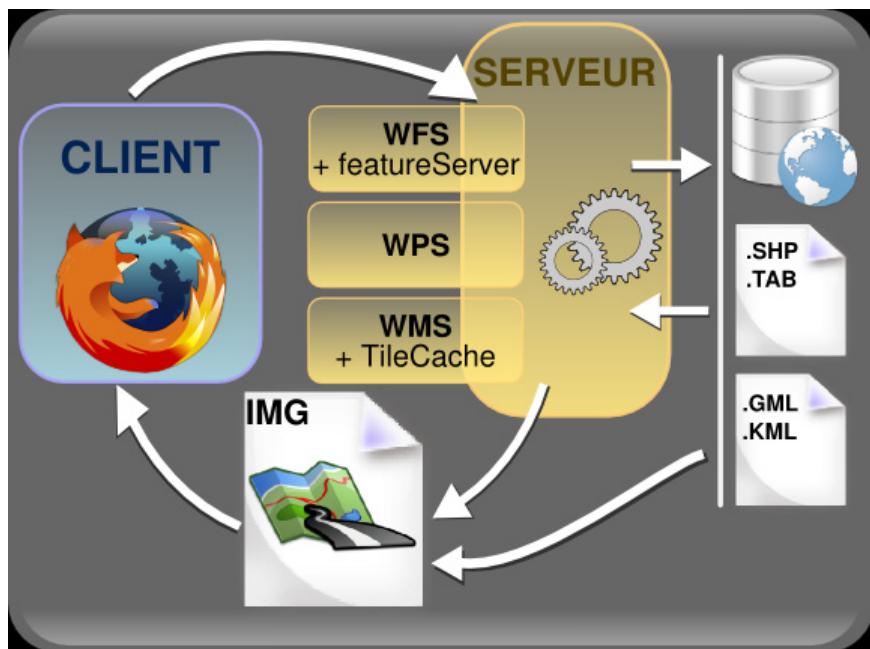
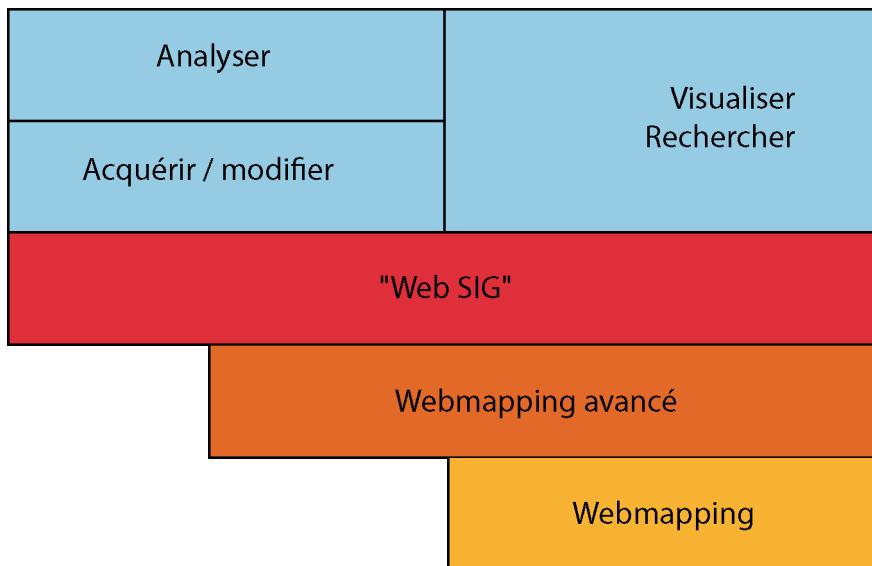


Figure 5 : La technologie du Webmapping

L'intérêt du projet MOSART est que cette plate-forme de modélisation soit consultable par le maximum de personnes. C'est pour cela que le projet MOSART a dès le début proposé de mettre en place une application Webmapping. Mais il faut savoir que c'est un domaine en pleine évolution, et qu'il n'existe pas forcément de solution évidente pour mettre en place ce type de projet. En effet il existe 2 grands types de solutions techniques :

- une solution web issue des grands éditeurs de logiciel SIG tel que Esri, Autodesk, Intergraph, ou Star-Apic ;
- une solution autour du monde libre de la géomatique, c'est-à-dire du monde Linux.

En observant ce qui se fait actuellement sur le territoire français, on découvre des projets comme Carmen, Prodigie ou Georchestra qui sont portés par des ministères (MEDDEM) ou des régions (Nord-pas-de-Calais, PACA, Bretagne, ...). Ces projets ont la particularité de se fonder sur des solutions libres (des composants issus de l'Open Source) issues du monde de Linux. Ainsi, Carmen, projet du Ministère en charge de l'environnement, est un serveur cartographique, dont la fonction principale est la diffusion de données géographiques environnementales publiques. C'est une application Webmapping utilisée principalement par les services du ministère, mais aussi par d'autres structures qui ont des missions de service public.



Source : ERTZ Olivier

Figure 6 : les différents types de Web SIG et leurs principales fonctionnalités

Mais ces projets autour des web SIG n'ont pas nécessairement les mêmes objectifs et les mêmes fonctionnalités. La figure 6 rappelle qu'il existe 3 grands types de Web SIG.

- Les Webmapping standards utilisent des fonctions basiques de consultation telle que la visualisation des couches d'informations et des fonctions de recherche (par exemple la recherche d'un lieu)

- Les Webmapping avancés offrent des fonctions plus étoffées dans le domaine de l'analyse spatiale ou bien des fonctions d'acquisition ou de modification des données spatiales.

- les Web SIG sont des applications internet ayant l'ensemble des fonctionnalités d'un SIG sur un poste de travail. (Requêtes attributaires, spatiales et géotraitements)

La plupart des applications internet SIG actuelles sont du type de Webmapping ou bien Webmapping avancé. Néanmoins c'est un domaine en pleine évolution, il est donc normal de penser que d'ici quelques années ces applications vont évoluer en fonctionnalités de type SIG.

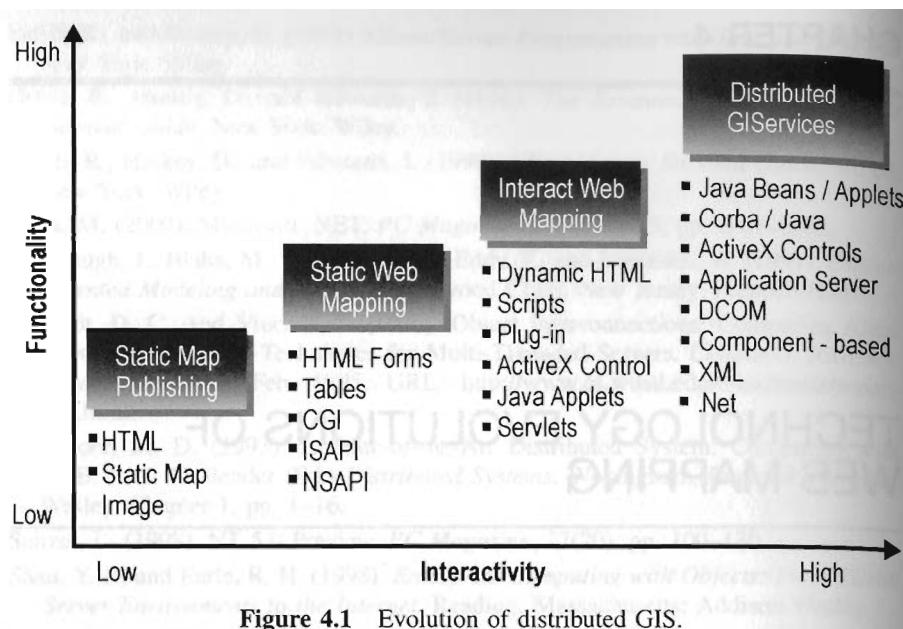


Figure 7 : Principales caractéristiques des Web SIG

Le développement du Webmapping se fait par l'intermédiaire de services web géographiques standard OGC (Open Geospatial Consortium) tel que WMS, WFS. Ces services permettent d'effectuer des traitements géomatiques et de renvoyer des cartes ou de donner accès à des données géographiques.

- WMS pour Web Map Service: c'est un service qui fournit une carte au format image (png, jpg, svg)
- WFS pour Web Feature Service : c'est un service qui fournit des données géographiques
- GML pour Geographic Markup Language : c'est un format d'échange de données géographiques

En suivant cette logique, un organisme peut rendre ses données accessibles via le web à l'aide d'un logiciel serveur respectant le standard de l'OGC (WMS, WFS, ...). Ainsi un utilisateur disposant d'un logiciel client (respectant le même standard de l'OGC) peut visualiser ou manipuler ces données comme si elles se trouvaient sur son poste de travail.

Un exemple de Webmapping est donné dans la figure 8, il concerne la ville de Vernon au Canada. Pour les collectivités territoriales un site webmapping peut-être considéré comme un outil de promotion. Ce type de site internet permet essentiellement de la consultation, des requêtes simples et des impressions de données spatiales et attributaires.

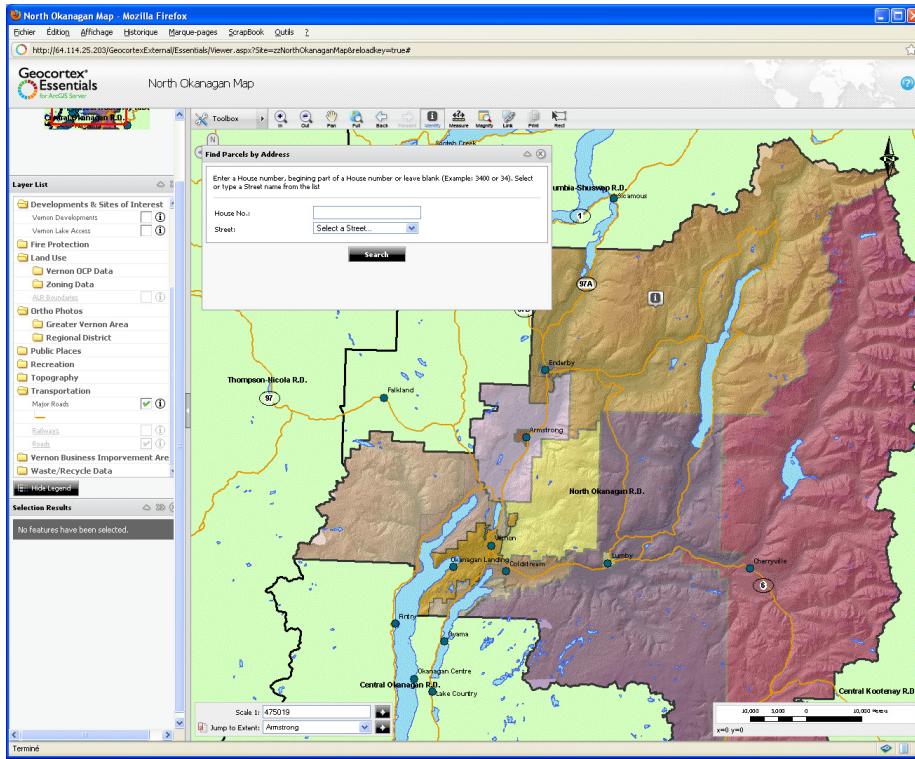


Figure 8 : exemple de site Webmapping de la ville de Vernon et du district régional du Okanagan Nord du Canada

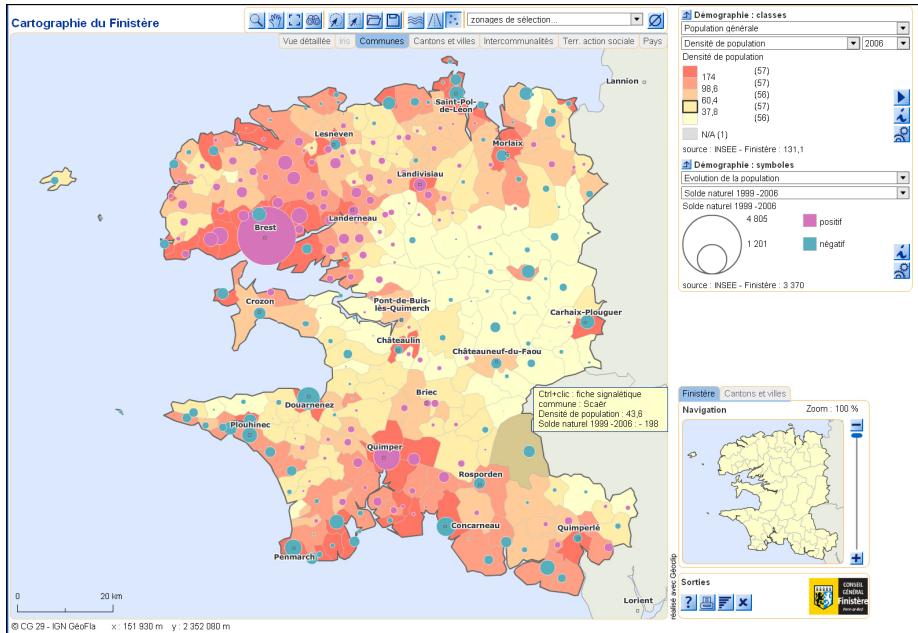


Figure 9 : exemple de site Webmapping de la région Bretagne

Autre exemple concernant la région Bretagne (cf. Fig. 9) ayant développé un Atlas cartographique en ligne avec des couches thématiques de données socio-économiques.

L'application Webmapping prévue dans le cadre du projet MOSART est décrite dans le chapitre 5 concernant la présentation de la Plateforme numérique de modélisation MOSART.

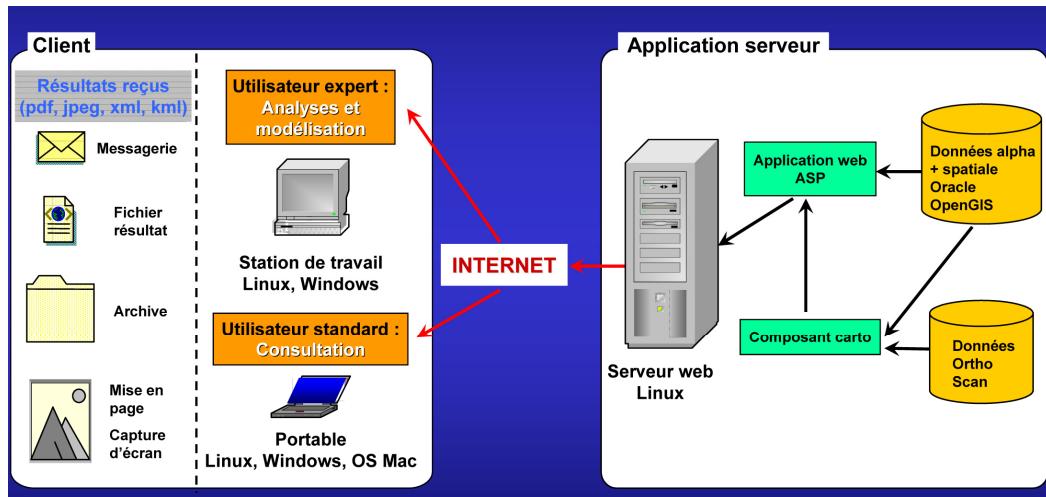


Figure 10 : Architecture Webmapping de MOSART

D'autres exemples de sites Webmapping sont présentés dans les annexes.

4. Présentation de l'aire d'étude

L'objet de cette section consiste à présenter des éléments de base permettant de cadrer notre travail tant pour visualiser le périmètre d'étude retenu que pour en comprendre les principales caractéristiques. Celles-ci concernent essentiellement la localisation de la population et des emplois dont l'importance influe sur nos résultats.

Comme le souligne Masson (2000), « délimiter le périmètre d'étude est une opération délicate. Les choix dépendent en grande partie de la vision du chercheur et ont une influence sur l'étude elle-même. Le périmètre d'étude est directement en relation avec l'objet du modèle ». Kwan et Weber (2008) soulignent que les recherches récentes sur l'accessibilité en milieu urbain distinguent deux échelles principales : l'échelle régionale qui vise à intégrer l'évolution de la structure urbaine (développement des villes polycentriques) et l'échelle locale qui est ciblée sur les quartiers. L'accessibilité locale s'inscrit dans la seconde catégorie alors

que l'accessibilité régionale raisonne à l'échelle de l'aire urbaine. Ces deux échelles se différencient par l'éventail des possibilités (de travail, de loisirs...) offertes aux individus mais elles témoignent également d'un couple transport-aménagement du territoire différent.

La plateforme numérique de modélisation MOSART est développée à l'échelle de l'aire urbaine de Lyon telle que définie en 1999 par l'INSEE. La deuxième aire urbaine de France comprend plus de 1.6 millions d'habitants (INSEE RGP 1999), avec une densité moyenne de 494 hab/km². Sa superficie est de 3 356 km² avec 296 communes réparties sur 4 départements : 169 dans le Rhône, 65 dans l'Ain, 60 dans l'Isère et 2 dans le département de La Loire. Le dynamisme démographique de cette aire urbaine est important avec un croissance de 0.8 % par an depuis 1999, il est supérieure à la moyenne nationale et aux autres grandes aires urbaines de Paris, Marseille et Lille (source INSEE). L'aire urbaine de Lyon offre plus de 715 000 emplois en 1999. Comme le montrent les figures 12 et 13, la densité d'emploi est forte dans la partie centrale de l'agglomération, tout comme la densité de population.

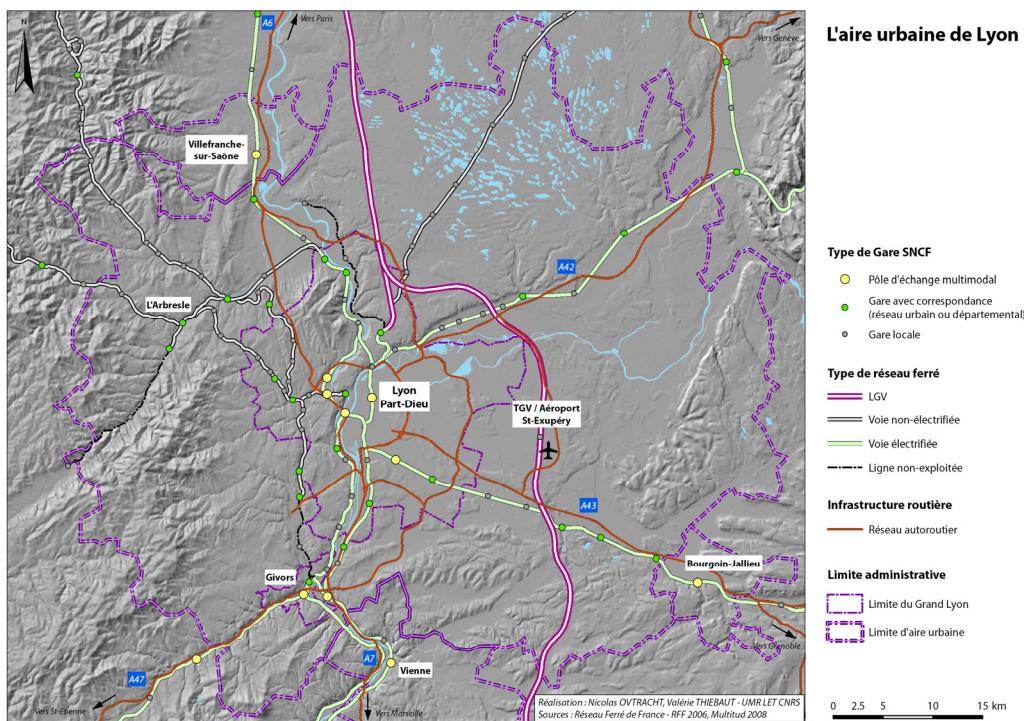


Figure 21 : Aire d'étude : Aire urbaine de Lyon (INSEE 1999)

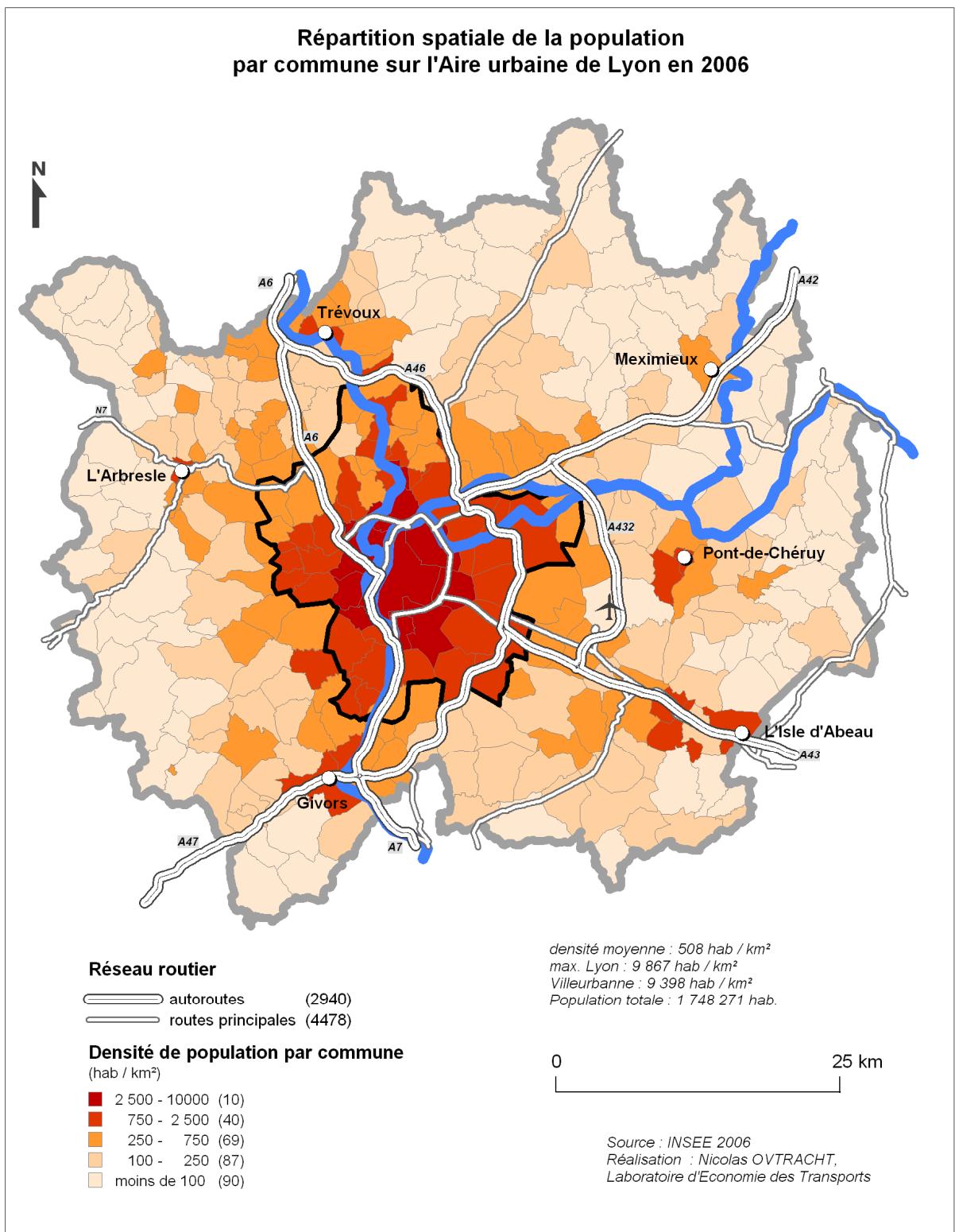


Figure 12 : Répartition spatiale de la population sur l'aire urbaine de Lyon

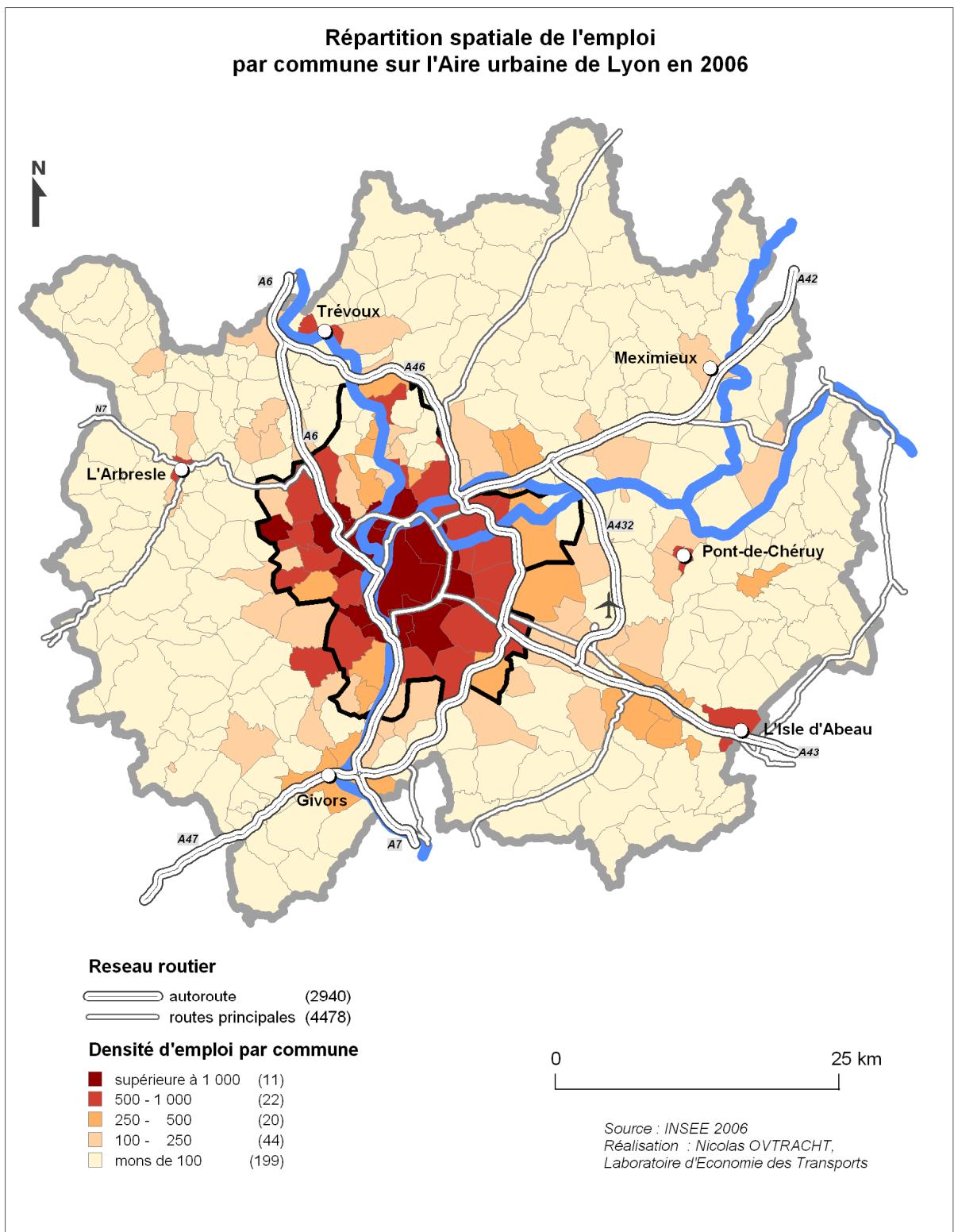


Figure 13 : Répartition spatiale de l'emploi sur l'aire urbaine de Lyon

5. Le réseau de transport en commun de l'agglomération de Lyon

L'agglomération de Lyon possède le premier réseau de transport en commun après celui de Paris. Ce réseau (confère le périmètre du PTU, figure 14) s'étend sur l'ensemble des communes du Grand Lyon et de 7 communes limitrophes, donc 64 communes au total. Le Périmètre des Transports Urbains (PTU) s'étend sur près de 613 km² et dessert de l'ordre de 1,33 million d'habitants (sources SYTRAL 2007). Il est en constante amélioration depuis une dizaine d'années par la mise en place de nouvelles lignes structurantes tels que des tramways, trolleybus et d'extensions de ligne de métro (métro A et métro B).



Figure 14 : Périmètre du PTU de Lyon en 2008 (Source Sytral)

Les Caractéristiques principales du réseau lyonnais sont les suivantes :

- 4 lignes de métro, dont une ligne automatique :MA, MB, MC, MD : 29.3 km

- 4 lignes de tramways : T1, T2, T3-Léa, T4 : 49.1 km
- 2 lignes structurantes de trolleybus : C1, C3
- 133 lignes de bus
- 2 lignes de funiculaires : 1.2 km

Chiffres clés de quelques réseaux de transport en commun français

	Fréquentation (nbre de déplacements /an/hab.)	Offre (km roulés/an /hab)	Densité (km de lignes/km ²)	Fréquence(nbre de passage à un arrêt en moyenne /jour)	Population desservie (en milliers)	Superficie PDU (km ²)	Longueur des lignes (km)
Lyon	158.6	37.7	1.76	123.48	1 239	587	1 035
Marseille	100.8	26.7	1.8	95	896	376	684
Bordeaux	84.91	36.1	1.84	65	672	552	1 021
Lille	91.81	27.7	2	67	1 107	611	1 249
Grenoble	144.5	41.8	1.41	132	380	231	327

Sources : enquête UFC Que Choisir »La qualité des réseaux dans 22 grandes villes » 2008,
CERTU, GART, UTP, INSEE

Quelques chiffres sur la fréquentation des lignes :

	MA	MB	MC*1	MD
Année d'ouverture	1978	1978	1974	1991
Type de conduite	Semi-manielle	Semi-manielle	Manuelle	Automatique
Nbre de stations	14	9	5	15
Longueur (km)	9.3	6.2	2.450	12.600
Interstation (m)	715	775	613	900
Fréq. En 2006 (en millions)	89.2	49	12.2	98.4

Sources : Wikipedia

*1 : le métro C a la particularité d'être le seul métro à crémaillère au monde.

*2 :: le métro A a été prolongé depuis 2007 vers le pôle multimodale de La Soie avec une connexion au tramway T3-Léa.

*3 : le métro B va être prolongé vers Oullins (2013)

Le réseau de transport en commun lyonnais est une référence en France. Il a été souvent primé dans des enquêtes sur les transports en commun français. Sa fréquentation est forte dans l'agglomération, elle a augmenté de 9% entre 1999 et 2006. On peut y voir l'effet de la mise en place des lignes de tramways.

Le réseau de transport en commun lyonnais va connaître une réorganisation complète du réseau de bus d'ici à la fin de 2011. Cette nouvelle carte des bus projette de mettre en place 26 nouveaux grands axes qui consisteront à allonger certaines lignes vers la périphérie. En contrepartie, il est prévu que les lignes de bus desservent moins les zones de la Presqu'île et la zone de la Part Dieu, ces dernières bénéficiant des lignes de métros et de tramways.

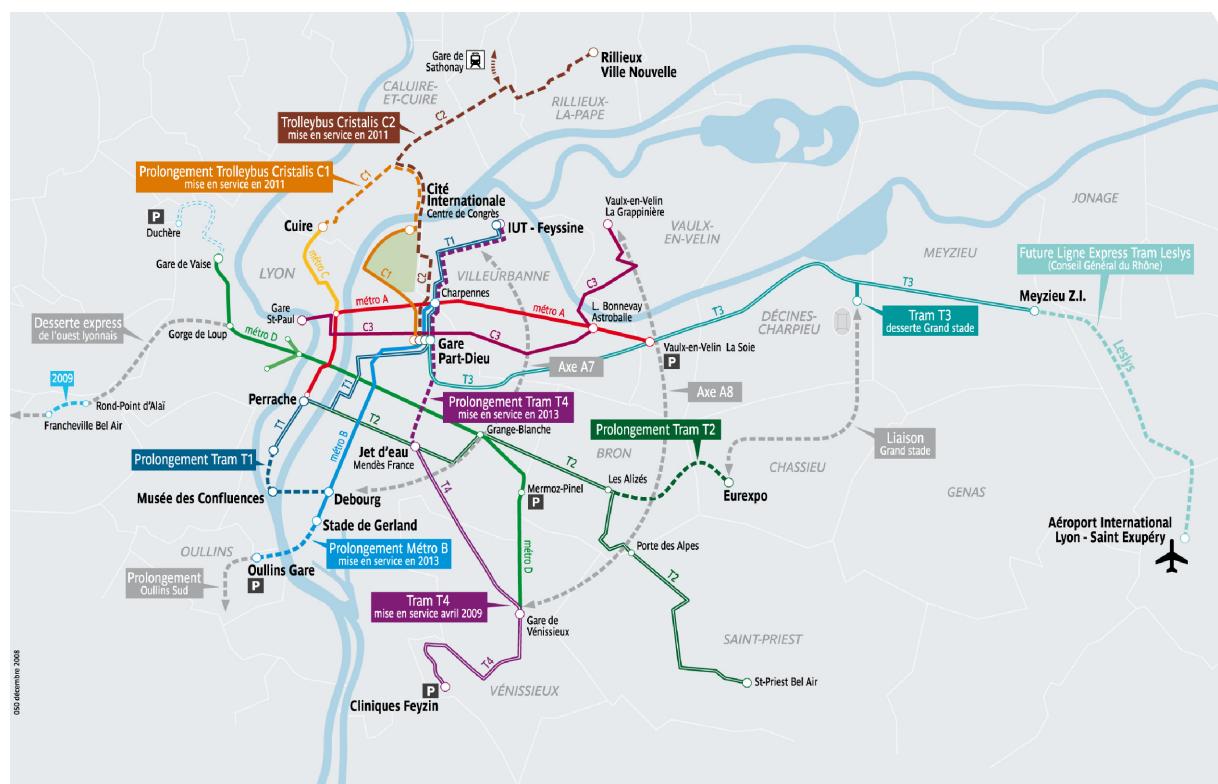


Figure 15 : Projet de nouvelles infrastructures de transport en commun pour le PTU de Lyon (source SYTRAL)

Principaux grands projets :

- Ligne forte de Gorge-de-Loup / Vaugneray (à l'Ouest)
- Prolongement du tramway T4 de Jet d'Eau vers Part Dieu

- Prolongement du tramway T2 vers Eurexpo (A l'Est)
- Extension du tramway T1 vers la station Debourg (Métro B)

6. Les bases de données utilisées dans MOSART

Structuration des bases de données spatiales :

Les bases de données utilisées dans le cadre de ce projet, sont *a priori* les plus performantes que l'on peut trouver sur le marché actuellement. De plus nous essayons d'utiliser des bases de données standards pour pouvoir reproduire aisément le modèle sur une autre zone d'étude. La figure 7 donne un aperçu des bases de données utilisées dans ce projet et des résultats attendus. Cette figure correspondait à la première version de l'application de MOSART, c'est-à-dire construite autour d'un SIG-T.

Bases de données réseaux VP : la base de données véhicules personnels (VP) a été construite à l'aide de données NAVTEQ. Il existe globalement deux bases de données routières dans le monde : TéléAtlas et NAVTEQ. Ces deux bases de données sont très proches en termes de contenus (géométrique et attributaire), mais nous avons choisi la base de données NAVTEQ, car elle est plus facile à intégrer dans le logiciel Visum (modèle de transport). Néanmoins, le même travail aurait pu être réalisé en utilisant la base de données TéléAtlas..

La base de données routières NAVTEQ est composée de plusieurs couches thématiques dont les principales sont les suivantes : axes principaux (Major Highways), axes secondaires (secondary highways), réseau routier (streets), réseau ferré (railroads), conditions de manœuvre sur le réseau routier, niveau routier (Z-levels), limites administratives (administrative area boundaries 1.2.3.4.5), occupation du sol (land use features A,B).

Nous avons utilisé la couche « Streets » qui est la couche thématique pour les réseaux routiers comprenant l'ensemble du réseau routier associé à de très nombreuses variables (limite de vitesse, typologie de route, sens des routes, route permise pour les camions, route permise pour les voitures, ...). Les données ont nécessité une préparation pour les mettre en forme avant leur intégration dans le modèle de transport sous Visum (cf. Fig. 16). Pour cela, nous avons développé un script SQL sous MYSQL qui nous permet de mettre en place une

typologie des données réseaux VP. Cette étape permet de sortir une typologie du réseau VP en fonction du nombre de voies, de la vitesse, du type de voie et des zones, urbaines ou non. Ces données sont ensuite intégrées dans le modèle de transport VISUM. Cette méthode permet de faire des mises à jour de la base de données routières de manière aisée et de reproduire cette typologie sur une autre zone d'étude. Nous avons aussi intégré les conditions de tourner à droite et à gauche et les sens de chacun des tronçons composant la base. La base de données réseau VP gérée dans le modèle de transport correspond à plus de 220 000 tronçons.

The screenshot shows the VISUM software interface with a list of network segments (Tronçons). The columns include: Numéro, NuméroD, NuméroD, NumType, EnslvTr, Long, Névois, CapacIT, v0T, ChgvHThA, ChgvVThA, ChgvCThA, ChgvPThA. The data table contains approximately 220,000 rows, each representing a segment with its unique identifier, names, types, lengths, and capacities. The interface includes a toolbar at the top and a navigation tree on the left.

Figure 16 : Typologie des données réseaux VP et TC dans Visum

Base de données Transport en commun :

La base de données des transports en commun (TC), a été construite manuellement, directement à l'aide du logiciel VISUM et de la base de données routières préalablement intégrée. Nous avons utilisé les tronçons routiers de la base de données NAVTEQ préalablement intégrés, pour reconstruire les itinéraires de chaque ligne de bus. Pour les lignes de métros et de tramways, nous avons tracé manuellement leur itinéraire. Ensuite nous avons défini chaque station pour tous les modes TC. Chaque station est ainsi positionnée de manière précise sur le réseau et correspond aux zones d'arrêt dans Visum. Ensuite, ont été définies les zones de correspondances (les arrêts dans Visum) permettant de passer notamment d'un métro à un tramway ou à un bus ou à une gare TER (Train Express Régionaux).

Le réseau des transports en commun est composé de différents types de ligne : bus, tramway, métro, funiculaire et TER. L'ensemble correspond à un réseau de plus de 100 lignes de TC. Les tables horaires de réseau TC ont été décomposées en 4 plages horaires

correspondant à des heures de pointes et des heures creuses d'une journée type (journée type scolaire de semaine).

La construction de la base de données TC a été très longue car nous devons aussi intégrer les horaires pour chaque ligne de TC et les correspondances pour l'ensemble du réseau. Les correspondances permettent de se déplacer sur le réseau de bus ou de tramways de l'agglomération de Lyon mais aussi avec les TER.

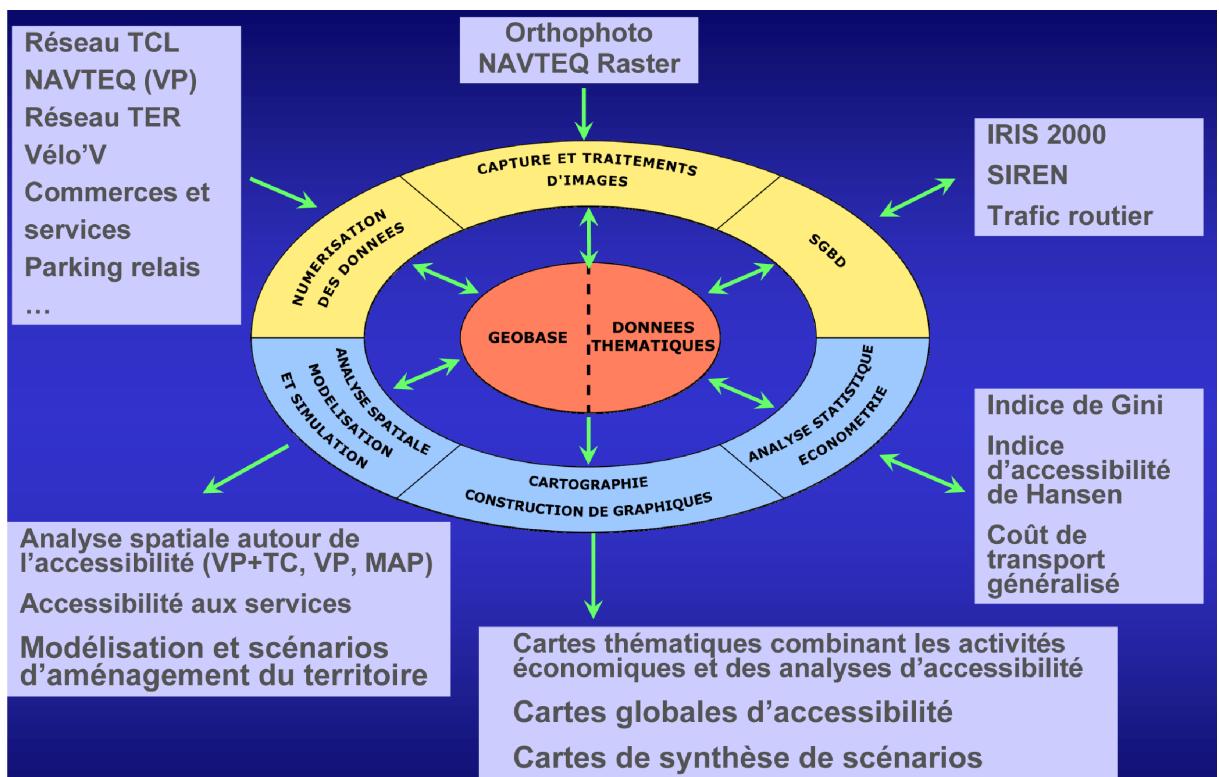


Figure 17 : Architecture du SIG-T pour MOSART version1

Réseau ferroviaire : le réseau ferroviaire utilisé provient de la base de données NAVTEQ. Les 3 gares urbaines que sont Part-Dieu, Perrache et Saint-Paul sont connectées aux réseaux des transports en commun lyonnais.

Stations vélo'v : nous avons intégré la base de données des 340 stations Vélo'V (2009) réparties principalement sur les arrondissements de Lyon et sur la commune de Villeurbanne. La commune de Caluire-et-Cuire possède 2 stations et Vaulx-en-Velin une seule. Ces stations ont été positionnées de manière très précise.

Données foncières : pour les analyses sur le foncier, dans la perspective d'un modèle d'interaction entre transport et localisation, nous avons intégré des données foncières issues de la société PERVAL. Ces données ont une localisation X, Y correspondant aux centroïdes de chaque parcelle. Leur localisation est donc très précise. Associées à ces enregistrements, nous avons des données sur l'acheteur, le prix de la transaction, la surface, la date de la transaction, des informations sur la qualité et le type de bien (appartements, maisons, garage, etc ...). La grande précision de localisation de ces données permettra notamment de faire des analyses foncières fondées sur des modèles hédoniques

Les services et les commerces : nous utilisons la base de données prêtée par la CCI de Lyon sur les commerces et services. Cette couche thématique va être enrichie et complétée dans les prochains mois.

Données socio-économiques et occupation des sols :

La base de données socio-économiques intègre des données disponibles à des échelles administratives différentes. Nous intégrons le maximum de données socio-économiques provenant de sources différentes (INSEE, Experian, EMD Lyon, enquête logement, enquête cordons). Les données sont à des découpages administratifs différents tels que la commune, l'IRIS ou bien l'ilot. Nous travaillons actuellement à l'échelle de l'IRIS.

Nous avons intégré des couches sur les limites administratives telles que les communes (296 communes), les zones IRIS (découpage INSEE) qui sont une décomposition des communes urbaines ou plus petites unités spatiales permettant une meilleure analyse des zones urbaines (743 zones). Il est à noter qu'une zone Iris en périphérie ou en zone rurale correspond aux limites administratives de la commune. Nous avons aussi intégré les données à l'ilot, dont le découpage spatial est encore plus fin que l'Iris. Néanmoins à cette échelle nous n'avons pas nécessairement autant de données socio-économiques, donc pour le moment nous n'envisageons pas des analyses avec ce découpage spatial du territoire.

La construction des matrices distances et temps suivant les différents réseaux (VP, TC, vélo'V) est réalisée en fonction des centroïdes de ces entités spatiales qui sont reliés aux réseaux par un connecteur. Le connecteur est un tronçon reliant les centroïdes des zones au nœud le plus proche du réseau en fonction du mode utilisé. Il existe des connecteurs dédiés au

mode TC et d'autres au mode VP. Sur ce connecteur est appliquée une vitesse (4 km/h pour les piétons voulant rejoindre une station TC et 25 km/h pour le mode VP.

Pour l'occupation des sols, nous utilisons actuellement plusieurs bases telles que la couche land-use de la base de données NAVTEQ, la BD Carto de l'IGN et Corine Land Cover.

La couche d'information land-use de NAVTEQ permet de répertorier de manières fines les zones urbaines, les zones industrielles, les jardins, les golfs, les zones aéroportuaires et les forêts. La BD carto de l'IGN possède une nomenclature d'occupation des sols en une quinzaine de type (zone bâtie, zone industrielle, forêt, ...).

Pour ce qui est de la base de données Corine Land Cover 2000, sa typologie comprend 44 types de sols en fonction de 5 grand type de territoires : territoires artificialisés, territoires agricoles, forêts et milieux semi-naturels, zones humides et surfaces en eau. L'échelle de travail pour cette base est le 1 / 100 000.

Le modèle land use s'appuie totalement sur cette couche thématique et nécessite beaucoup d'informations très précises sur le mode d'occupation des sols. Pour cela, nous essayons d'améliorer notre couche thématique « occupation des sols » par l'enrichissement de ces bases par des informations issues des organismes locaux travaillant sur l'aménagement du territoire (Agence d'Urbanisme de Lyon).

La base de données Enquêtes cordon a été intégrée au modèle de transport. Elle sert pour caler le modèle à 4 étapes.

L'ensemble des bases de données décrites ci-dessus est stocké sur un serveur de bases de données spatiales. Nous nous sommes posé la question du choix du système de gestions de bases de données spatiales. En effet des solutions existent autour de MySQL, PostgreSQL et sa cartouche PostGis, Oracle et ses cartouches (options) spatiales Locator et Spatial. Une étude réalisée par LinAgora pour le CNES (Centre National d'Etudes Spatiales) en 2007 compare ces 3 solutions et permet donc de connaître leurs différentes possibilités et fonctionnalités.

Suivant cette étude, il ressortait que la solution MySQL Spatial était un projet jeune et en cours de développement. La solution Oracle Locator et Oracle Spatial est une solution offrant de nombreuses fonction spatiales SIG, mais c'est une offre relativement couteuse. La solution PostGis offre aussi de nombreuses fonctionnalités spatiales, et elle utilise la norme OGC. La norme OGC, Open Geospatial Consortium, (<http://www.opengeospatial.org/>) est une

norme qui travaille dans le domaine de l'interopérabilité des systèmes et sur les problèmes de partage des données spatiales, pour le développement de l'information géographique pour des utilisateurs publics ou privés.

Il s'avère aussi que la communauté OpenSource de PostGis est active, ce qui autorise de nombreux développements pour améliorer cette solution.

Au final, si l'on fait un état de l'art sur les projets SIG mis en place aujourd'hui, on s'aperçoit que de nombreux projets SIG de webmapping s'appuient sur une base de données spatiales sous PostGis. C'est donc le choix qui a été adopté dans le cadre du projet MOSART.

Les résultats issus des modèles de transports et du land use seront réintégrés dans la base de données du serveur cartographique sous PostGis. Ainsi nous pouvons, à l'aide des fonctions d'analyse spatiale et de croisements de couches, faire d'autres analyses pour enrichir les différents scénarios mis en place.

L'ensemble de ces bases nécessite des traitements pour vérifier et améliorer leur qualité géométrique et sémantique. Ce travail sur la préparation des bases de données se fait à l'aide des logiciels SIG tel que SIS (Cadcrop – Geomod) et Map-Info. Ce travail de vérification de la qualité des données est fastidieux, mais il est obligatoire et très important pour que les analyses issues des modélisations et des simulations soient les plus pertinentes possibles.

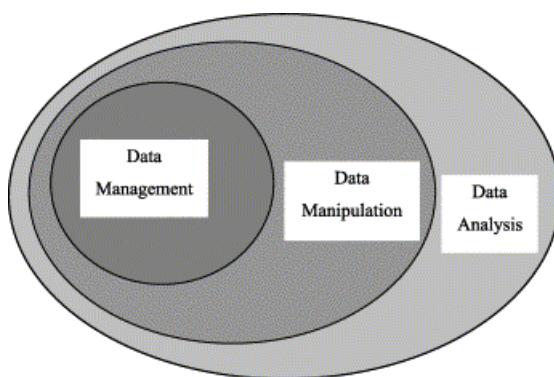


Figure 18. Modèle hiérarchique de groupes fonctionnels dans les S.I., de gestion de données, manipulation de données, et d'analyse de données (Thill 2000)

Le contrôle qualité des bases de données géographiques

La qualité de l'information géographique est un problème très important dans le cadre de la mise en place d'un SIG avec des données hétérogènes multisources.

D'après Devillers et Jeansoulin, beaucoup de personnes associent uniquement le terme de qualité à la précision spatiale des données collectées ou manipulées. Mais en réalité, le concept de qualité couvre en fait un spectre beaucoup plus large et touche l'ensemble du processus d'acquisition, gestion, diffusion et utilisation de l'information géographique. (cf. Fig. 19).

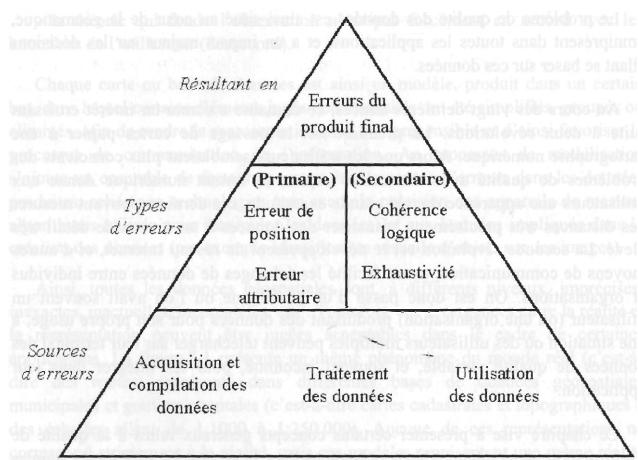


Figure 19 : Classification des erreurs dans les SIG (d'après Hunter G.J. 1992)

Toutes les bases de données peuvent comporter des erreurs ou des lacunes, et il est bon de les vérifier pour connaître les qualités et les défauts de ces bases. Dans la mesure du possible, nous avons corrigé les erreurs que nous avons pu constater.

Les différents exemples qui suivent montrent la superposition de l'orthophoto du Grand Lyon avec la couche « Streets » de NAVTEQ. L'orthophoto utilisée date des années 2003, et possède une résolution de 50 cm. Elle a été redressée géométriquement en X, Y et Z c'est-à-dire en tenant compte du relief.

On peut considérer l'orthophoto comme étant la couche la plus précise géométriquement du SIG mis en place.

Dans les figures suivantes (cf. Fig. 20 à Fig. 26) sont montrés des exemples de défaut ou de qualité des bases de données utilisées dans le projet.



Figure 20 : Zone de Nord-Ouest de Laurent Bonnevay base de données Navteq en superposition avec l'orthophoto de Lyon. Cela permet de s'apercevoir que la qualité géométrique de certaines bretelles autour du Boulevard

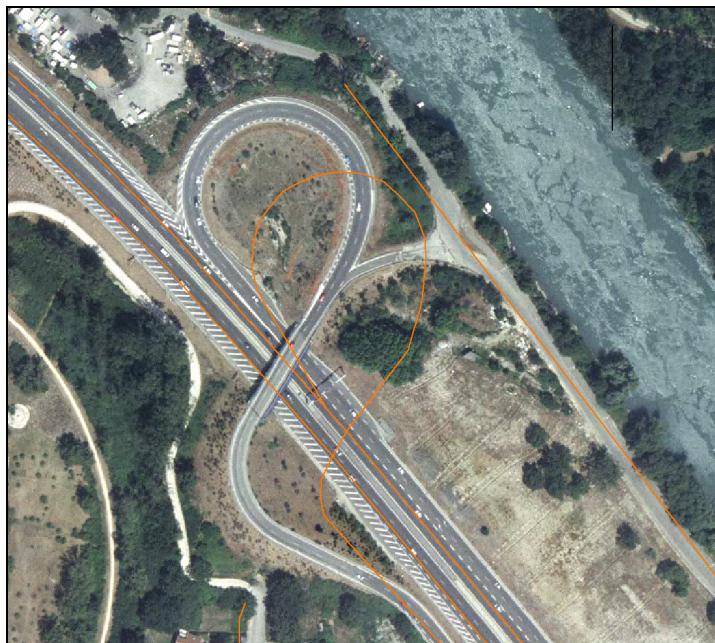


Figure 21 : Zone de Nord-Ouest de Laurent Bonnevay base de données Navteq en superposition avec l'orthophoto de Lyon. Cela permet de s'apercevoir que la qualité géométrique de certaines bretelles autour du Boulevard



Figure 22 : Zone du centre Berthelot et de l'Hôpital Saint-Joseph. Très bonne qualité de la base de données Navteq. Bonne superposition des bases

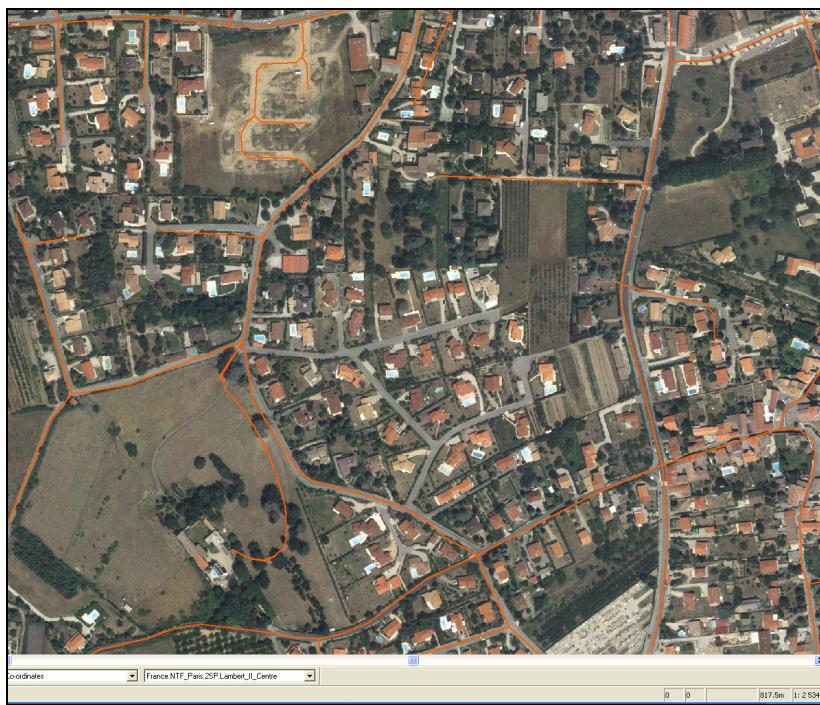
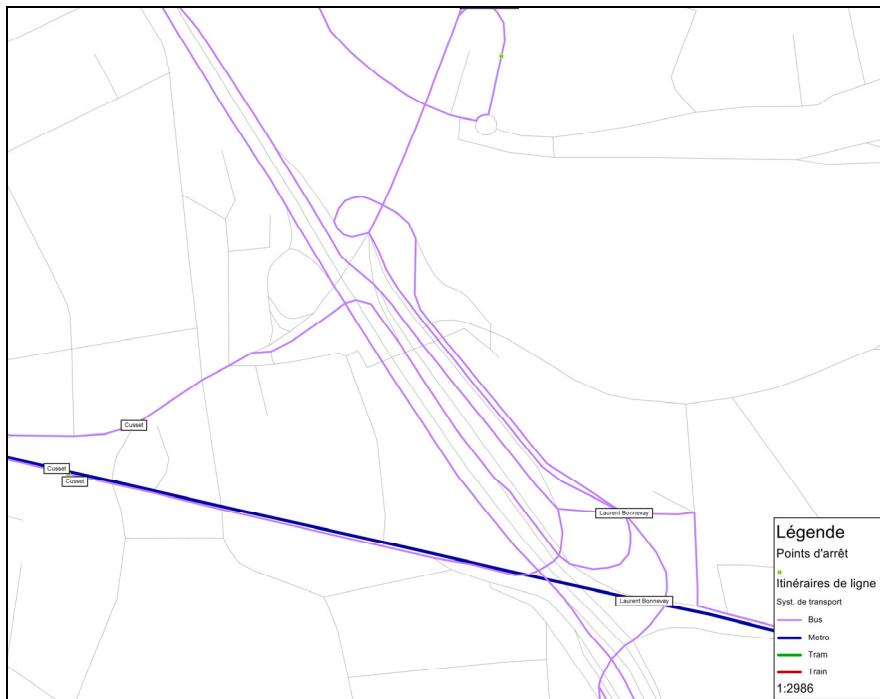


Figure 23 : zone périphérique du centre de Lyon (appartenant au Grand Lyon). On voit très bien que dans cette zone pavillonnaire, le réseau routier est incomplet dans la base Navteq.



Figure 24 : zone de confluence de Lyon le réseau est très bien modélisé et prend bien en compte les différents croisements et les différents niveaux des routes. Par contre de l'autre côté du Pont Pasteur, la place Antonin Perrin a été modélisée de manière assez grossière.



Figures 25 et 26 : le cas de la gare multimodale de Laurent Bonnevay

Le pôle multimodal de Laurent Bonnevay n'existe pas dans la base de données NAVTEQ. Pour cela, nous avons créé de nouveaux tronçons géométriques pour compléter la base de données réseaux routier et transport public.

Test des bases de données VP et TC intégrées dans VISUM

Après les opérations d'intégration des bases de données TC et VP dans l'application VISUM, nous avons maintenant la possibilité d'effectuer des calculs d'accessibilité ou « du plus court chemin » entre les différentes zones. Mais pour cela, il faut réaliser une dernière opération, nous avons procédé à l'étape de la mise en place des connecteurs, c'est-à-dire des connexions entre les zones (IRIS, communes) et les réseaux de transport VP et TC.

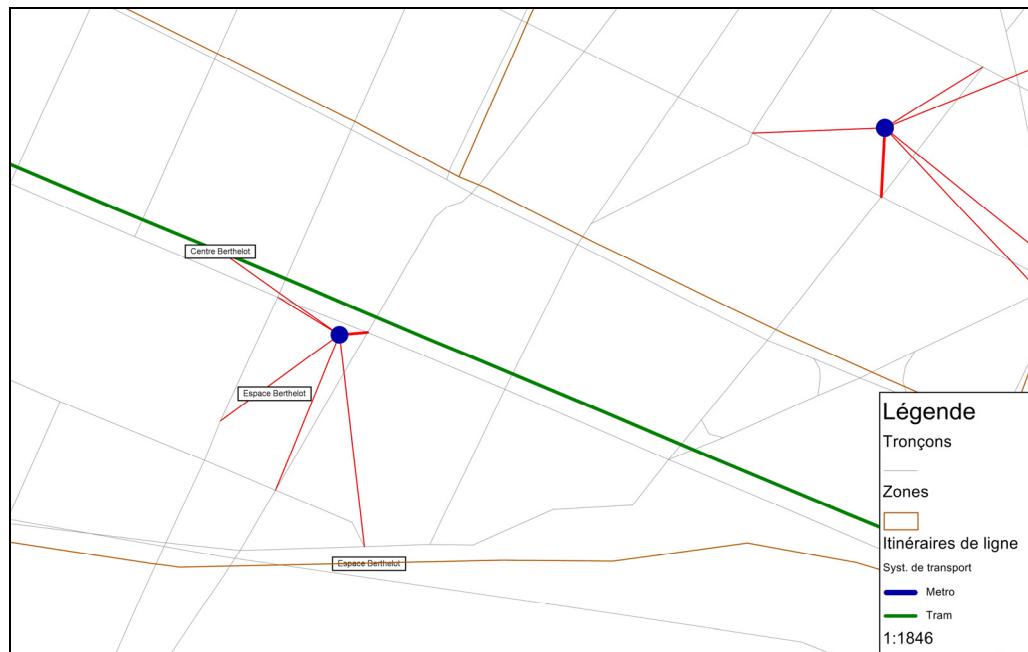
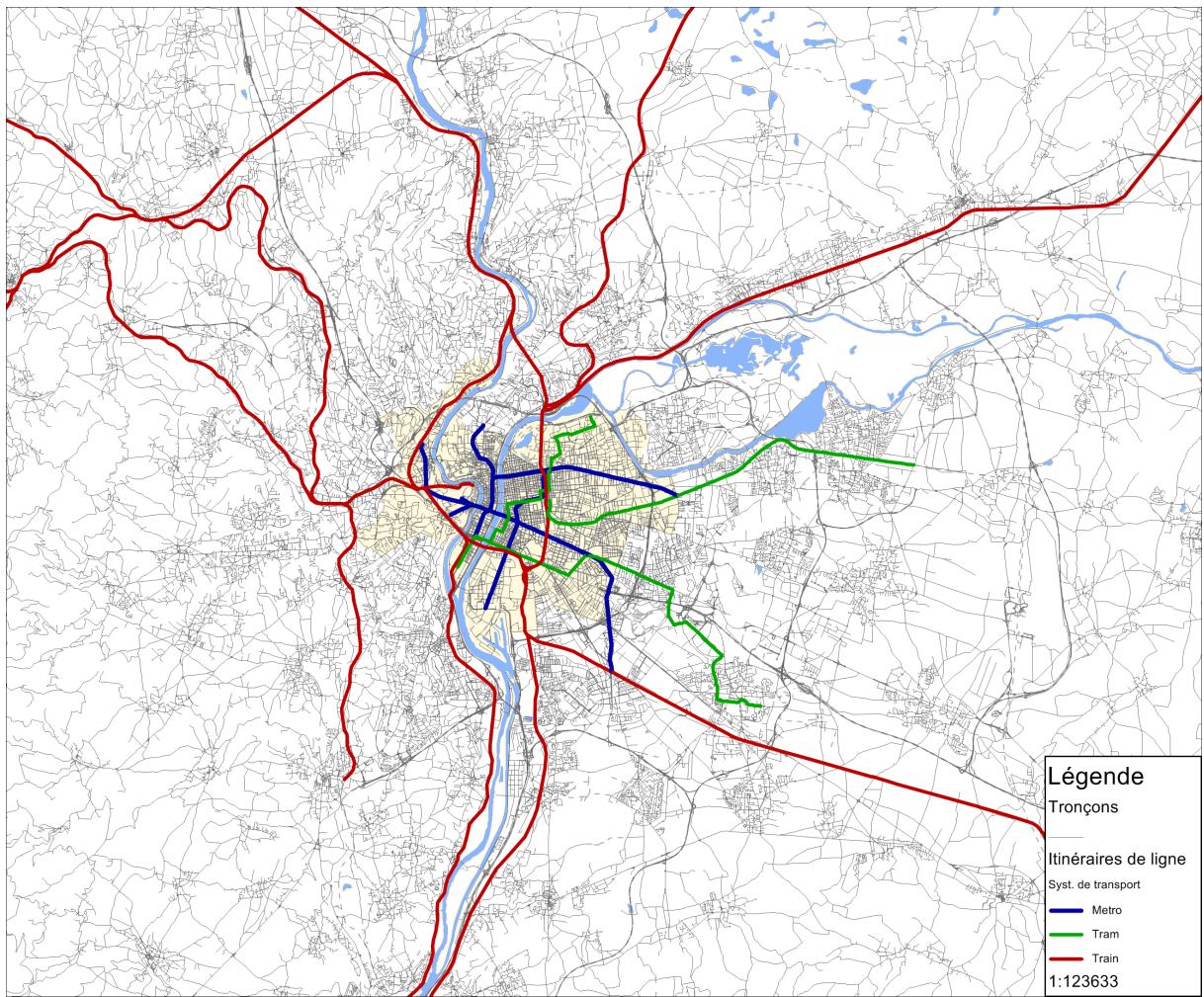


Figure 27 : connecteur TC et VP au niveau de la zone Centre Berthelot

Ces connecteurs sont très importants pour le modèle de transport. Par défaut, dans le logiciel Visum, nous avons la possibilité de jouer sur le nombre de connecteurs par zone suivant le mode (VP ou TC) et la distance euclidienne maximale de recherche de nœud pour se raccrocher aux nœuds du réseau. Dans la figure 27, on voit bien les 5 connecteurs (en rouge) partant du centroïde (cercle bleu) de la zone et se connectant au réseau TC et VP.



**Figure 28 : Réseaux VP et TC intégrés dans le modèle de transport du logiciel
Visum**

La figure 18 représente l'ensemble du réseau VP et les lignes de métros et tramways avec les lignes de TER intégrés dans l'application VISUM. Maintenant, nous pouvons lancer des calculs d'accessibilité isochrone ou « du plus court chemin » entre 2 zones.

Dans un second temps, nous vérifions la bonne prise en compte des zones de correspondance par des calculs du plus court chemin entre 2 zones (zone Iris dans ce cas) ou par des calculs d'isochrone avec un crédit temps et un point de départ donné (confère figure 19 et 20). Les calculs sont vérifiées ensuite avec les temps donnés pour un trajet sur le site internet de TCL (www.tcl.fr).

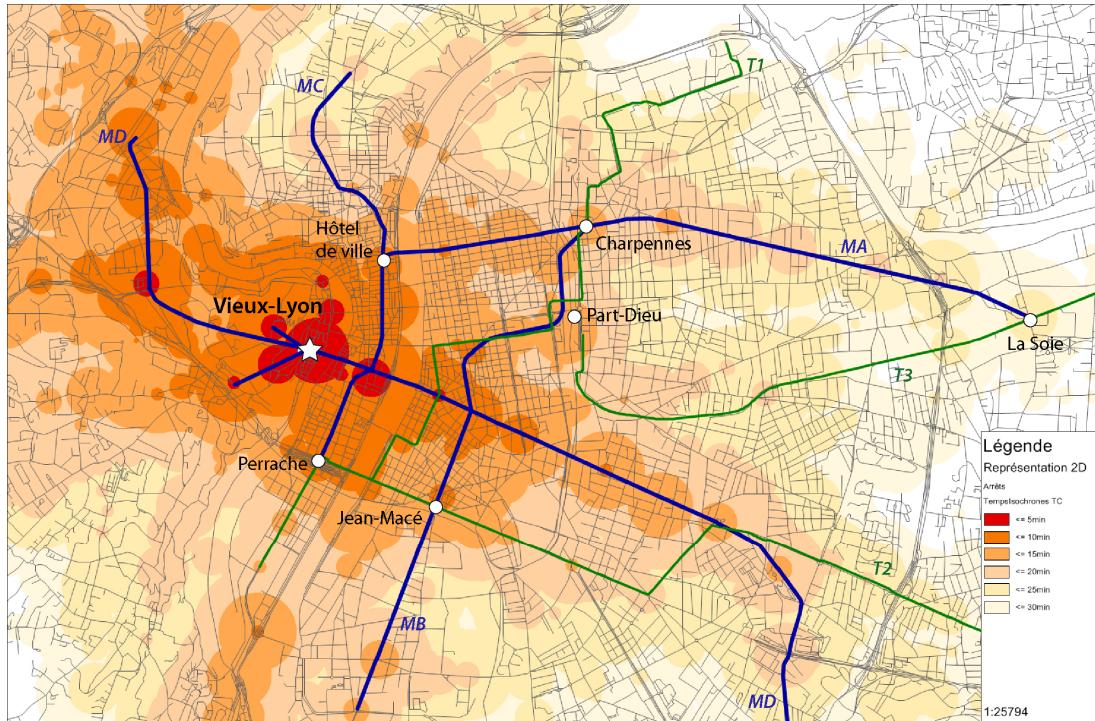


Figure 29 : Calcul d'une fonction isochrone à partir du Vieux Lyon en mode TC avec un crédit temps de 30 minutes en heure de pointe

Les figures 29 et 30 correspondent à des tests sur le réseau TC pour vérifier la bonne cohérence du modèle de transport. Les mêmes tests ont été mis en place pour le réseau VP.

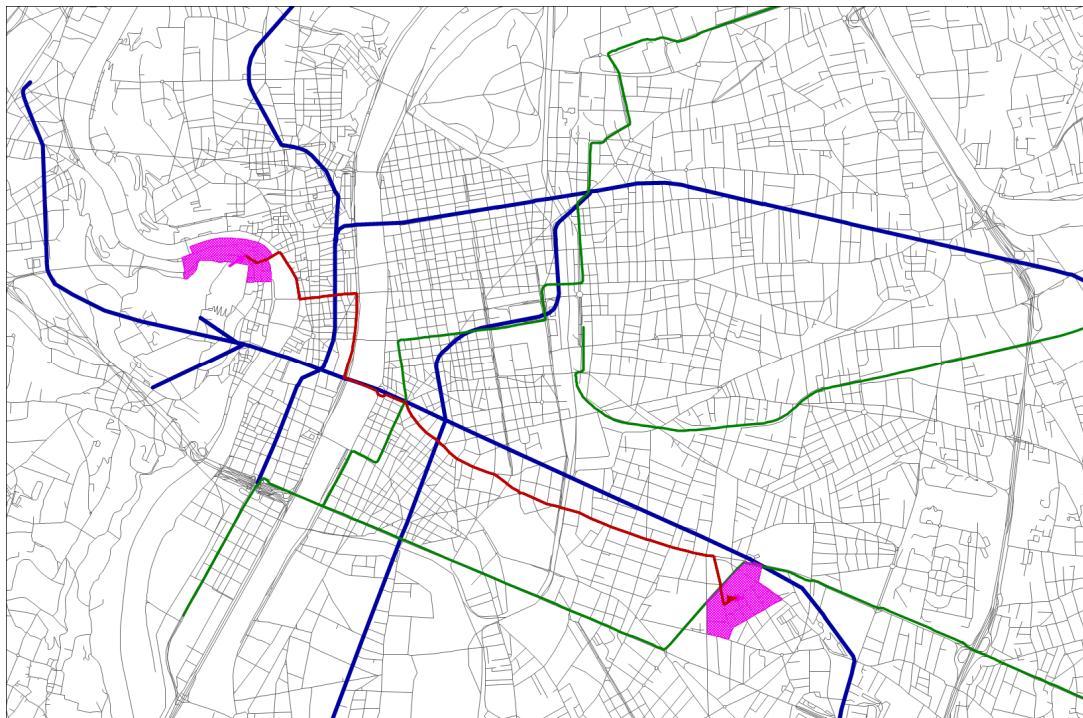


Figure 30 : Calcul du plus court chemin entre 2 zones en mode VP en heures creuse

Mise en place d'une application externe informatique pour la mise en place de connecteurs performants pour les modes VP, TC, TCSP et TER

Les connexions entre les zones spatiales étudiées et les différents réseaux se fait par l'intermédiaire de connecteur. Par défaut, le logiciel Visum se connecte sur le réseau en fonction de la distance euclidienne minimale entre le centroïde de la zone et le réseau VP ou TC. Sur ces connecteurs on applique une vitesse correspondant aux modes utilisés. Ainsi pour les voitures particulières les connecteurs sont affectés d'une vitesse de 25 km/h, alors que pour les transports en commun, elle est de 3.5 km/h : cette dernière vitesse correspond à de la marche à pied jusqu'à l'arrêt de bus, métro ou tramway.

Dans le cadre du projet MOSART, nous avons développé une application externe permettant d'améliorer et d'optimiser ces connexions au réseau pour améliorer les différents calculs d'accessibilité.

Cette application permet de mettre en place des connecteurs optimisés suivant le mode utilisé. Par exemple, les connecteurs mis en place pour les TC optimisent des connexions aux lignes fortes, métros, tramways et bus à grande fréquence. Nous avons aussi développé une autre application pour la mise à jour des bases de données attributaires et spatiales des transports en commun.

Un réseau de transport en commun modifie chaque année des itinéraires de ligne de bus ainsi que les tables horaires de ces lignes pour optimiser son réseau. Ces changements peuvent être plus important lors de la mise en place de nouvelles lignes fortes de type TCSP. Ainsi, la ville de Lyon met en place depuis 2000 de nombreuses lignes fortes telle que les lignes de tramways T1, T2, T3 et T4, extensions des lignes de métros. Pour cela nous avons mis en place une application externe qui facilite la mise à jour des bases de données TC.

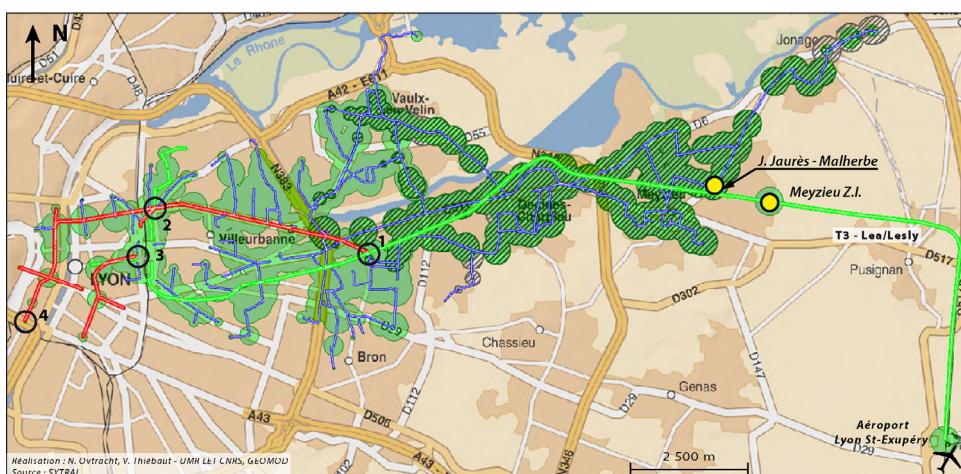
Cette application permet une mise à jour semi-automatique des réseaux TC.

A titre d'illustration première simulation s'intéresse à une nouvelle ligne de Tramway, baptisée LEA-LESLY, qui dessert l'Est lyonnais depuis la gare de la Part Dieu. Pour l'heure, seule la partie LEA est en circulation. La partie LESLY, qui desservira l'aéroport de Lyon Saint-Exupéry, sera mise en fonctionnement en 2010. Au moment de l'ouverture du tronçon LEA, en 2006, nous nous sommes donc intéressés aux gains d'accessibilité qui allaient en résulter pour une personne résidant à Meyzieu ou dans ses environs. Pour ce faire, nous avons imaginé un voyageur qui se donne, le matin en heure de pointe, un budget temps de 40 minutes pour rejoindre son lieu de travail.

Avant la mise en service du tramway, ne disposant que du réseau de bus, le voyageur ne pouvait accéder, en 40 minutes, qu'à la zone verte hachurée. Il pouvait donc rejoindre, depuis Meyzieu, soit la zone de Vaulx-en-Velin, soit la périphérie de Villeurbanne. Le tramway n'est pas un mode très rapide (18 à 20 km/h de vitesse commerciale), mais il n'est pas, comme les bus, gêné par la congestion routière qui sévit en heure de pointe. Il est donc possible, de rejoindre assez rapidement avec ce mode la ligne A du métro, en rouge sur la carte n°1. Grâce à cette connexion avec un TCSP rapide, la zone accessible en 40 minutes est beaucoup plus vaste, elle est représentée ci-dessus en vert clair. Nous constatons qu'il est désormais possible, en 40 minutes, de rejoindre la zone centrale de l'agglomération, notamment les quartiers riches en emplois de la Part Dieu et de la Presqu'île.

Il se trouve que dans cette zone centrale de l'agglomération, a été mis en place en 2006 un système de vélos en libre service appelé Vélo'V. Après avoir payé un abonnement annuel de montant très modeste (5 euros), il est possible de récupérer aux stations Vélo'V une bicyclette qu'il faudra ensuite restituer dans l'une ou l'autre des 340 stations réparties dans l'agglomération. La première demi-heure d'utilisation est gratuite. Au delà de 30 minutes, il faut payer 1 euro par heure d'utilisation.

Accessibilité TC en 40 min à partir de la zone industrielle de Meyzieu : départ des stations J. Jaurès-Malherbe (bus) et Meyzieu Z.I. (tramway)



Accessibilité TC :	Principales stations TC atteintes :
Métro	1 - La Soie : MA - T3 Lea/Lesly
Tramway	2 - Charpennes : MA - MB - T1
Bus	3 - Part-Dieu : MB - T1 - T3 Lea/Lesly
	4 - Perrache : MA

Marche à pied 300 m autour des stations TC atteintes depuis la station J. Jaurès-Malherbe

Marche à pied 300 m autour des stations TC atteintes depuis la station Meyzieu Z.I.

Figure 31 : Les zones accessibles depuis Meyzieu en 40 minutes

**Accessibilité TC en 40 min à partir de la zone industrielle de Meyzieu :
zoom au niveau du centre de Lyon**

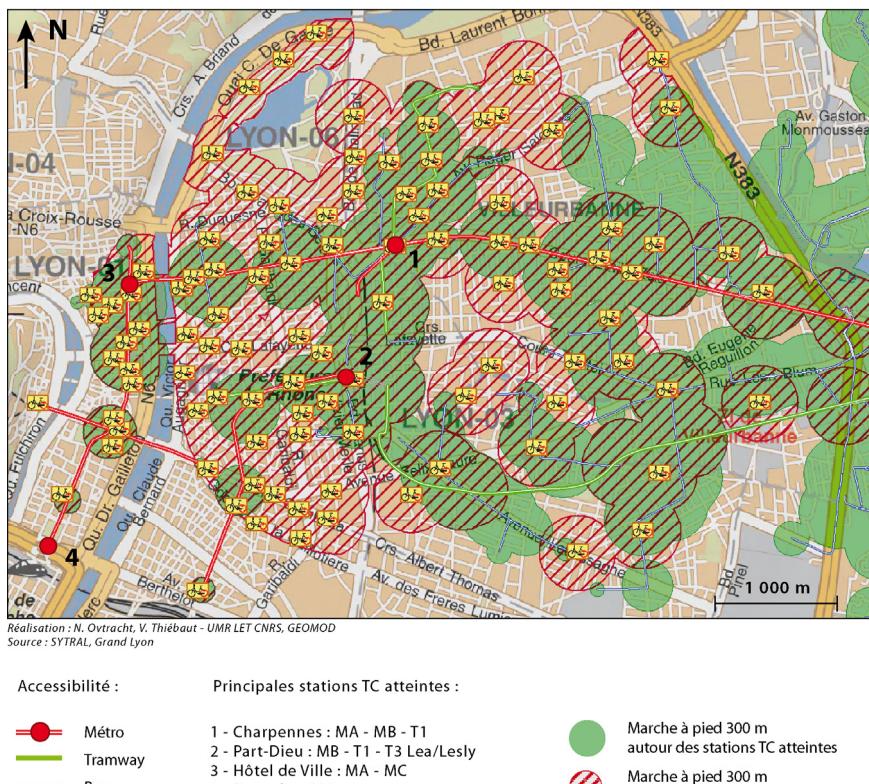


Figure 32 : Centre ville : les zones accessibles en 40 minutes (TC + Vélo'V) depuis Meyzieu

Nous avons donc ajouté dans le SIG une couche indiquant la localisation des stations Vélo'V, ainsi que des éléments sur la vitesse moyenne de déplacement à bicyclette, sans oublier le temps nécessaire au retrait et à la dépose du Vélo'v. Le résultat de cette opération est présenté sur la carte n°2. Nous y voyons, figurées par un vélo, l'emplacement des stations, mais aussi, représentées par des hachures rouges, la zone accessible par notre voyageur qui souhaiterait, après son trajet en TC, recourir à un vélo en libre service pour étendre sa zone accessible, tout en restant dans l'enveloppe d'un budget temps de 40 minutes.

Le résultat est spectaculaire. Bien qu'il s'agisse d'un mode lent (moyenne de 12km/h) ; le vélo accroît sensiblement la zone accessible en autorisant notamment l'accès à des zones relativement éloignées des stations de métro. Des zones non accessibles par la marche à pied dans la mesure où, pour des raisons de confort, nous avons, par construction, limiter à 300 mètres la distance effectuée à pied. La carte n°2 tient compte de l'emplacement des stations Vélo'V pour l'emprunt mais aussi pour la restitution du vélo en libre service. De ce fait, certaines zones sans station sont en dehors de la zone accessible. D'une certaine façon,

notre SIG indique, en creux, les zones où il serait nécessaire d'implanter de nouvelles stations. Ce qui a d'ailleurs été fait récemment dans la zone du Cours Lafayette.

Mais l'intérêt de la plateforme de modélisation MOSART va au-delà d'une présentation de l'accessibilité spatiale. Conformément aux logiques de l'accessibilité gravitaire, il permet également de s'intéresser à l'accès aux diverses « masses attractives » d'une zone, notamment le nombre d'habitants, les commerces et les emplois. Le graphique n°1 présente donc la différence d'accessibilité à la population, aux emplois et aux commerces dans chacun de nos trois scénarios : 40 minutes avec les seuls bus, 40 minutes avec le couple Tramway+métro, et 40 minutes avec la succession tramway+métro+Vélo'V. Le résultat est encore plus significatif qu'avec la seule accessibilité spatiale.

En passant du bus au couple tramway-métro, la surface accessible double, mais le nombre d'emplois est multiplié par 8 et même par 11 en ajoutant l'usage des vélos en libre service. Les coefficients multiplicateurs sont un peu plus faibles pour l'accessibilité à la population et aux commerces, mais ils demeurent significatifs. Le lecteur ne sera donc pas surpris d'apprendre que la nouvelle ligne LEA est un succès commercial. Les usagers sont de plus en plus nombreux à utiliser cette ligne, tout comme ils sont de plus en plus nombreux à recourir aux Vélo'V, d'autant que le nombre de stations s'accroît régulièrement.

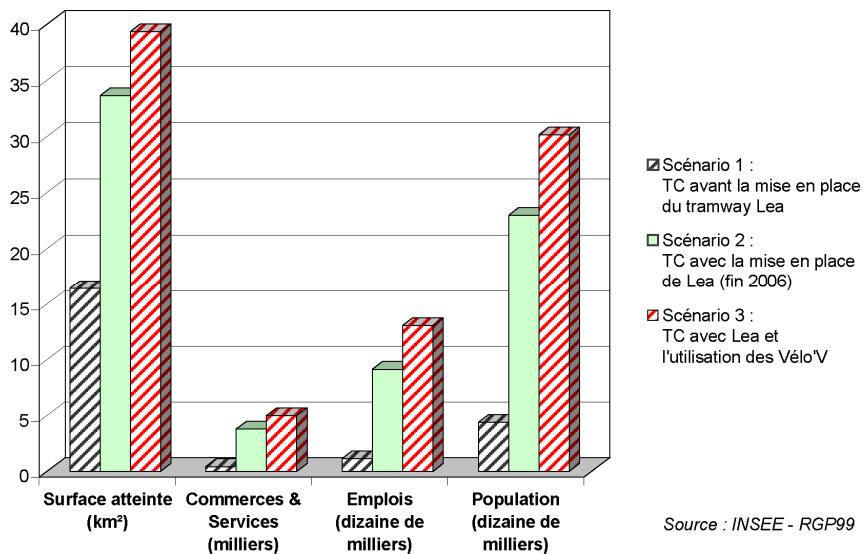


Figure 33 : Les aménités urbaines accessibles depuis Meyzieu en 40 minutes

De tels résultats sont bien sûr liés au fait que la partie centrale de l'agglomération offre une assez grande densité d'habitants, commerces et emplois. Si des modes de transport relativement lents comme le tramway et la bicyclette ont un tel succès, c'est justement parce qu'ils sont installés dans de telles zones denses. Pour le montrer, nous devons donc maintenant insister sur les rôles respectifs de la densité et de la vitesse pour mesurer l'accessibilité. Nous devons donc enrichir le modèle MOSART pour qu'il soit capable de calculer et visualiser les différentiels d'accessibilité gravitaire.

C'est ce que nous voyons dans l'exemple suivant qui se propose d'étudier l'accessibilité gravitaire sur une zone qui s'étend du centre de Lyon vers la commune de la Verpillière en suivant l'axe autoroutier (A43) qui va vers Grenoble-Chambéry.

Les cartes présentent des indicateurs d'accessibilité à l'emploi pour chaque zone de l'agglomération lyonnaise, laquelle est ici découpée en carrés de 500m de côté. Plus la couleur est sombre et plus l'indicateur d'accessibilité est élevé.

On constate ainsi sur la carte n°1 qu'en période creuse, l'accessibilité aux emplois grâce à l'automobile est la plus forte au centre ville. La grande densité des emplois localisés dans la partie centrale de l'agglomération explique ce résultat qui n'est pas propre à Lyon mais se retrouve dans toutes les aires urbaines. Mais comme dans les autres agglomérations, il n'en va pas de même en heure de pointe. Le ralentissement de la vitesse moyenne sur le réseau routier et la formation de plusieurs points de congestion réduisent très fortement l'accessibilité VP. C'est ce que montre la carte n°2 où il apparaît clairement que la zone centrale offre une accessibilité bien moindre que les zones périphériques, notamment celles qui, à l'Est de l'agglomération, sont situées proches d'une autoroute urbaine. On comprend au passage le risque que font peser ces dernières sur l'activité et le dynamisme de la ville centre. Il n'est donc pas surprenant que ces dernières réagissent à cette menace par la mise en place d'un réseau de transports en commun qui va garantir le maintien d'une accessibilité forte dans la zone centrale, y compris, et surtout en heure de pointe. La carte n°3 illustre ce phénomène que nous avons déjà rencontré dans la première partie avec les cartes issues de MOSART ver.1.

Accessibilité aux emplois en transport en commun en heure de pointe sur la zone Lyon - La Verpillière

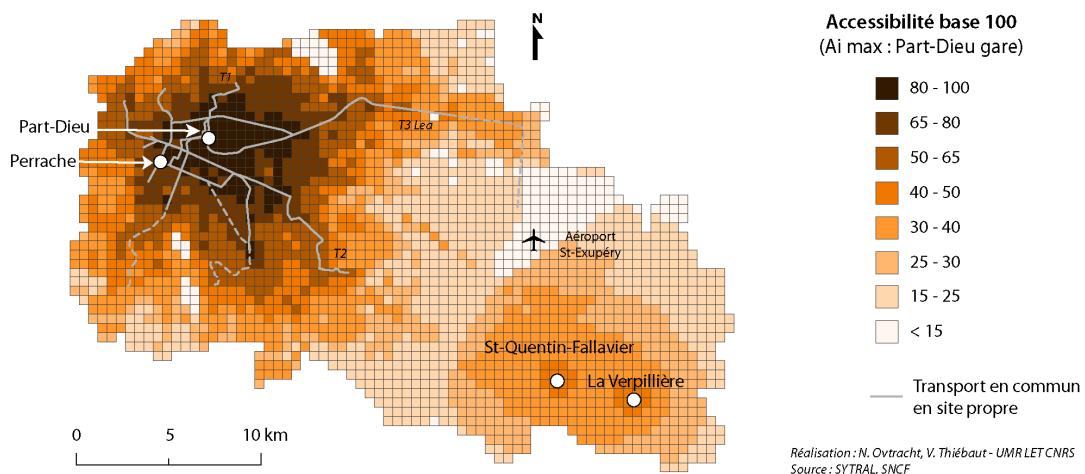
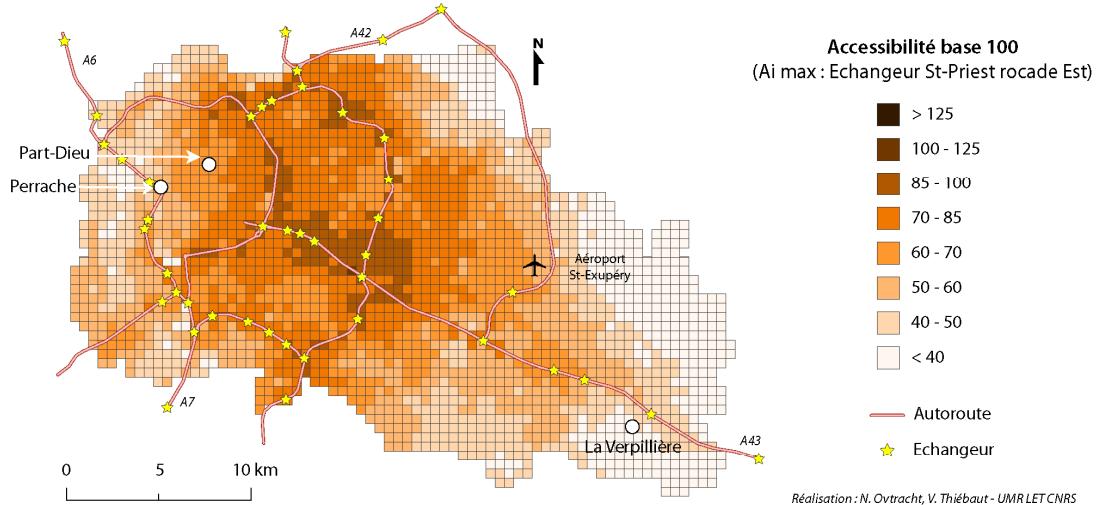


Figure 34 : Accessibilité aux emplois en transport en commun en heure de pointe sur la zone de Lyon - La Verpillière

Dans la version 2 de MOSART, nous avons voulu améliorer le projet dans le domaine des transports. Ainsi nous avons couplé le SIG à un modèle de transport (Lewis 1990, Miller et Shaw 2001) permettant ainsi à la plateforme MOSART d'être un outil plus performant dans les modélisations de scénarios.

Pour cela, nous avons ajouté un modèle de transport mis en place à l'aide du logiciel VISUM pour les calculs de trafic en fonction de périodes de la journée. La mise en place de ce modèle de transport a pour objectif l'estimation du trafic automobile.

Accessibilité aux emplois en VP en heure de pointe sur la zone Lyon - La Verpillière



Accessibilité aux emplois en VP en heure creuse sur la zone Lyon - La Verpillière

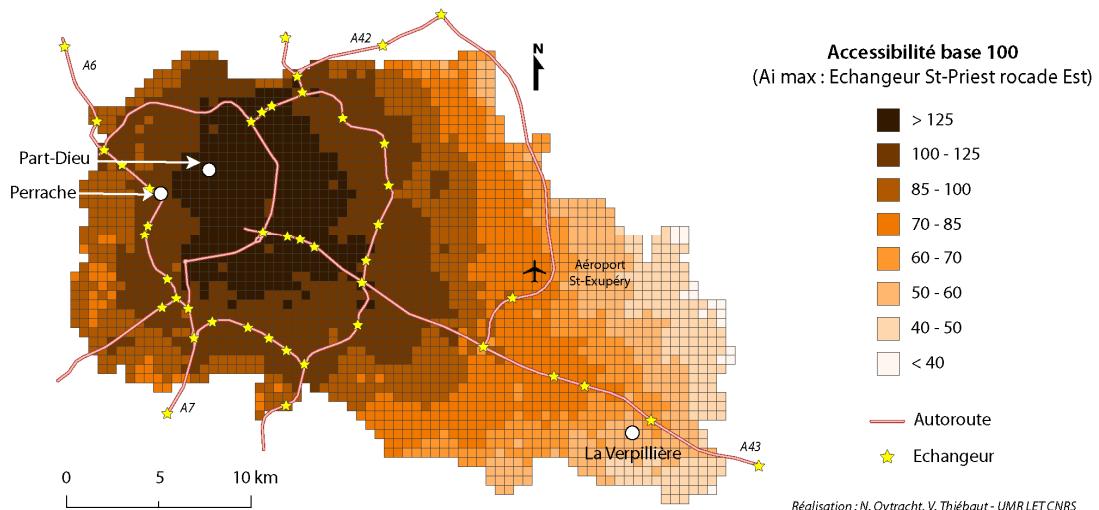


Figure 35 : Accessibilité aux emplois en VP sur la zone de Lyon - La Verpillière

Dans le chapitre suivant, des scénarios sur des politiques publiques sont développés avec l'accessibilité gravitaire.

7. Eléments méthodologiques sur la mesure du coût généralisé

Grâce à la construction des différentes couches représentant les réseaux de transports et la localisation des emplois, l'outil MOSART nous permet de déterminer, entre chaque point de l'aire d'étude, la distance et le temps de transport nécessaire pour la parcourir. Pour des raisons techniques et afin d'améliorer la lisibilité des résultats, nous opérons un découpage spatial du territoire en 4344 micro-zones. Les communes de Lyon et Villeurbanne font l'objet d'une division en 1272 micro-zones de 250 mètres * 250 mètres, le reste du territoire du Grand Lyon est découpé en 2291 zones de 500 mètres * 500 mètres et les territoires hors Grand Lyon sont découpés en 781 zones de 2 km * 2 km.

L'objectif de cette section est de « formater » l'outil MOSART en intégrant nos propres contraintes et de l'adapter dans l'optique de mesurer l'accessibilité. Ainsi, au cours de cette section nous adopterons une démarche en procédant « étape par étape » pour, à partir des fonctionnalités de MOSART, parvenir à mesurer le cout généralisé et *in fine* l'accessibilité pour les automobilistes et les usagers des transports en commun.

L'accessibilité gravitaire est mesurée à partir de la formule suivante :

$$A_i = \sum_{j=1}^n E_j \exp^{(-\beta C_{ij})}$$

avec :

E_j le nombre d'emplois dans la zone j

C_{ij} le coût généralisé entre les zones i et j , avec $C_{ij} = P_{ij} + vT_{ij}$ où P_{ij} correspond au coût monétaire, v à la valeur du temps et T_{ij} au temps de déplacement.

β un paramètre

n le nombre de zones

Le niveau d'accessibilité dépend de deux variables que sont le niveau d'opportunités à destination (le nombre d'emplois) et le coût généralisé, entre les zones i et j , pondéré par le paramètre β . Si le niveau d'opportunité peut être directement obtenu, il est en revanche nécessaire de procéder à une série de calculs pour déterminer le coût généralisé. On peut définir le coût généralisé d'un déplacement par la somme du coût monétaire du déplacement et du temps de déplacement pondéré par la valeur moyenne du temps ressenti par les usagers :

$$C_{ij} = P_{ij} + vT_{ij} \text{ avec}$$

C_{ij} le coût généralisé du déplacement entre les zones i et j

P_{ij} le coût monétaire du déplacement entre les zones i et j

T_{ij} le temps de déplacement entre les zones i et j

v la valeur du temps

Le coût généralisé comporte donc une dimension temporelle et une dimension monétaire qui elles-mêmes peuvent revêtir des formes différentes. Ainsi, au-delà du temps de déplacement « en véhicule », le coût généralisé peut également intégrer, au travers du coût temporel la perception qu'a l'usager des conditions de déplacement (confort, pénibilité, temps d'accès au réseau, ruptures de charge...), notamment lorsqu'il se déplace en transports en commun. Le coût effectif du déplacement devient alors un coût perçu. Moins subtile que la notion de coût temporel, la notion de coût monétaire mérite toutefois d'être explicitée. La formule de l'accessibilité gravitaire souligne que ce coût généralisé doit être pondéré par un paramètre β , qualifié de facteur de conductance, qui traduit la plus ou moins grande résistance au coût de déplacement.

Ainsi cette section abordera les différentes étapes du calcul de l'accessibilité gravitaire successivement pour les déplacements automobiles et ceux réalisés en transports en commun.

7.1. Calcul du coût généralisé des déplacements automobiles

Le coût monétaire d'un déplacement automobile

Le coût monétaire d'un déplacement automobile est calculé à partir des éléments liés à la possession et à l'utilisation d'une automobile.

Le coût monétaire d'un déplacement automobile se décompose en deux grands types de coûts que sont les coûts fixes et les coûts variables. Les premiers, liés à la possession d'une voiture, concernent principalement les dépenses d'achats, d'assurance, de garage et de frais financiers. Les coûts fixes sont invariants quel que soit le nombre de kilomètres parcourus. Les seconds, les coûts variables, dépendent de la distance parcourue. Ils concernent l'usage de la voiture et intègrent le carburant et l'entretien du véhicule. Ces différents postes de dépenses ainsi que leur montant sont récapitulés dans le Tableau 1. Les données proviennent du *Budget de l'automobiliste 2008* établi par l'Automobile Club (Automobile Club, 2008).

	Dépenses annuelles par poste en 2008 (en euros 2008)
Achat moins reprise	3 032
Frais financiers	452
Assurances	657
Carburant	837
Entretien	1 089
Garage	526
Coût Total	6 592
Nombre de km/an	13 378
Coût moyen €/km	0,49
Coût marginal €/km	0,14

Tableau 1 : Postes de dépense d'un automobiliste

Pour la suite de notre travail, nous retiendrons au cours de nos calculs le coût moyen par kilomètre soit 0.49€/km. Ce coût moyen pondère ainsi une distance de déplacement correspondant au parcours présentant le temps de déplacement minimal entre deux zones.

Le coût temporel d'un déplacement automobile

Au-delà du temps passé à bord du véhicule, un déplacement automobile comporte également un temps d'accès au réseau et un temps de trajet jusqu'à la destination finale¹. Nous expliquerons tout d'abord le principe de détermination du temps en véhicule avant de traiter simultanément la question de l'accès au réseau et des trajets terminaux.

Le temps de transport « en véhicule »

Le temps de transport en véhicule correspond au temps passé sur le réseau routier entre les centroïdes des zones origine et destination. Ce temps est calculé selon la méthode du plus court chemin intégré au logiciel VISUM. Le logiciel tient compte des vitesses de circulation sur chacun des tronçons déterminées à partir du niveau de congestion, comme expliqué dans la section « Prise en compte de la congestion automobile par un modèle de transport » (section 4). Ce n'est pas la distance entre deux points qui est minimisée mais bien le temps nécessaire pour relier ces points.

¹ Le temps consacré à la recherche d'une place de stationnement n'est pas intégré dans nos calculs.

La question des temps d'accès au réseau et des trajets terminaux

Les distances et, par conséquent, les temps de déplacements entre zones sont calculés de centroïde à centroïde. Or, les centroïdes souvent placés au centre gravitaire des zones se situent, pour la plupart des zones, à l'extérieur du réseau. Un temps d'accès au réseau doit donc être intégré dans le calcul des temps de déplacement. Le temps d'accès au réseau correspond à la distance à vol d'oiseau entre le centroïde considéré et le nœud du réseau le plus proche, pondérée par une vitesse de déplacement. Derrière l'expression « temps d'accès au réseau routier », on entend principalement le temps mis par l'individu pour rejoindre à pied le lieu de stationnement de son véhicule ou bien le temps passé sur le réseau secondaire afin de rejoindre le réseau primaire. Partant de ce constat, il est possible d'envisager le temps d'accès comme une fonction de la densité de la zone et comme une fonction de la taille de la zone (Masson, 2000). Toutefois nous travaillons à une échelle zonale très fine et prenons en considération l'ensemble du réseau routier, qu'il soit primaire ou secondaire. Dans notre travail, le temps d'accès au réseau se résume donc à un temps de marche à pied et nous considérons dès lors une vitesse d'accès au réseau de 4 km/h. Cette vitesse est légèrement inférieure à celle intégrée dans la plupart des études sur la marche à pied, qui envisagent une vitesse de 5 km/h (Genre-Grandpierre et Foltête, 2003), car elle intègre également le départ depuis le domicile (ou le lieu de travail) et la prise du véhicule.

Les temps de trajets terminaux renvoient au temps de déplacement entre le lieu stationnement du véhicule et la destination finale. De même que pour le temps d'accès au réseau et pour des raisons identiques, nous posons l'hypothèse que le déplacement entre le lieu de stationnement du véhicule et la destination finale est réalisé à pied à une vitesse de 4 km/h. Le temps de recherche d'une place de stationnement pour les actifs ne disposant pas d'un emplacement de parking réservé sur leur lieu de travail n'est pas intégré dans nos calculs.

La valorisation du temps de transport

Le temps de transport est valorisé en recourant à la notion de valeur du temps. Cette valeur du temps, considérée comme « le prix que l'individu est disposé à payer pour économiser une unité marginale de temps étant donnés un objectif et un niveau de revenu », recouvre une diversité de situations qui s'inscrivent dans des réalités souvent très différentes les unes des autres. Selon Quinet, Touzery et Triebel (Quinet *et al.*, 1982), il existe deux principaux concepts de valeurs du temps : la valeur du temps ressentie par les usagers et la valeur du temps tutélaire. Nous nous intéressons dans ce rapport plus particulièrement à la valeur tutélaire.

Les valeurs du temps tutélaires sont des valeurs normatives, mais pas arbitraires, établies pour évaluer les gains de temps procurés aux usagers par la mise en place d'une nouvelle infrastructure de transport. La valeur tutélaire est ainsi fondée sur « ce que l'on sait du comportement des usagers à travers le calage des modèles ou les enquêtes » (Commissariat Général du Plan, 2001). Les valeurs tutélaires tiennent compte d'une différenciation entre milieu urbain et interurbain. En milieu urbain, ces valeurs se décomposent en fonction des motifs de déplacement (motif professionnel, domicile-travail, autre, valeur moyenne lorsqu'on ne dispose pas du détail). En milieu interurbain, la décomposition se fait en fonction du mode de déplacement et des distances (route, fer 2ème classe, fer 1ère classe et distances inférieures à 50 km ou à 150 km). Pour le motif domicile-travail qui nous intéresse dans ce rapport, la valeur 11.4€/h sera ainsi considérée.

7.2. Calcul du coût généralisé des déplacements en transports en commun

Derrière l'expression « transports en commun », nous distinguons les transports en commun urbains (bus, tramway et métros) des transports en commun interurbain (trains express régionaux) et ce, même si les trains express régionaux (TER) peuvent être empruntés pour réaliser des déplacements urbains (entre la Part-Dieu et Perrache ou Gare de Vaise et Perrache, par exemple).

Le coût monétaire d'un déplacement en transports en commun

Le coût monétaire d'un déplacement en transport en commun se compose du prix d'achat du titre de transport lorsque le titre est valable une seule fois. Dans le cadre d'un abonnement, le coût du déplacement est égal au ratio prix de l'abonnement sur nombre de déplacements.

Concernant les déplacements réalisés en transports en commun urbains (dans le périmètre des transports urbains de Lyon) et afin de déterminer le coût monétaire d'un déplacement pour un actif résidant et travaillant dans l'aire urbaine de Lyon (notre périmètre d'étude), nous posons les hypothèses suivantes :

- Un actif est âgé de plus de 18 ans et de moins de 65 ans.
- Un actif bénéficie de revenus supérieurs ou égaux au SMIC.

- Un actif effectue environ 40 déplacements par mois dont le travail constitue le motif origine ou destination du déplacement².

Les Transports en Commun Lyonnais proposent une large gamme d'abonnements et de titres de transport. Parmi ceux-ci, on suppose que les actifs utilisent uniquement l'abonnement « City pass » à 46.2€/ mois ou les tickets vendus par carnets à 1.33€ le ticket valable pour un déplacement. Selon le SYTRAL, en 2008, les abonnements représentent 72% des déplacements (tous motifs confondus). Nous pouvons dès lors supposer que le taux de déplacements réalisés avec abonnement est sensiblement identique quel que soit le motif. La part des actifs utilisant les TC dans le cadre de déplacements domicile-travail ou travail-domicile sans être abonnée (28%) peut sembler surestimée. Toutefois, V. Lainez (Lainez, 2003) met en évidence, sur l'agglomération lyonnaise, l'existence d'un groupe d'utilisateurs de tickets unités qualifiés de « réguliers ». Ce sont des individus captifs des transports en commun, les utilisant beaucoup, pour des déplacements contraints. Leurs revenus sont plutôt faibles. Sous ces hypothèses, le prix moyen d'un déplacement en transport en commun urbain pour un actif est de 1.20€.

On suppose, à l'inverse, que les utilisateurs du réseau TER, dans le cadre de déplacements domicile-travail et travail-domicile, possèdent tous un abonnement mensuel. Le coût kilométrique d'un déplacement en TER s'élève, pour l'usager, à 0.05€ (coût calculé à partir des grilles tarifaires des abonnements de travail mensuels, site internet TER Rhône-Alpes). A ce coût kilométrique du déplacement en TER peut s'ajouter le coût monétaire du déplacement réalisé sur réseau TCL. Ainsi l'EMD 2006 souligne que si à l'échelle de l'aire métropolitaine seuls 2% des déplacements sont intermodaux, ce taux passe à 12% lorsque les déplacements à destination du PTU de Lyon trouvent leur origine à l'extérieur de ce PTU. Considérant que les déplacements domicile-travail réalisés en TER trouvent tous leur origine à l'extérieur du PTU, nous supposons que 12% de ces déplacements combinent l'usage des transports en commun interurbains et urbains (réseau TER + TCL). On suppose par ailleurs que ces déplacements intermodaux sont réalisés, pour leur partie urbaine, par un abonnement TCL. Dès lors le coût d'un déplacement en transports en commun interurbain s'élève à :

$$C_{TCI} = (0.05 * \text{distance}) + (0.12 * (46.2/20/2)) = (0.05 * \text{distance}) + 0.14$$

² On suppose qu'un individu travaille 230 jours par an, soit 20 jours par mois et qu'il effectue au minimum 2 déplacements quotidiens pour se rendre et/ou quitter son lieu de travail.

Le coût temporel d'un déplacement en transports en commun

Un déplacement en transports en commun est moins « linéaire » qu'un déplacement automobile. Au temps d'accès au réseau et au temps de trajet terminal s'ajoutent un temps d'attente du véhicule ainsi qu'un temps d'accès et d'attente aux correspondances s'il y a lieu. Cette particularité inhérente aux transports en commun nous amène ainsi à la question du confort.

Principe de détermination du temps de déplacement

Le temps de déplacement, entre deux zones, intégré dans nos calculs est calculé à partir du logiciel VISUM en suivant la procédure d'affectation « selon les horaires » dans sa variante « recherche du plus court chemin ». La recherche du plus court chemin s'effectue en tenant compte des heures de départ et d'arrivée enregistrées à partir des fiches horaires ainsi que des coefficients pondérant les composantes du déplacement. Afin d'arbitrer entre ces alternatives, deux solutions s'offrent à nous : d'une part favoriser les liaisons les plus rapides, d'autre part favoriser les liaisons avec le moins de correspondances. Nous optons pour la première en n'affectant pas de « malus » pour les ruptures de charge.

Les composantes temporelles d'un déplacement en transports en commun

Le temps de déplacement en transport en commun est généralement constitué du temps de transport en véhicule, des temps de rabattement et d'accès à destination, du temps d'attente au départ et aux correspondances ainsi que du temps de trajet entre les points de correspondances. Toutefois, au-delà du temps de déplacement « réel », le temps généralisé peut également intégrer, au travers du coût temporel, la perception qu'a l'usager des conditions de déplacement (confort, pénibilité des temps d'accès au réseau, ruptures de charges, ...).

Dans le cadre d'un temps généralisé, on a :

$$T_{ij} = TEV + TR + TAX + TMaP + TAD + TAC$$

Avec :

TEV le temps de transport en véhicule

TR le temps de rabattement à l'arrêt

TAX le temps d'accès à destination

TMaP le temps de marche à pied entre correspondances

TAD le temps d'attente au départ

TAC le temps d'attente aux correspondances

Ces différentes composantes du temps de déplacements sont généralement pondérées par une valeur du temps unique. Toutefois lorsque des critères plus subjectifs de confort, de pénibilité de rupture de charge et de temps d'avance ou de retard sont considérés, le temps de déplacement devient :

$$T_{ij} = TEV * k_c + TR * k_{TR} + TAX * k_{TAX} + TMaP * k_{TMaP} + TAD * k_{TAD} + TAC * k_{TAC} \\ + T_i^{avance} * k_{Tavance} + T_j^{retard} + k_{Tretard} + NR * k_r$$

Avec :

k_c un coefficient traduisant le niveau de confort en véhicule

k_{TR} un coefficient traduisant la pénibilité pour accéder au réseau

k_{TAX} un coefficient traduisant la pénibilité pour rejoindre le lieu de destination depuis la station de descente

k_{TMaP} un coefficient traduisant la pénibilité de la marche à pied entre correspondances

k_{TAD} un coefficient traduisant la pénibilité du temps d'attente au départ

k_{TAC} un coefficient traduisant la pénibilité du temps d'attente en correspondance

T_i^{avance} le temps d'avance par rapport à l'horaire annoncé

$k_{Tavance}$ un coefficient traduisant la sensibilité aux départs anticipés

T_i^{retard} le temps de retard par rapport à l'horaire annoncé

$k_{Tretard}$ un coefficient traduisant la sensibilité aux départs retardés

NR le nombre de ruptures de charge

k_y un coefficient traduisant la pénibilité liée à une rupture de charge

Les composantes temporelles du coût généralisé sont au nombre de six :

1/ Le temps de transport en véhicule correspond la somme du temps passé en bus, métro, tramway ou train depuis chaque station de montée jusqu'à chaque station de descente sans quitter le véhicule. Ce temps est estimé en considérant le temps de parcours minimal

entre deux zones à partir de vitesses et de fréquences par lignes prédéterminées. Il tient ainsi compte des conditions de circulation et de la topologie du réseau, intégrées dans les fiches horaires. Nous privilégions les liaisons les plus rapides au détriment de celles offrant le moins de correspondances. Nous considérons par ailleurs un temps de déplacement intra-zone nul.

2 et 3/ Le temps de rabattement correspond au temps d'accès nécessaire entre le domicile et la station de bus, métro, tramway ou de la gare la plus proche. Le temps d'accès à destination représente le temps d'accès nécessaire entre la station de transport en commun ou la gare et le lieu de travail. Chacun de ces temps est déterminé en considérant que le domicile et le lieu de travail sont localisés au niveau des centroïdes de zones. En outre, on suppose que la distance linéaire entre les centroïdes et les stations de transport en commun urbains les plus proches est parcourue à pied à une vitesse de 3.5 km/h. En revanche on considère que la distance séparant le domicile de la gare TER la plus proche est elle parcourue en voiture à une vitesse de 50 km/h.

4 et 5/ Le temps d'attente à la station de départ est nulle. On considère ainsi que l'individu connaît précisément les horaires de passage des transports en commun et ne tient pas compte d'un temps de précaution. Notons que le temps d'attente est calculé de cette manière pour l'ensemble des lignes du réseau (urbain et interurbain) quelle que soit leur fréquence et ce, bien que l'on puisse penser que les usagers ont une moins bonne connaissance des horaires lorsque les fréquences sont plus élevées, notamment pour les transports en commun urbains. Le temps d'attente en correspondance est égal au temps d'attente du prochain véhicule. Il est déterminé par rapport aux horaires de passage à l'arrêt.

6/ Un temps de marche pour atteindre une correspondance est ajouté au temps d'attente du prochain véhicule. Toutefois, on considère que les arrêts sont localisés à proximité les uns des autres et qu'au maximum le temps de traversée d'une rue, estimé à 10 secondes, est nécessaire pour relier deux arrêts entre eux.

La prise en compte des éléments de confort

Le rapport du Commissariat Général du Plan de 2001 préconise de prendre en compte certains éléments de confort afin de « refléter pleinement les préférences des usagers des transports collectifs ». Derrière l'expression « éléments de confort », le Commissariat Général du Plan sous-entend plus particulièrement les temps d'attente et de marche à pied pour l'accès aux stations et pour les correspondances, ainsi que les parcours effectués debout ou dans des véhicules très chargés. De ce fait, c'est que ce Jean-Paul Coindet (Coindet, 1998) appelle la

« décomposition du déplacement », à savoir que les transports en commun ne permettent pas un déplacement porte à porte et nécessitent des temps d'attente et des correspondances, qui « pénalisent » les usagers des transports en commun. Nous proposons donc de retenir les valeurs normatives proposées par le Commissariat Général du Plan, à savoir :

Temps de rabattement sur le réseau généralisé = temps de transport réel en marche à pied * 2

Temps d'attente généralisé = temps d'attente réel * 2

Temps de déplacement généralisé = temps de déplacement réel³

Temps de marche à pied généralisé entre correspondances = temps de marche à pied réel * 2

Temps d'attente généralisé entre correspondances = temps d'attente réel entre correspondances * 2

Temps d'accès généralisé à destination depuis le réseau⁴² = temps de transport réel en marche à pied * 2

Pas de supplément temporel lié au nombre de ruptures de charges

Dès lors, en considérant les paramètres suivants, le temps de déplacement perçu par l'usager peut s'écrire :

$$T_{ij} = TEV + 2TR + 2TAX + 2TMaP + 2TAD + 2TAC$$

7.3. L'évaluation de la sensibilité des individus au coût généralisé

La formule de l'accessibilité gravitaire pondère le coût généralisé par un paramètre de sensibilité (également défini comme un coefficient de conductance) que nous appellerons le paramètre beta (β). Ce dernier correspond à la propension des individus à supporter un coût de déplacement plus ou moins élevé (Deymier, 2005). En d'autres termes, il représente le plus ou moins grande résistance au coût du déplacement.

³ Le rapport CGP préconise de multiplier le temps de transport en TC en situation de congestion par un coefficient 1.5. Toutefois, dans notre cas, la situation de congestion est déjà intégrée au travers des vitesses des véhicules.

La valeur du paramètre β s'obtient par le calage du modèle gravitaire à partir des comportements observés sur l'aire d'étude considérée. L'étape de calage intervient en amont du calcul de la distribution des déplacements au cours du modèle à quatre étapes. Elle est détaillée section 4. Nous utilisons une fonction combinée pour réaliser l'étape de distribution dans la mesure où d'une part cette fonction « colle » le mieux à la réalité et ou, d'autre part, elle peut être ramenée à un modèle logit lorsque $b=0$ (cf. section 4). Pour calculer l'accessibilité gravitaire, nous déterminons le paramètre β à partir d'une fonction logit et non combinée. En d'autres termes, nous posons l'hypothèse que la fonction combinée présente un paramètre $b = 0$. Ce choix s'explique tout d'abord par le fait que la formule de l'accessibilité gravitaire présente une forme de type logit. Précisons que la réalisation d'un modèle à quatre étapes pour déterminer les vitesses sur les tronçons routiers (présenté section 4) est totalement indépendante de la détermination du paramètre de sensibilité au coût et que le choix de fonctions différentes n'affecte pas la qualité des valeurs obtenues pour le paramètre β .

Motif / Paramètres	β
Domicile - Travail	-0,18
Domicile - Autre	-0,37
Travail/Autre - Autre	-0,43
Travail/Autre - Domicile	-0,46
Travail/Autre - Travail	-0,09

Tableau 2 : Estimation des valeurs du paramètre Beta par motifs

Les valeurs du paramètre de sensibilité, en fonction des motifs de déplacement, sont répertoriées dans le Tableau 2. Les valeurs prises par le paramètre beta varient en fonction des motifs de déplacement. Nos résultats montrent ainsi que les individus sont moins sensibles au coût du déplacement pour se rendre sur leur lieu de travail que pour d'autres. Ces résultats peuvent s'expliquer sans doute par le périmètre d'étude à partir duquel ont été calculés ces coefficients, à savoir le périmètre de l'Enquête Ménages Déplacements de 2006. Les individus semblent réticents à parcourir de longues distances pour rejoindre un lieu différent de leur emploi qu'ils pourraient trouver à proximité de leur domicile (type lieu de commerce, de loisirs) alors qu'ils sont davantage enclins à accepter des temps de déplacements plus élevés pour se rendre sur leur lieu de travail.

Notons que ce paramètre ne dépend pas uniquement des motifs de déplacement mais plus généralement des caractéristiques socioéconomiques et des dimensions spatio-temporelles. Ainsi, Andersson et Karlsson (2005) à partir de travaux de Johannsson *et al.* présentent dans le cadre de calculs d'accessibilité, en Suède, un paramètre variant de 0.02 à 0.1 selon que l'on considère une échelle intra-municipale ou intra-régionale. De la même façon, Johannsson *et al.* (2002) soulignent l'impact du sexe et du niveau d'étude sur la sensibilité à la distance temporelle de déplacement pour accéder à l'emploi. A niveau d'éducation égal, les hommes sont plus enclins à effectuer de longs déplacements pour aller travailler que les femmes.

Afin de mesurer l'accessibilité, le coût généralisé des déplacements, considéré comme l'élément résistant du déplacement est pondéré par un élément moteur à savoir, dans notre cas, les emplois. Ce dernier est directement issu de l'outil MOSART et ne fait pas l'objet d'une section particulière.

8. Prise en compte de la congestion automobile par un modèle de transport

La section précédente souligne à quel point le temps de déplacement constitue une variable clé dans la mesure d'accessibilité. Son estimation se doit dès lors être la plus précise possible. Ainsi, le temps de transport automobile ne doit pas être calculé sur un réseau à vide mais doit, au contraire, intégrer l'impact de la congestion sur les conditions de déplacements. Ainsi, un modèle de transport est mis en place sur notre périmètre d'étude afin de modéliser le trafic automobile sur les différents tronçons du réseau routier. Ce type de modèle appelé couramment « modèle à quatre étapes » est généralement utilisé dans le cadre de la prévision de demande de transport et de simulations de trafic à un horizon plus ou moins lointain. Nous l'utilisons dans notre travail pour simuler les conditions de circulation « actuelles » à partir des vitesses et donc du niveau de trafic.

Au travers des étapes de génération, distribution, choix modal et affectation, le principe d'un modèle à quatre étapes consiste à estimer le niveau de trafic sur chacun des tronçons du réseau à partir de données socio-économiques localisées et de l'offre de transport (cf. 36).

Nous nous intéressons plus particulièrement aux conditions de circulation en période de pointe. Dès lors, nous construisons notre modèle, non pas sur une période d'analyse d'une journée, mais sur une plage horaire de trois heures entre 7h et 10h, en référence à la période

de pointe du matin. Le modèle est réalisé, grâce à l'utilisation du logiciel VISUM, à l'échelle de l'aire urbaine de Lyon⁴ (telle que définie par l'INSEE en 1999) en tenant compte d'un découpage en zones Iris 2000. Ainsi lorsque nous parlerons de zone, nous ferons référence aux zones IRIS.

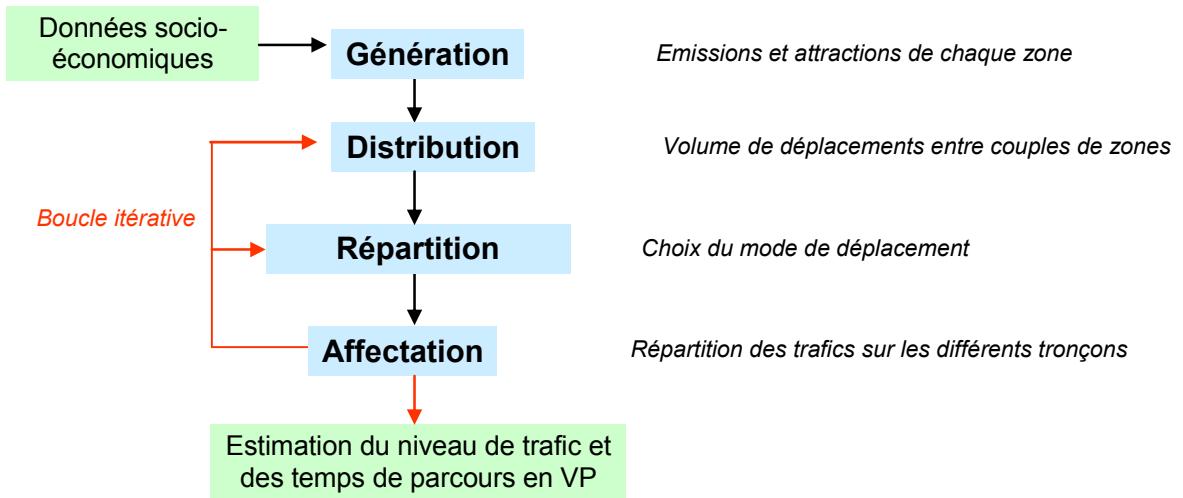


Figure 36 : Architecture du modèle de transport « à quatre étapes »

8.1. La génération des déplacements

La génération des déplacements, première étape du modèle, produit les émissions et les attractions de chaque zone de l'aire d'étude. Elle calcule ainsi, pour chaque zone, le nombre de déplacements émis (c'est-à-dire trouvant son origine) et reçus (c'est-à-dire ayant pour destination) et ce, pour un ou plusieurs motifs de déplacements. L'étape de génération permet de constituer les marges de la matrice origine-destination qui sera produite par l'étape de distribution.

Le principe de calcul de la génération : le cas du modèle linéaire

Le principe de calcul consiste à déterminer les variables explicatives du nombre d'émissions et d'attractions de chaque zone, ainsi que les coefficients associés, pour une situation de référence puis d'extrapoler les résultats obtenus à la situation étudiée (McNally, 2000). Le choix de la situation de référence est guidé par les données disponibles tant en termes de déplacements émis et attirés que de variables économiques et démographiques

⁴ L'aire urbaine est considérée comme le bassin de vie de l'agglomération. Elle est définie par l'INSEE sur la base de données statistiques concernant notamment les déplacements domicile-travail. Elle est l'expression du « territoire vécu » et traduit l'interdépendance des territoires voisins, au-delà des limites institutionnelles.

associées à chaque zone. Les Enquêtes Ménages Déplacements (EMD) présentent ces caractéristiques et sont ainsi les plus fréquemment utilisées comme situation de référence. Nous utilisons ainsi l'EMD réalisée en 2006 sur l'aire métropolitaine lyonnaise, et plus précisément la base des déplacements réalisés entre 7h et 10h en référence à notre période d'analyse. Précisons toutefois que le périmètre de l'EMD, correspondant à l'aire métropolitaine de Lyon, n'étant pas ajusté à celui de l'aire urbaine de Lyon, une variabilité des coefficients pourrait⁵ être observée entre les deux zonages.

Les paramètres associés aux différentes variables sont estimés par une régression linéaire multiple. Le principe d'un tel modèle consiste à expliquer une variable y par plusieurs variables explicatives $x_1, x_2 \dots x_n$ en supposant que ces dernières entretiennent une relation linéaire avec la variable à expliquer.

Pour un motif donné, l'estimation des émissions depuis une zone i donnée s'écrit :

$$\hat{E}_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_n x_{ni} + \varepsilon$$

avec :

- β_0 la constante
- β_k le coefficient associé à la variable explicative x_{ki}
- x_{ki} une variable explicative des émissions pour la zone i
- ε un terme d'erreur aléatoire

L'estimation des paramètres s'effectue à partir de la méthode des Moindres Carrés Ordinaires (MCO).

Le choix des motifs et des variables explicatives

Les trafics émis et attirés pour chaque zone sont estimés séparément pour chacun des motifs considérés. Nous envisageons une segmentation en cinq motifs de déplacement : « Domicile vers Travail », « Domicile vers Autre Motif⁶ », « Travail ou Autre Motif vers Autre Motif », « Travail ou Autre Motif vers Domicile » et « Travail ou Autre Motif vers

⁵ L'absence de données de mobilité sur le périmètre de l'aire urbaine nous empêche de le vérifier.

⁶ Par l'expression « Autre Motif » nous entendons un déplacement pour un motif autre que le travail ou le domicile.

Travail ». Ces cinq motifs permettent en effet d'intégrer l'ensemble des déplacements possibles.

Le choix des variables explicatives dépend de la significativité des valeurs obtenues et de la pertinence des résultats. Nous les explicitons en détail dans les paragraphes ci-dessous. Le type de variables intégrées diffère selon que l'on considère l'émission ou l'attraction des déplacements. Les variables retenues pour expliquer le nombre de déplacements émis par zone sont d'ordre démographique dans la mesure où elles s'attachent directement à la segmentation de la population (nombre de ménages, de lycéens, d'étudiants ou d'actifs). A l'inverse, l'attraction des déplacements s'explique davantage par les caractéristiques d'une zone, et notamment par ses caractéristiques (le nombre d'emplois ou le nombre d'établissements tertiaires, par exemple).

Présentation des résultats

Les résultats des régressions linéaires pour les émissions et les attractions sont présentés dans le Tableau 3. Au-delà du coefficient associé à la variable explicative, le tableau présente le coefficient de détermination R^2 associé à la régression ainsi que la probabilité associée au test de Student. Ces deux dernières valeurs permettent de tester la robustesse des résultats obtenus.

Résultats sur les émissions de déplacements

Le nombre de déplacements Domicile-Travail est estimé à partir du nombre de ménages. Le taux de génération par ménage est de 0.53 déplacements. Cette variable présente un R^2 de 0.85. Le test de Student conclut à la significativité du coefficient associé au nombre de ménages.

Les déplacements émis depuis le domicile pour un motif autre que le travail ont également comme variable explicative le nombre de ménages. Le taux de génération est de 1.19 déplacements par ménage. Le R^2 est de 0.77.

Le nombre de déplacements à destination du domicile à partir du motif « Travail » ou « Autre » est estimé à partir du nombre d'actifs. Chaque actif génère ainsi 0.42 déplacement pour ce motif sur la période temporelle considérée. Le R^2 est de 0.50.

Les variables explicatives retenues pour expliquer les déplacements émis pour le motif « Travail-Autre motif » vers « Autre motif » sont le nombre de retraités et le nombre d'actifs. Ces deux catégories génèrent respectivement 0.18 et 0.17 déplacements par personne. Les

coefficients associés à ces variables sont significativement différents de zéro. Le R² est de 0.49.

Le nombre de déplacements pour le motif « Travail ou Autre » vers « Travail » est estimé à partir du nombre d'actifs. Chaque actif génère ainsi 0.12 déplacement sur la période de pointe du matin. Le R² est de 0.41.

Résultats sur les attractions de déplacements

Le nombre de déplacements attirés pour le motif « Domicile-Travail » est expliqué par le nombre d'emplois. La valeur du coefficient associé à cette variable est de 0,35. Le coefficient de détermination associé est de 0,66 et le coefficient associé à la variable nombre d'emplois est significatif.

Les déplacements reçus pour le motif « Domicile-Autre » sont expliqués par le nombre d'établissements tertiaires. Le coefficient associé à cette variable est de 4.5 et le R² est de 0,4.

Le coefficient d'attraction pour les déplacements à destination du domicile ayant une origine hors du domicile est de 0.65 par ménage. Le coefficient de détermination est de 0.76.

C'est également le nombre d'établissements tertiaires qui est utilisé pour expliquer l'attraction des déplacements dont le motif à destination est « Travail-Autre motif » vers « Autre motif ». Le taux d'attraction est de 1.45 par établissement tertiaire.

Les déplacements attirés pour le motif « Travail-Autre motif » vers « Travail » dépendent du nombre d'établissements tertiaires. Le coefficient associé à cette variable est de 58 et est significatif. Le R² est de 0.49.

L'intégration des coefficients pour le calcul des émissions et attractions

Pour chaque zone, la masse de déplacements émis doit être égale à la masse de déplacements reçus. Toutefois, lorsque le nombre d'émissions diffère du nombre d'attractions, nous choisissons de normaliser le total des déplacements au nombre d'émissions. En effet, les émissions sont calculées à partir de données socio-économiques caractérisant les ménages, données qui sont souvent plus fiables que les données d'activités zonales (Bonnel, 2004). Dans ce cas, le résultat de l'attraction est alors pondéré par un facteur identique pour chacune des zones : ce facteur correspond au ratio entre les émissions totales et les attractions totales pour chaque zone. Le total des déplacements étant normalisé au total d'émissions, la valeur du

coefficient associé aux variables explicatives des masses attractives n'influe pas directement sur le nombre de déplacements reçus, à partir du moment où cette valeur est non nulle.

	Variables explicatives	Coefficient	Pr(> t)	R²
Emissions				
Motifs (Origine-Destination)				
Domicile-Travail	Nombre de ménages	0,53	<2e-16 ***	0,85
Domicile-Autre	Nombre de ménages	1,19	<2e-16 ***	0,77
	Constante	117,5	0.00386 **	0,77
Travail/Autre - Domicile	Nombre d'actifs	0,42	<2e-16 ***	0,5
	Constante	144	4.98e-06 ***	0,5
Travail/Autre - Autre	Nombre de retraités	0,18	1.16e-06 ***	0,49
	Nombre d'actifs	0,17	<2e-16 ***	0,49
	Constante	61,6	0.000531 ***	0,49
Travail/Autre - Travail	Nombre d'actifs	0,12	<2e-16 ***	0,41
	Constante	53,2	7.11e-07 ***	0,41
Attractions				
Motifs (Origine-Destination)				
Domicile-Travail	Nombre d'emplois	0,35	<2e-16 ***	0,66
	Constante	86	6.99e-05 ***	0,66
Domicile-Autre	Nombre d'ets. tertiaires	4,5	<2e-16 ***	0,4
	Constante	561	<2e-16 ***	0,4
Travail/Autre - Domicile	Nombre de ménages	0,65	0.0573 .	0,76
	Constante	42	<2e-16 ***	0,76
Travail/Autre - Autre	Nombre d'ets. tertiaires	1,45	<2e-16 ***	0,33
	Constante	123	3.58e-08 ***	0,33
Travail/Autre - Travail	Nombre d'ets. tertiaires	58	2.63e-10 ***	0,49
	Constante	0,84	<2e-16 ***	0,49

(Significativité : 0 *** 0,001 ** 0,01 * 0,05 .)

Tableau 3: Résultats des régressions linéaires

8.2. La distribution des déplacements

L'étape de distribution des déplacements vise à calculer le volume de déplacements tous modes entre chaque couple de zones de l'aire d'étude. Elle utilise les données produites par l'étape de génération, c'est-à-dire les marges de la matrice Origine-Destination (O-D) associées à une matrice d'impédance pour compléter l'intérieur de la matrice Origine-Destination. Tout comme la génération, la distribution des déplacements est calculée suivant une segmentation des déplacements par motifs identique à celle utilisée pour l'étape de génération.

Le choix d'un modèle de distribution gravitaire

La littérature recense une variété de familles de modèles de distribution tels les modèles à facteurs de croissance, les modèles d'opportunités ou encore les modèles gravitaires (Ortuzar et Willumsen, 2001). Ces derniers sont fréquemment utilisés comme modèles de distribution, notamment pour des applications en milieu urbain, en raison de leur justification économique (Bonnel, 2004). Les modèles gravitaires ont pour particularité de répartir les flux entre zones origine et destination en fonction des générateurs de déplacement et des facteurs d'attractivité et ce, en tenant compte de la distance (physique ou temporelle) qui sépare les différentes zones. Dans sa forme générique, le modèle gravitaire s'écrit :

$$T_{ij} = a * E_i * A_j * f(U)$$

Avec :

- a un coefficient de proportionnalité
- E_i les émissions de la zone i
- A_j les attractions de la zone j
- $f(U)$ une fonction d'impédance

La fonction d'impédance peut prendre plusieurs formes dont les plus fréquentes sont la fonction puissance (modèle de Kirchhoff, $f(U) = U^c$) la fonction exponentielle (modèle logit, $f(U) = e^{cU}$), la fonction BoxCox ($f(U) = e^{[cU^b - 1/b]}$) et la fonction combinée exponentielle et puissance ($f(U) = aU^b e^{cU}$). Le modèle logit calcule la répartition des

déplacements en fonction des différences entre les temps généralisés (par exemple, il n'y a pas de différence entre des liaisons avec des temps généralisés de 5 et de 10 minutes et d'autres liaisons avec des temps généralisés de 95 et de 100 minutes). En effet, on a $U_i^a = e^{-\beta * TG_i^a}$

alors $P_i^a = \frac{e^{-\beta * TG_i^a}}{\sum_j e^{-\beta * TG_j^a}}$. A l'inverse, un modèle de Kirchhoff calcule la répartition à partir des proportions des différents temps généralisés (par exemple, il n'y a pas de différence entre des liaisons avec des temps généralisés de 5 et de 10 minutes et d'autres liaisons avec des temps

généralisés de 50 et de 100 minutes). En effet, on a $U_i^a = TG_i^{a-\beta}$ alors $P_i^a = \frac{TG_i^{a-\beta}}{\sum_j TG_j^{a-\beta}}$.

Le choix de la fonction d'impédance dépend des données empiriques, l'objectif étant que la fonction « représente » le mieux possible la réalité. Sur la base de ce critère, nous avons testé les différentes fonctions possibles. Pour ce faire, nous avons comparé la répartition des déplacements selon le temps de transport en voiture pour chacune des fonctions proposées avec la répartition réelle, connue grâce à l'EMD. La Figure présente le résultat des simulations. La fonction combinée est celle qui « colle » le mieux à la réalité, d'où la décision d'utiliser cette fonction d'impédance pour notre modèle de distribution. Dans notre exemple, les modèles Logit, BoxCox et Kirchhoff sous-estiment le nombre de déplacements de courte durée (inférieurs à 10 minutes) et surestiment les déplacements supérieurs à 10 minutes.

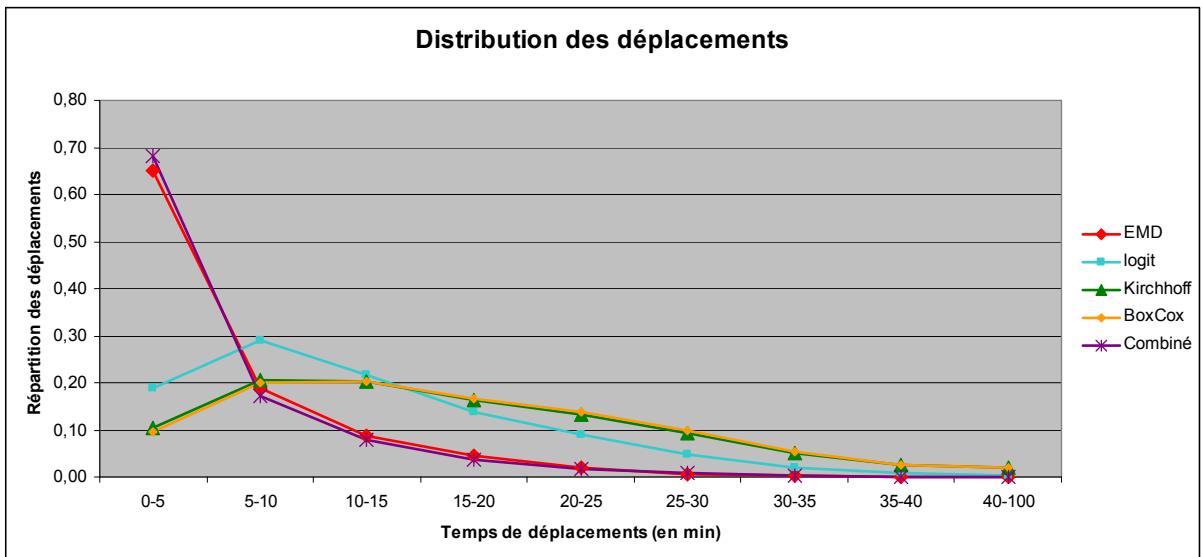


Figure 37 : Impact des fonctions d'impédance sur la distribution des déplacements

La mise en œuvre de l'étape de distribution et ses limites

La distribution gravitaire des déplacements est calculée à partir des résultats issus de la génération et d'une fonction d'impédance. Comme nous venons de l'expliquer, la fonction d'impédance considérée est une fonction combinée. Reste toutefois à préciser ce que nous entendons exactement par le terme d'impédance ou de coût de déplacement.

Nous considérons dans l'étape de distribution, de même que pour le calage du modèle, que le coût peut être perçu comme le temps de déplacement en voiture particulière. La littérature fait état du problème du choix du coût généralisé dans le calcul de la distribution et envisage deux solutions principales pour le résoudre : intégrer le coût du mode présentant le coût généralisé le plus faible ou bien prendre en compte la moyenne des coûts généralisés des différents modes pondérés par leur poids sur chacune des relations origine-destination. A partir de ce constat, nous justifions notre choix. Intégrer le coût généralisé du mode le plus économique en temps revient dans notre cas à prendre en compte celui de la voiture particulière. Notre modèle à quatre étapes étant réalisé sur la base du périmètre de l'EMD de Lyon, de nombreuses zones sont partiellement desservies par un réseau de transports en commun. De ce fait, la voiture particulière constitue le seul mode possible pour relier de nombreuses zones entre elles. En centre-ville, en considérant un réseau à vide et aucune contrainte de stationnement, la voiture particulière apparaît compétitive par rapport aux transports en commun. En effet, la distribution étant calculée avant la répartition modale et, par conséquent, avant l'affectation sur les tronçons, il n'est pas possible de définir, à ce stade, un temps de

parcours automobile tenant compte des conditions réelles de circulation. A l'inverse, le calcul des temps de transport en transports en commun étant calculé de manière exogène au modèle, il intègre les temps d'attente (au départ et en correspondances) et la congestion éventuelle. Pour ces raisons, des deux modes, la voiture particulière « affiche » un coût généralisé plus faible que les transports en commun, quelle que soit la relation Origine-Destination considérée. Nous avons également envisagé d'intégrer comme coût généralisé la moyenne pondérée des différents modes en fonction de leur « part de marché » sur chaque relation Origine-Destination. Là encore, le principal obstacle à la mise en place de cette alternative réside dans la non-connaissance à ce stade de la modélisation de la répartition des déplacements. Le problème de l'intégration du coût de déplacement dans le calcul de la distribution ne trouve pas de solution immédiate. Quelle que soit l'option choisie, il semble judicieux de calculer la distribution au cours d'une seconde itération, après avoir fait tourner une fois le modèle et en avoir déduit les différentes parts modales. La spécificité des objectifs qui sous-tendent la réalisation de notre modèle à quatre étapes -nous ne sommes pas ici dans une optique de prévisions mais dans un calcul de vitesse moyenne par type de tronçons- nous conduit à ne pas aller plus avant dans le détail de la construction de l'étape de distribution.

Le calage du modèle

La phase de calage du modèle consiste à déterminer les paramètres de la fonction d'impédance de sorte que le modèle soit le plus « proche » possible de la réalité. L'objectif est ainsi d'adapter la fonction d'impédance à une distribution des déplacements prédéfinie, en l'occurrence celle de l'EMD 2006 correspondante.

La phase de calage requiert le volume des émissions et attractions, par motif, pour chaque zone IRIS ainsi que la distribution des déplacements EMD en fonction du coût. Par le terme de coût, nous entendons le temps de déplacement en voiture particulière sur un réseau non chargé. Les paramètres sont calculés pour le modèle gravitaire selon l'émission contrainte simple. Les résultats issus du calibrage pour une fonction combinée $f(U) = aU^b e^{cU}$ sont présentés dans le Tableau 3. La colonne qualité présente un indice de qualité produit directement par VISUM. Cet indice est compris entre 0 et 1, sachant que 1 traduit une très bonne qualité. Pour tirer des enseignements de ce tableau et comprendre les mécanismes à l'œuvre, il est intéressant de comparer les résultats du calage sur notre modèle réalisé en période de pointe et les résultats du calage du même modèle à 4 étapes réalisé cette fois sur une période de 24 heures. Ainsi, les valeurs des paramètres de calage obtenus sur une période

de pointe présentent une amplitude plus grande que les valeurs obtenues sur une journée. Ceci est particulièrement remarquable pour les déplacements dont l'un des motifs à l'origine est le travail. L'explication réside principalement dans le fait que la part des déplacements réalisés entre 7h et 10h depuis le lieu de travail (ou un lieu autre que le domicile) est marginale par rapport aux déplacements réalisés depuis le domicile : 74% des déplacements réalisés entre 7h et 10h le sont depuis le domicile. Cette même raison peut être invoquée pour expliquer les différences de qualité de calage selon les motifs. Les motifs pour lesquels la qualité est la moins bonne sont ceux qui présentent les plus faibles parts de déplacements. Le paramètre β est un paramètre de sensibilité au coût généralisé de déplacement. Plus la valeur de ce paramètre est élevée, plus la sensibilité est forte. En période de pointe, nous observons une nette différence de la valeur prise par ce paramètre en fonction des motifs de déplacement : la sensibilité au coût généralisé est d'autant moins élevée que le déplacement a pour motif le travail. Sur une période de 24 heures, nous n'observons pas une aussi grande amplitude des valeurs prises par le paramètre β .

Motif / Paramètres	a	b	c	β	Qualité
Domicile - Travail	1,42	-0,54	-0,12	-0,18	0,58
Domicile - Autre	8,86	-2,16	-0,1	-0,37	0,72
Travail/Autre - Autre	10,31	-2,18	-0,15	-0,43	0,70
Travail/Autre - Domicile	19,05	-3	-0,08	-0,46	0,01
Travail/Autre - Travail	2,08	-0,75	-0,13	-0,09	0,01

Tableau 4 : Résultats issus du calage (modèle réalisé en période de pointe)

Motif / Paramètres	a	b	c	β	Qualité
Domicile - Travail	2,02	-0,8	-0,12	-0,21	0,78
Domicile - Autre	8,23	-2,12	-0,09	-0,35	0,75
Travail/Autre - Autre	6,66	-1,83	-0,12	-0,34	0,89
Travail/Autre - Domicile	6,23	-1,84	-0,09	-0,25	0,78
Travail/Autre - Travail	3,57	-1,25	-0,11	-0,26	0,79

Tableau 5 : Résultats issus du calage (modèle réalisé sur une période de 24 h.)

8.3. La répartition modale

L'étape de choix du mode de déplacement prend place après la distribution des déplacements. La répartition vise à « faire éclater la matrice O-D présentant les déplacements entre chaque couple de zones en autant de matrices origine-destination qu'il y a de modes de transport pris en compte » (Bonnel, 2004). La détermination du choix modal se heurte principalement aux limites liées au choix des variables explicatives et du modèle utilisé.

Le choix du modèle et des variables explicatives

Trois principales familles de modèles de répartition modale sont recensées dans la littérature (Ortuzar et Willumsen, 2001): les modèles normatifs, les modèles logit et les modèles combinant les étapes de distribution et de choix modal. Les premiers n'étant quasiment plus utilisés, nous ne les détaillerons pas davantage. Les modèles combinant les étapes de distribution et de choix modal reposent sur l'analogie avec les modèles gravitaires pour déterminer les trafics et la répartition modale. Bien que de tels modèles aient été largement utilisés notamment en milieu urbain, ils sont aujourd'hui remplacés par des modèles désagrégés. A ce jour, à un niveau désagrégé, les modèles logit sont les plus fréquemment utilisés car reproduisant le plus fidèlement la répartition modale. Au-delà de leur cohérence avec la théorie micro-économique, ces modèles présentent une courbe de répartition en « S » qui est très proche de celle de la répartition résultant des données empiriques.

Présentation du modèle logit

Le modèle logit est un modèle à choix discret qui associe à chaque alternative $i=1 \dots n$ une utilité aléatoire U_i reflétant le niveau de satisfaction qu'elle procure à un individu. L'individu cherche à maximiser son utilité décrite de la façon suivante :

$$U_i = V_i + \varepsilon_i$$

Avec :

- U_i l'utilité aléatoire
- V_i l'utilité déterministe
- ε_i un terme aléatoire non observable

En raison du terme ε_i les modèles à choix discret sont probabilistes. La probabilité P_i qu'un individu opte pour l'alternative i , plutôt que j s'écrit :

$$P_i = \text{Prob}(U_i > U_j; \forall j = 1, \dots, n; j \neq i)$$

Le modèle logit repose sur trois hypothèses :

1/ Les parties aléatoires de l'utilité pour les différentes alternatives sont indépendantes entre elles et identiquement distribuées. Autrement dit, il n'y a pas de facteur non observé qui soit commun à deux alternatives (hypothèse d'indépendance). Par ailleurs, les termes d'erreurs sont distribués identiquement pour chacune des alternatives (hypothèse de distribution identique). Sous cette hypothèse et si les termes aléatoires suivent une loi de Gumbel de paramètres $(0, \mu)$ alors on peut écrire :

$$P_i = \frac{e^{\mu(V_i)}}{\sum_j e^{\mu(V_j)}}$$

2/ Il n'y a pas de variation de perception d'un attribut de la partie déterministe de l'utilité due à des caractéristiques non observées de l'individu. La perception des différentes variables de l'utilité est identique pour tous les individus.

3/ La structure de la matrice de variance-covariance du terme d'erreur est identique entre les alternatives. La variation due aux facteurs non observés est identique entre les individus.

Le problème de la définition des variables explicatives

Trois grands types de facteurs influencent le choix du mode :

1/ Les caractéristiques quantitatives et qualitatives de l'offre de transport comme le temps ressenti de déplacement, le coût monétaire « réel », l'offre et le coût de stationnement pour les variables quantitatives, ou bien comme le confort, la ponctualité, la sécurité pour les variables qualitatives

2/ Les caractéristiques du déplacement comme l'origine et la destination, le motif ou encore l'heure de la journée

3/ Les caractéristiques de l'individu et notamment sa possibilité à se déplacer en voiture (possession du permis de conduire et disposition d'un véhicule) ou son lieu de résidence, son revenu...

Présentation de la répartition modale selon les motifs

La répartition modale a été estimée grâce à un modèle logit à partir d'une approche agrégée par zone et non à l'échelle individuelle. Ortùzar et Willumsen rappellent ainsi que les modèles de choix modal peuvent être des modèles agrégés si l'on raisonne à l'échelle d'une zone ou bien désagrégés si l'on se place au niveau de l'individu. Le choix modal s'effectue entre deux alternatives : la voiture particulière et les transports en commun. La probabilité d'utiliser la voiture est formulée de la manière suivante.

Soit avec deux alternatives 1 et 2 :

$$P_{VP} = \frac{e^{\mu(V_1)}}{e^{\mu(V_1)} + e^{\mu(V_2)}} = \frac{1}{1 - e^{(V_{TGTC} - V_{TGVP})}}$$

Avec :

- $TGTC - TGVP$ la différence de coût généralisé entre les deux modes
- P_{VP} la probabilité d'utiliser la voiture particulière

L'utilité peut dépendre de nombreuses variables. En raison du caractère agrégé de notre approche et de l'absence de certaines variables individuelles, comme le revenu, nous estimons le choix modal à travers le temps de déplacement ressenti.

	Domicile - Autre	Domicile - Travail	Travail/Autre - Autre	Travail/Autre - Domicile	Travail/Autre - Travail
2 roues	14%	7%	12%	14%	8%
Marche	8%	2%	7%	7%	4%
TC	11%	5%	10%	10%	6%
VP	67%	87%	70%	69%	82%

Tableau 6 : répartition modale en fonction des motifs

Le Tableau 6 présente la part des déplacements réalisés en voiture particulière pour chacun des motifs, à l'issue de la première itération. La variable explicative étant le temps de déplacement pour chacun des motifs, il est logique de retrouver des répartitions modales similaires. Ainsi c'est la voiture qui est le mode le plus utilisé suivie par les « 2 roues », les transports en commun et la marche. Comme nous nous l'avons précisé, notre modèle est réalisé sur une aire d'étude dont une partie importante du territoire n'est pas (ou mal) desservie par les transports en commun, ce qui favorise l'usage de l'automobile.

8.4. L'affectation sur différents tronçons et la détermination des vitesses

L'affectation constitue la quatrième étape de la modélisation. Elle vise à répartir les trafics sur les différents tronçons à partir de la répartition Origine-Destination des déplacements selon les modes. Pour F. Leurent (Leurent, 1995), l'affectation, en simulant le choix d'itinéraire opéré par un conducteur automobile sur un réseau routier, correspond d'un point de vue économique à la rencontre entre la demande (les automobilistes) et l'offre (le réseau). L'affectation permet ainsi de simuler les coûts entre les différentes Origines-Destinations et d'envisager le niveau de congestion sur chacun des tronçons. Les vitesses et le niveau de saturation sont alors directement calculés par VISUM à partir de la charge et de la capacité de chacun des tronçons.

Les différents modèles d'affectation

Une grande variété de modèles d'affectation cohabitent. En dépit de leurs particularités, ces modèles reposent tous sur l'hypothèse de maximisation de l'utilité individuelle. Un individu choisit l'itinéraire qui lui procure la plus grande satisfaction. Ortùzar et Willumsen (Ortùzar et Willumsen, 2001) classent ces différents modèles au travers d'un double questionnement :

1. Le modèle intègre-t-il les contraintes de capacité de chaque tronçon ? La prise en compte de la capacité de chaque tronçon permet de déterminer le coût lié à l'utilisation de ce tronçon en fonction de sa charge et de sa vitesse « à vide ». Intégrer les contraintes de capacité se révèle intéressant en milieu urbain où la congestion de certains tronçons amène les usagers à modifier leur itinéraire.

2. Comment l'individu perçoit-il le coût associé à chaque tronçon ? Autrement dit, le choix de l'itinéraire se fait-il de manière déterministe ou probabiliste ? Un modèle stochastique repose sur deux hypothèses. D'une part, les usagers, en raison d'un manque d'information, n'ont pas une réelle connaissance du coût associé à chacun des arcs. Le choix d'itinéraire se fait alors aléatoirement. D'autre part, le modélisateur ne connaît pas tous les déterminants qui influencent l'usager sur son choix d'itinéraire. Un modèle déterministe considère à l'inverse que les individus connaissent l'ensemble des coûts associés aux différents itinéraires et qu'ils valorisent ces coûts de façon identique.

A partir de ce double questionnement découle la classification présentée dans le tableau 5 (d'après Ortùzar et Willumsen, 2001). L'ensemble des modèles présentés dans le

tableau 5 sont des modèles statiques. Il existe parallèlement des modèles dynamiques qui envisagent l'affectation en fonction des différentes périodes de la journée (De Palma et al., 1997).

	Modèle déterministe	Modèle stochastique
Pas de contrainte de capacité	Méthode du tout ou rien	Modèle stochastique pur (Dial, Burrell)
Contrainte de capacité	Equilibre de Wardrop	Méthode d'équilibre stochastique

Tableau 7 : Une classification des modèles d'affectation

Une procédure d'affectation à l'équilibre de Wardrop

Au regard de la classification précédente et de l'objectif de notre modèle qui est avant tout d'envisager la congestion sur chacun des tronçons afin d'en déduire la vitesse de circulation, le choix d'un modèle avec contrainte de capacité nous paraît logique. Se pose alors la question de l'utilisation d'une méthode d'équilibre de Wardrop ou d'une méthode d'équilibre avec utilité stochastique. Les modèles d'équilibre intègrent la congestion à travers une définition du coût du lien en fonction de sa charge. Comme nous le verrons ci-dessous, l'équilibre de Wardrop est un équilibre entre les différentes options : il y a égalité des coûts entre les différentes options utilisées par les usagers et, de ce fait, équilibre entre les différents usagers qui les empruntent (Wardrop, 1952). L'équilibre stochastique correspond à l'adéquation entre le coût prévu par les usagers et le coût réel d'un itinéraire : il y a équilibre pour l'usager entre son choix et le coût de l'option. Contrairement à l'équilibre stochastique, l'équilibre de Wardrop se focalise davantage du côté de l'offre (du réseau) et de son niveau de service (congestion) que du côté de la demande (l'usager pris individuellement). Là encore, notre souci n'étant pas de nous focaliser sur l'usager mais bien sur la congestion de l'infrastructure, l'équilibre de Wardrop nous apparaît comme le plus approprié des deux.

Revenons maintenant plus en détail sur l'équilibre de Wardrop (1952). Bonnel (Bonnel, 2004) explique l'équilibre de Wardrop de la façon suivante : « une affectation est à l'équilibre lorsque dans un réseau congestionné, toutes les routes utilisées sur une même Origine-Destination ont un coût équivalent et minimum tandis que toutes les autres routes possibles non utilisées ont un coût supérieur. Si cette condition n'est pas remplie, il existe au moins un conducteur qui a intérêt à changer d'itinéraire car il pourra trouver un itinéraire plus court ». Cet équilibre repose sur plusieurs hypothèses :

- Chaque usager dispose d'une information complète sur l'état du réseau et connaît l'ensemble des chemins possibles.
 - Les usagers ont une perception parfaite du coût de chacun des tronçons.
 - Les usagers sont tous identiques : ils ont tous la même perception des coûts.
 - Les usagers sont rationnels : ils empruntent l'itinéraire qui minimise leur coût.
 - Les usagers sont autonomes et choisissent leur itinéraire indépendamment des autres usagers.
- Le coût sur un lien dépend de la charge sur ce lien mais pas de la charge sur les autres liens.

La procédure d'affectation sous VISUM

La recherche de l'équilibre de Wardrop sous DAVISUM se fait suivant deux étapes. Une première étape appelée « étape d'itération interne » cherche à équilibrer les itinéraires par couple sur chaque relation origine-destination, par transfert des véhicules. Chaque transfert de véhicule s'accompagne du nouveau calcul du coût généralisé sur les tronçons considérés. Dès lors, dans la seconde étape appelée « étape d'itération externe » le modèle vérifie si, du fait de l'actualisation des temps généralisés, il est possible de trouver de nouveaux itinéraires avec un temps généralisé plus faible. Si tel est le cas pour une relation origine-destination au moins, un nouvel équilibrage du réseau est effectué.

8.5. Une procédure itérative

La première itération permet de déterminer le niveau de trafic routier (nombre de véhicules) sur chacun des tronçons du réseau routier. Cette estimation repose sur une distribution des déplacements et d'un choix modal à partir des temps de parcours en voiture particulière « à vide ». Une seconde itération, à partir de l'étape de distribution, est alors réalisée à partir des temps de parcours en charge.

L'étape de distribution souligne une augmentation du nombre de déplacements intra zone entre les deux itérations. Tandis que dans l'itération 1, 19% de déplacements étaient intra zone, l'itération 2 conclue à 43% de déplacements intra zone. En effet, dans l'itération 2, les temps en voiture particulière intègrent la congestion. L'accès aux zones « lointaines » devient donc plus coûteux et les usagers préfèrent des déplacements intra zone.

L'étape de choix modal fait apparaître un report modal de l'automobile vers les autres modes. La prise en compte du niveau de congestion automobile dans l'itération 2 se traduit par un report modal de l'automobile vers les autres modes avec, sur l'ensemble des déplacements, une baisse de 28% des déplacements VP, une hausse de 91% des déplacements TC, une hausse de 103% des déplacements MAP, une hausse de 61% des déplacements en deux roues. Ce report modal favorable aux modes plus lents (et notamment de la MAP) est à rapprocher de l'accroissement des déplacements intra zone.

La comparaison de nos résultats, en termes de choix modal, avec ceux de l'EMD 06 réalisée sur Lyon, notamment sur le périmètre du SCOT comparable à celui de notre zone d'étude, montre que nous obtenons des résultats comparables pour les parts modales de la VP (53% pour MOSART contre 49% pour l'EMD), des TC (16% pour MOSART contre 15% pour l'EMD). En revanche, nous constatons des écarts importants pour la part modale de la marche à pied sous estimée dans MOSART et des 2 roues surestimée dans MOSART. En revanche, la part totale marche à pied +2 roues est estimée entre 30% et 35% dans les deux cas. La différence entre les deux modes (marche à pied et 2 roues) s'explique par les vitesses utilisées dans MOSART : 4 km/h pour la marche et 12 km/h pour les 2 roues. Ce n'est pas la vitesse de marche à pied qui semble être à remettre en cause mais plutôt celle, trop élevée, des 2roues. En effet, nous avons retenu une vitesse « standard » incluant celle des vélos et des 2 roues motorisés. Notons toutefois que si l'on réduit les vitesses des « 2 roues » à 9.6 km/h (au lieu de 12km/h), la part des déplacements « marche à pied » n'augmente pas. Une réduction des vitesses « 2 roues » tend en revanche à accroître les parts modales de la VP et des TC.

Partie II - Simulations autour des mesures d'accessibilité : de l'analyse de l'existant à la réalisation de scénarios prospectifs

La première partie du rapport démontre comment l'outil MOSART se révèle performant pour envisager des calculs d'accessibilité. De par les fonctionnalités qu'il offre et le volume des bases de données qu'il traite, il nous permet ainsi de déterminer l'accessibilité à une échelle très fine en tenant compte des multiples possibilités offertes par les réseaux de transport, de la qualité de service et de la localisation des opportunités. La richesse d'un tel outil permet ainsi de le mobiliser dans le cadre d'aide à la décision, individuelle et collective pour une mobilité durable au travers, notamment, du prisme de l'accessibilité.

Cette seconde partie vise dès lors à mobiliser les indicateurs d'accessibilité gravitaire pour appréhender les termes de la concurrence modale puis élargir cette « analyse de l'existant » afin d'orienter les politiques de transport sur les arbitrages modaux à partir d'une réflexion à l'échelle spatiale. Après une analyse de la situation existante (section 1), cette partie propose ainsi de tester quelques pistes et scénarios dans une perspective de développement durable, sous une contrainte environnementale (Bertolini *et al.*, 2005) et financière (sections 2 et 3). Une quatrième section s'intéresse plus particulièrement à l'impact d'une nouvelle ligne de transport en commun en site propre sur l'accessibilité du quartier desservi et cherche ainsi à comprendre l'engouement de la population pour le tramway.

1. Analyse de l'accessibilité et de la concurrence modale en situation de référence

1.1. Cadre méthodologique et hypothèses de travail

Nous nous intéressons dans cette première section à l'analyse de la situation actuelle. La Figure se présente ainsi comme un triptyque illustrant successivement l'accessibilité au niveau d'emplois de 2006 en voiture particulière, en transports en commun et le différentiel d'accessibilité entre ces deux modes. Notons que les mesures d'accessibilité prennent en compte l'ensemble des emplois de l'aire urbaine et non uniquement les emplois du Grand Lyon.

Dans cette 2^{ème} partie, deux types de cartes sont ainsi présentés :

- Les cartes de « niveau d'accessibilité » illustrent l'accessibilité depuis chaque zone $i=1 \dots 4344$ à l'ensemble des autres zones de l'aire urbaine de Lyon. L'accessibilité gravitaire n'ayant pas d'unité de mesure, nous illustrons le niveau d'accessibilité de chaque zone en référence à l'accessibilité de la zone présentant le niveau d'accessibilité le plus élevé (localisée dans le quartier de la « Part-Dieu »).
- Les cartes de « différentiel d'accessibilité » sont mobilisées pour représenter, pour chaque zone, la « performance » du mode qui offre le meilleur niveau d'accessibilité ou bien pour illustrer, pour un mode donné, l'évolution du niveau d'accessibilité suite à la mise en place d'une politique de transport. En cartographiant le différentiel d'accessibilité entre automobile et transports en commun, l'objectif est double. Il consiste d'une part à mettre en évidence le mode le plus performant pour un scénario donné. La cartographie doit ainsi traduire pour chaque zone, qui de la voiture ou des transports en commun offre la meilleure accessibilité. Il vise d'autre part à illustrer l'écart d'accessibilité entre les deux modes pour évaluer dans quelle mesure l'un des modes « domine » l'autre. L'atteinte des objectifs associée à l'asymétrie et à la variété des formes de distribution influence la discrétisation. Ainsi les méthodes traditionnellement utilisées pour le découpage en classes ne permettent pas ici de tenir compte des objectifs et des types de distribution. Nous avons dès lors opté pour une méthode empirique à partir des seuils observés. Pour faciliter la lecture et les comparaisons, la même discrétisation sera adoptée pour l'ensemble des cartes de différentiel.

Les analyses porteront sur l'accessibilité en heure de pointe en voiture particulière et en transports en commun. Plusieurs raisons expliquent notre choix. Tout d'abord 70% des déplacements domicile-travail sont réalisés entre 7h et 10h le matin : l'évaluation de l'impact de la réorganisation du réseau de transports en commun pour les actifs doit donc se faire en considérant ces créneaux horaires. Ensuite, l'un des objectifs de la politique de transport est de favoriser le report modal vers les transports en commun, notamment pour limiter la congestion en heure de pointe. Enfin, dans un souci de clarté pour le lecteur, la redondance d'informations cartographiques liée à la présentation des résultats en heure de pointe et en heure creuse pourrait nuire à la lisibilité des cartes d'accessibilité. MOSART est toutefois en mesure de simuler également l'accessibilité en heure creuse.

1.2. Une accessibilité décroissante de la distance au centre

Considérant une vision globale de l'aire d'étude, le niveau d'accessibilité est décroissant avec la distance au centre de l'aire urbaine (correspondant au quartier de la Part-Dieu) et ce, quel que soit le mode considéré. La concentration des emplois dans ces quartiers centraux (avec une densité d'emploi au km² supérieure à 10 000) est un facteur essentiel pour expliquer de tels résultats. Les actifs résidant à proximité de ces emplois, ou bien pouvant y accéder rapidement, bénéficient donc d'une accessibilité meilleure que ceux résidant dans les zones plus éloignées en termes de temps de parcours. Tandis que les actifs localisés sur les communes de Lyon ou Villeurbanne⁷ bénéficient d'une accessibilité aux emplois supérieure à 60 en voiture et supérieure à 15 en transports en commun, ceux résidant hors du Grand Lyon bénéficient d'une accessibilité inférieure à 30 en voiture particulière (VP) et, dans la plupart des cas, à 15 en transports en commun.

1.3. Une structure de l'accessibilité disparate selon les modes

Toutefois, si l'accessibilité est meilleure au centre de l'aire urbaine que dans ses zones périphériques, un certain nombre de disparités propres à chacun des deux modes mérite d'être exposé. L'accessibilité en voiture particulière apparaît ainsi sous la forme de cercles concentriques au centre. Cette structure témoigne de la capillarité du réseau routier qui tend à homogénéiser les temps de transport et donc l'accessibilité dans toutes les directions. Si la présence de l'A6 tend à améliorer l'accessibilité VP des résidants du 9^{ème} arrondissement de Lyon (Nord-Ouest de Lyon), l'impact sur l'accessibilité routière des autres infrastructures autoroutières et du périphérique reste moins évident. Le niveau de saturation sur ces tronçons peut ainsi expliquer en partie ce constat et ce, bien que des niveaux de saturation comparables soient estimés sur l'autoroute A6. La capture d'écran Figure nous présente le niveau de saturation automobile sur chacun des tronçons du réseau routier calculé à partir du ratio suivant :

$$Sat = \frac{chge}{capacité * c} .$$

⁷ Dans un souci de clarté, les zones localisées sur les communes de Lyon ou Villeurbanne seront également appelées « zones centrales » dans la suite du rapport.

Avec

- Sat , le niveau de saturation
- $Chge$, la charge constatée
- *Capacité*, la capacité à vide
- c , un coefficient de pondération. Dans notre cas $c = 1$.

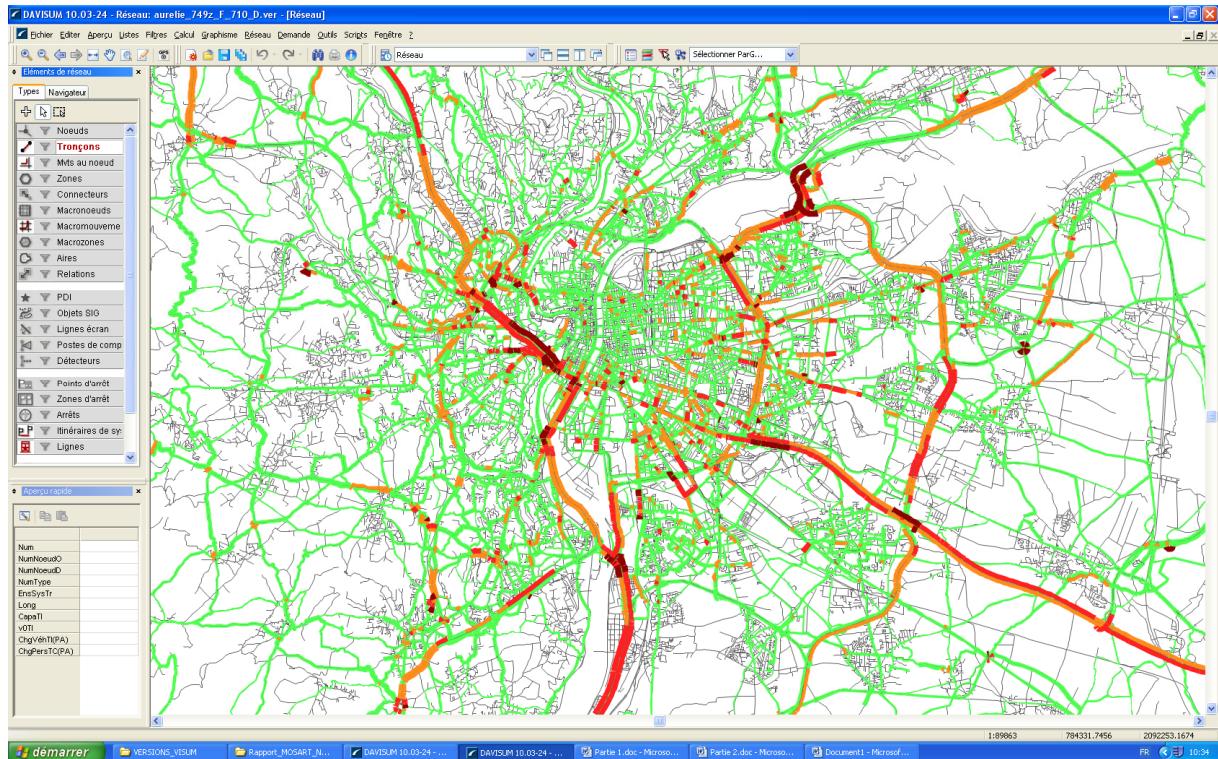


Figure 38 : Exemples de taux de saturation des tronçons routiers sur Lyon et sa périphérie

Un taux de saturation inférieur ou égal à 60 (en vert sur la carte) signifie que la circulation est fluide. Le trafic est dense si ce taux est supérieur à 60 et inférieur ou égal à 80 (en orange sur la carte). Au-delà de 80 (en rouge sur la carte) le trafic est saturé et « complètement » saturé lorsque ce taux dépasse 100 (en rouge foncé sur la carte). Les infrastructures autoroutières qui présentent, en heure de pointe du matin, des niveaux de trafic « au minimum » denses mais le plus souvent saturés n'offrent pas aux automobilistes des vitesses de déplacements supérieures à celles des infrastructures routières traditionnelles. Ainsi 30% des tronçons dont la vitesse « à vide » est supérieure ou égale à 110 sont saturés et 70% présentent un trafic dense en heure de pointe du matin.

Si, tout comme pour l'accessibilité aux emplois en voiture particulière, le niveau d'accessibilité en transports en commun (TC) tend à diminuer en fonction de l'éloignement au centre, l'évolution spatiale est plus irrégulière. La structure en cercles concentriques laisse place à une différenciation davantage comparable à des « doigts de gants », soulignant le double impact du réseau de transports en commun urbains et du réseau ferroviaire sur le niveau d'accessibilité aux emplois. Cette représentation de l'accessibilité s'explique tout d'abord par la présence de lignes de transports en commun urbains performantes. La présence d'une station de métro à l'intérieur, ou à proximité⁸, d'une zone lui garantit un niveau d'accessibilité supérieur à 30. Avec une vitesse de variant entre 16.5 km/h (pour la ligne C) et 31 km/h (pour la ligne D) et une fréquence en heure de pointe variant de 5 minutes 30 à 2 minutes, le métro est en effet, sur le Périmètre des Transports Urbains de Lyon le TCU le plus performant. A ce titre, les exemples des lignes de métro A et D sont particulièrement intéressants. Dans sa partie sud, la ligne de métro D offre au quartier de Mermoz-Pinel (8^{ème} arrondissement) un niveau d'accessibilité aux emplois comparable à celui de Grange-Blanche mais également à celui des quartiers situés dans la Presqu'Ile. De même, grâce à sa desserte par la ligne de métro A, le quartier Laurent Bonnevay à Villeurbanne bénéficie d'une accessibilité aux emplois en TC supérieure à 30. Il faut souligner que l'accessibilité offerte par la ligne A est couplée à la présence d'autres lignes de bus, certes moins performantes que les lignes de métro, mais permettant de relier cette station de correspondance à divers quartiers de Villeurbanne ou Vaulx-en-Velin ou encore à la ligne de tramway T3 en direction de Meyzieu. Nous observons toutefois que si la présence d'une ligne de métro, sans connexion avec d'autres modes TC, influe positivement le niveau d'accessibilité, il n'en va pas de même pour les lignes de tramway en zone urbaine (principalement Lyon et Villeurbanne). Malgré sa desserte par la ligne T1, l'accessibilité du campus de la DOUA reste inférieure à 30, notamment car, à son extrémité Nord, cette ligne n'est pas connectée à d'autres lignes de transports en commun.

A l'échelle urbaine, l'intermodalité entre des « lignes fortes » de type métro ou, dans une moindre mesure, des lignes de tramway et de bus semble ainsi être la clé d'un bon niveau d'accessibilité comme en témoigne les exemples précédemment évoqués. Ce constat est également valable à l'échelle des zones périurbaines où la présence de lignes de chemin de fer permettant de rejoindre les zones centrales influence significativement le niveau

⁸ On suppose que les individus rejoignent à pied les stations de transports en commun urbains.

d'accessibilité. Ainsi la Figure 9 met en évidence différentes zones (localisées au sein ou à l'extérieur du Grand Lyon) présentant un niveau d'accessibilité supérieur à 15 alors qu'elles ne sont pas (ou mal) desservies par un réseau de transports en commun urbain mais qu'elles bénéficient d'une connexion au réseau ferroviaire régional qui les relie à Lyon. Au sein du Grand Lyon, on observe ainsi les communes localisées dans le Val de Saône, au nord de Lyon qui présentent un niveau d'accessibilité supérieur à 15, voire pour certaines à 30. De même, hors du Grand Lyon, les zones en direction d'Ambérieu, de Bourgoin-Jallieu ou de Tarare présentent un niveau d'accessibilité supérieur à 15 alors que d'autres zones équidistances du centre de Lyon présentent elles une accessibilité en TC quasi nulle. La présence d'une offre de transport ferroviaire performante permet d'expliquer de tels niveaux d'accessibilité. L'exemple de la liaison ferrée Ambérieu-Lyon illustre qu'en période de pointe du matin, la fréquence des liaisons est comprise entre 10 et 30 minutes avec un temps de parcours variant de 25 à 40 minutes entre Ambérieu et Lyon Part-Dieu et de 45 minutes entre Ambérieu et Lyon Perrache. Outre la performance des lignes ferroviaire, il convient de signaler que, contrairement aux usagers des TCU qui rejoignent les stations à pied à une vitesse de 4 km/h, on suppose que les usagers des TER rejoignent les gares en voiture à une vitesse de 50 km/h. Le temps d'attente en gare et le temps de précaution sont supposés nuls (tout comme pour les déplacements en TCU). A l'issu de leur voyage en train, ces mêmes usagers ont la possibilité d'utiliser le réseau métro desservait la quasi-totalité des gares lyonnaises (à l'exception de Lyon Saint-Paul) et qui leur offre une vitesse de temps de trajet terminal pouvant atteindre 31 km/h.

1.4. Les termes de la concurrence modale

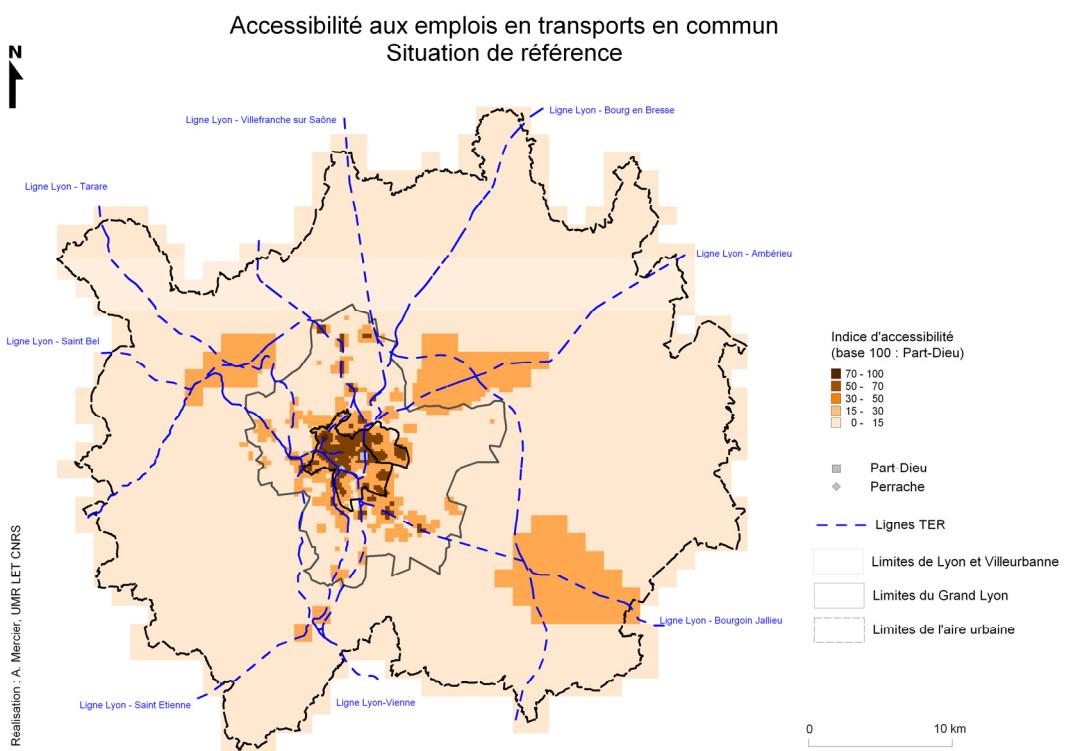
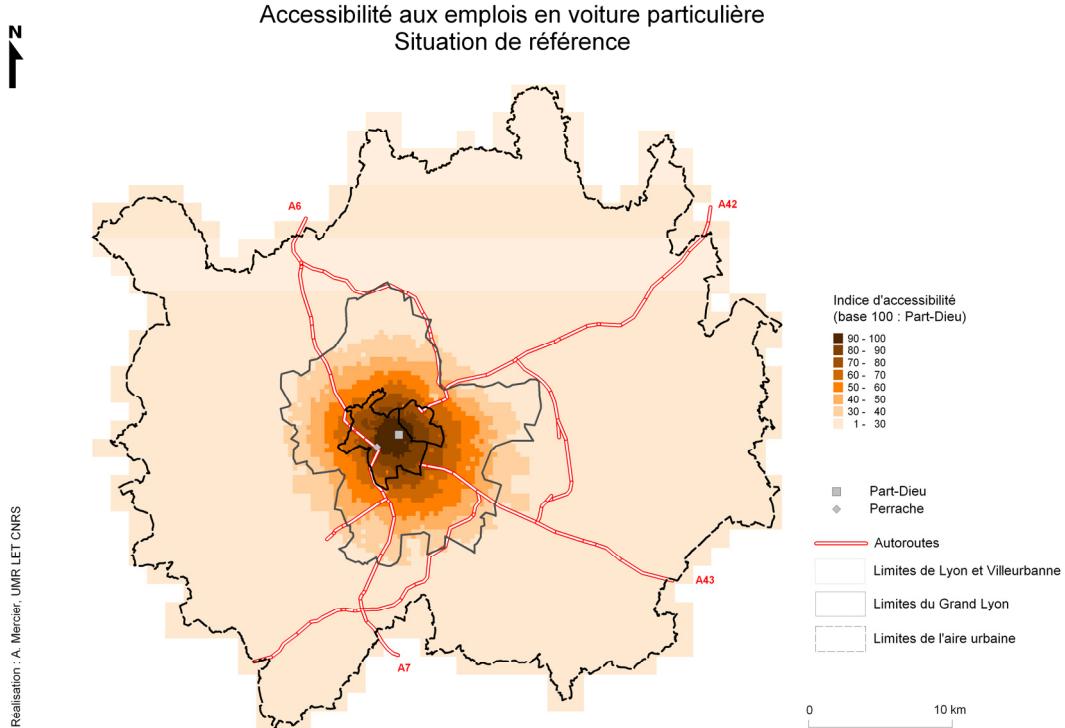
Nous appréhendons maintenant l'effet de la politique de transport et l'impact des différentes infrastructures de transport sur la compétitivité des transports en commun vis-à-vis de l'automobile.

A l'échelle de l'aire d'étude, l'automobile offre un niveau d'accessibilité largement supérieur aux transports en commun. L'ampleur du différentiel (supérieur à 4), est à relier à la structure du réseau routier, présent sur l'ensemble du territoire, et à celle des réseaux de transports en commun, localisés au sein du PTU et sur quelques itinéraires interurbains. Les zones pour lesquelles le différentiel en faveur de la voiture particulière est le plus élevé (c'est-dire supérieur ou égal à 2) sont indifféremment localisées dans les communes de Lyon et Villeurbanne, le Grand Lyon ou à l'extérieur de ce périmètre. On note que la quasi-totalité des zones du Grand Lyon présente une accessibilité meilleure en voiture particulière qu'en

transports en commun et ce malgré un réseau de transport en commun performant. Ce résultat s'explique en partie par l'irrigation du Grand Lyon par un réseau routier et autoroutier qui, malgré son niveau de saturation offre des niveaux de vitesse plus élevés que ceux des transports en commun urbains. Ainsi, malgré un taux de saturation en heure de pointe de 122%, la vitesse automobile sous le tunnel de Fourvière (l'un des tronçons les plus saturés du réseau) de 22 km/h est à peine inférieure à celle de la ligne D du métro. Notons qu'une prise en compte du coût de stationnement et du temps de recherche d'une place auraient sans doute modifié les résultats.

La plus grande performance de l'automobile dans les zones extérieures au Grand Lyon peut sembler plus intuitive dans la mesure où ces dernières bénéficient d'un réseau routier et autoroutier moins saturé qu'en milieu urbain (A6, A42, A43) et où toutes les zones ne sont pas connectées à un réseau de transport en commun (car elles sont soit distantes de plus de 500 mètres d'une station de TCU, soit distantes de plus de 10 km d'une gare). De plus, même lorsqu'elles sont connectées au réseau ferroviaire, celui-ci ne dessert pas toutes les zones de l'aire urbaine d'une part et la performance du réseau peut être moindre que celle de la voiture particulière d'autre part. Toutefois, nous constatons que les transports en commun génèrent un niveau d'accessibilité supérieur à celui de l'automobile pour 5% des zones. Or, celles-ci sont exclusivement localisées à l'extérieur du Grand Lyon. Ces zones se situent dans un périmètre de 10 kilomètres autour des dessertes ferroviaires qui, pour des liaisons avec Lyon-Villeurbanne offrent des coûts généralisés plus compétitifs que l'automobile. Ainsi, prenons la liaison entre Ambérieu et Lyon Part-Dieu : bien que le temps de transport soit estimé en moyenne à 34 minutes en train et à 24 minutes en voiture, le coût du déplacement, moins élevé en train (avec l'utilisation d'un abonnement mensuel) qu'en voiture permet de compenser cet écart.

A partir de cette situation « de référence », nous envisageons différents scénarios dans une optique de développement durable. Ces scénarios se traduisent par un accroissement du coût monétaire pour les automobilistes. Ils ne se veulent pas exhaustifs : d'autres alternatives pourraient, par exemple, s'intéresser au partage de la voirie entre les différents types d'usagers (voir par exemple, Héran, 2005).



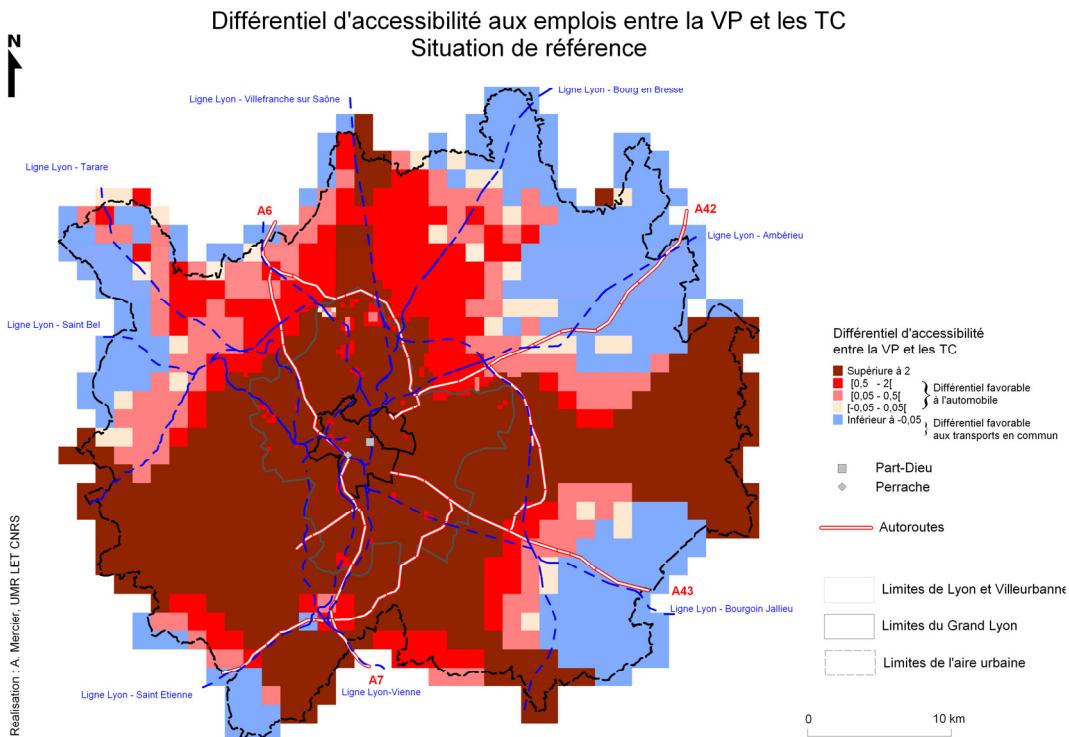


Figure 39 : Accessibilité en « situation de référence »

2. *Le péage urbain*

2.1. Présentation du péage urbain

Le péage urbain, en faisant payer à l'automobiliste l'utilisation de la voirie, peut constituer une première alternative pour réduire le différentiel d'accès entre la voiture particulière et les transports en commun. L'objectif de la simulation d'un péage urbain consiste à envisager l'impact d'un accroissement du coût monétaire des déplacements automobiles à destination des communes de Lyon et Villeurbanne sur le niveau de trafic automobile et par conséquent le niveau d'accès aux automobilistes. Le péage urbain envoie un signal-prix afin que les automobilistes dont le consentement à payer est inférieur au prix du péage ne circulent plus dans la zone permettant ainsi aux autres automobilistes de bénéficier de temps de parcours plus performants.

Un péage urbain peut prendre différentes formes spatiales (péage d'infrastructure, péage de zone, péage cordon) et temporelles (péage modulé ou non en fonction des périodes de la journée) selon l'objectif poursuivi (financement des infrastructures de transport ou réduction de la congestion automobile). Le contexte et les finalités de notre travail, qui visent

à tester différents scénarios dans une optique de développement durable, nous conduisent à simuler un péage en heure de pointe qui s'apparente à un péage de zone sur 62 km² et reprenant les territoires des communes de Lyon et Villeurbanne dont les frontières correspondent aux infrastructures de transports routières structurantes. La zone concernée par le péage s'étend sur la totalité des communes de Lyon et Villeurbanne, considérées comme la zone d'attraction principale de l'aire urbaine. Les déplacements dont le coût est majoré sont uniquement ceux à destination de Lyon ou Villeurbanne (même si l'origine de ces déplacements se trouve également dans le centre-ville) et non les déplacements dont une partie au moins s'effectue dans la zone concernée comme pour un péage de zone traditionnel. Le montant du péage est fixé à 3 € ce qui correspond à une tarification parmi les plus basses en vigueur et à celle adoptée par Raux et Souche dans une simulation de péage sur Lyon (Raux et Souche, 2004). Le montant du péage est relativement faible pour toucher le plus grand nombre d'automobilistes sans pour autant les inciter à se reporter sur les axes de circulation non concernés par le péage ou sur les modes alternatifs à la voiture. Un report modal trop important généreraient des gains de temps pour les automobilistes qui compenseraient le coût du péage et n'amélioreraient pas la compétitivité relative des transports en commun vis-à-vis de l'automobile. A l'inverse, un montant trop faible ne constituerait pas un véritable signal pour les automobilistes. En considérant une valeur du temps estimée à 11.4 € par heure, un péage de 3 € peut être compensé par un gain de temps de 16 minutes environ.

Le coût lié au péage urbain est introduit dans le modèle à quatre étapes (présenté dans la 1^{ère} partie) afin d'intégrer l'impact du péage sur la répartition modale entre transports en commun et voiture particulière puis sur l'affectation des trafics automobiles sur les différents tronçons.

2.2. Péage urbain et accessibilité automobile

L'introduction d'un péage urbain de 3 € se traduit pour les automobilistes par une perte d'accessibilité globale. Toutefois, sur l'ensemble du territoire la baisse reste relativement faible dans la mesure où elle ne dépasse pas les 5% et n'affecte pas l'ensemble des zones. A la lecture de la Figure , nous pouvons opérer un regroupement des zones en trois grandes classes, en fonction de leur distance au centre. Les zones localisées sur les communes de Lyon et Villeurbanne ainsi que dans la 1^{ère} couronne voient leur niveau d'accessibilité diminuer avec l'introduction d'un péage urbain. La baisse du niveau d'accessibilité des zones « centrales » est estimée entre 10 et 20 points tandis que celles des zones la 1^{ère} couronne est plus faible (entre -5 et -10 points). Seules quelques zones localisées à proximité du boulevard

Laurent Bonnevay à Villeurbanne ou au sud de Lyon ne connaissent pas de variation d'accessibilité automobile. Les zones périphériques de la 2^{ème} couronne du Grand Lyon tendent également à conserver un niveau d'accessibilité identique avec un différentiel estimé entre -5 et 5 points. L'ensemble du territoire hors Grand Lyon bénéficie d'une nette amélioration du niveau d'accessibilité en voiture suite à la mise en place du péage. Pour la quasi-totalité de ces zones, le différentiel d'accessibilité automobile est supérieur à 10%.

Plusieurs raisons peuvent être avancées pour expliquer ces résultats. En situation de référence, les zones localisées à l'intérieur de la zone de péage (soit sur les communes de Lyon et Villeurbanne) présentent les temps de parcours les plus faibles pour accéder d'une part à l'ensemble des autres zones et d'autre part à la majorité des emplois (la moitié des emplois de notre aire d'étude se situent sur les communes de Lyon et Villeurbanne). Dès lors, si l'on considère les liaisons internes à la zone de péage, imposer un péage équivalent à un accroissement du temps de parcours de 16 minutes pour des déplacements dont la distance est inférieure à 7 kilomètres et le temps de parcours à 12 minutes aggrave fortement le coût généralisé du déplacement. Avec la mise en place d'un péage urbain, le coût généralisé moyen d'un déplacement « zone centrale - zone centrale » augmente ainsi de 37%. Ces résultats soulignent ainsi qu'un péage urbain de 3€ ne se traduit pas par une baisse de trafic automobile suffisante, dans les zones centrales, pour générer un gain de temps qui compenserait le coût monétaire lié au péage. En raison de la faible surface concernée par le péage (au regard de celle de l'aire urbaine), les gains de temps procurés par une baisse de trafic sont inférieurs à 16 minutes. Notons que l'étude menée par Bureau et Glachant en 2008 sur un péage de zone de 23 km² à Paris aboutit à des conclusions similaires.

Les répercussions d'un péage urbain sont plus limitées pour les zones situées dans la 2^{ème} couronne du Grand Lyon. Pour ces dernières, la mise en place d'un péage pour accéder aux zones centrales n'impacte que très marginalement le différentiel d'accessibilité, celui-ci étant compris entre -5% et 5%. L'explication réside également dans la structure du coût généralisé des déplacements à destination de Lyon ou Villeurbanne : le prix du péage représentant une part relative du coût généralisé plus faible pour les déplacements depuis la 2^{ème} couronne que depuis la 1^{ère} couronne, son influence sur le niveau d'accessibilité est réduite. Il convient toutefois de rappeler qu'un différentiel d'accessibilité proche de 0 pour les zones de la 2^{ème} couronne ne signifie pas que le niveau d'accessibilité de ces dernières soit plus élevé que celui des zones centrales.

Si la baisse du niveau d'accessibilité des zones centrales et la constance de celui des zones de la 2^{ème} couronne est intuitif, l'accroissement de l'accessibilité automobile des zones extérieures au Grand Lyon peut paraître plus surprenant. Comment, en effet, des zones peuvent-elle bénéficier d'une baisse du coût généralisé automobile suite à l'introduction d'un péage urbain⁹ ? L'explication s'organise en trois temps. Tout comme précédemment, la part relative du prix du péage dans le coût généralisé est plus faible pour les déplacements « hors Grand Lyon - zones centrales » que pour les déplacements « zones centrales - zones centrales ». L'accessibilité automobile de ces zones localisées à plus de 15 kilomètres du quartier de la Part-Dieu (considéré comme le centre de notre aire d'étude) est relativement moins impactée que celle du reste du territoire. Toutefois, si le péage urbain n'accroît que très marginalement le coût monétaire, il ne permet en aucun cas de le réduire ! Dès lors, la baisse du coût généralisé est à relier à une diminution du coût temporel des déplacements et, plus particulièrement, au report modal consécutif à la mise en place du péage urbain. Le Tableau 8 illustre ainsi le report modal consécutif à la mise en place du péage. Tandis qu'en situation de référence 48 % des déplacements en heure de pointe du matin étaient réalisés en voiture, ils ne sont plus que 44% en situation de péage urbain. Ce report modal s'est opéré au bénéfice de des deux roues (motorisés et non motorisés) dont « la part de marché » s'est accrue de 5 points. L'analyse des trafics automobiles, met en évidence que les tronçons sur lesquels le trafic diminue le plus se situent en dehors du Grand Lyon. Dès lors, les déplacements « Hors Grand-Lyon – zones centrales », empruntant principalement les axes autoroutiers bénéficient d'un accroissement relatif des vitesses. Le coût temporel des déplacements s'en trouve alors diminué : la mise en place d'un péage urbain se traduit par une réduction 25% du coût généralisé des déplacements réalisés depuis les zones externes au Grand Lyon (toutes destinations confondues). L'accroissement des vitesses sur les axes autoroutiers impacte également le coût généralisé des zones localisées à proximité d'un échangeur (c'est-à-dire à moins de 5 kilomètres). Les zones situées le long de l'A7 au sud de Lyon, de l'A43 au sud-est l'est ou de l'A42 au nord-est bénéficient d'un différentiel d'accessibilité supérieur à 10% et ce, bien qu'elles soient localisées dans le périmètre du Grand Lyon. Ces exemples soulignent à quel point les niveaux de trafics automobiles peuvent, en impactant le coût temporel, modifier les niveaux d'accessibilité. Toutefois, il ne faut pas en surestimer les effets. Ainsi, le différentiel d'accessibilité positif des zones extérieures au Grand Lyon ne doit pas masquer

⁹ Le niveau d'emploi est supposé constant par rapport à la situation « de référence ».

leur faible niveau d'accessibilité en situation de référence (illustré Figure). Une baisse équivalente du coût généralisé (en valeur réelle) se traduira par un différentiel d'accessibilité d'autant plus élevé que le niveau en situation de référence est faible.

	Situation de référence	Péage urbain
Voiture particulière	48%	44%
Transports en commun	19%	18%
Marche à pied	13%	13%
Deux roues	20%	25%
Total	100%	100%

Tableau 8 : répartition modale des déplacements

2.3. Péage urbain et concurrence modale

Le péage urbain, en aggravant le coût généralisé des déplacements automobiles, permet de réduire le différentiel d'accessibilité entre la voiture particulière et les transports en commun. Avec un différentiel estimé à 4.3 sur l'ensemble de l'aire d'étude (contre 4.6 en situation de référence), l'automobile demeure de loin le mode offrant le meilleur niveau d'accessibilité. La représentation cartographique du différentiel d'accessibilité met en évidence une structure en cercles concentriques. La représentation cartographique du différentiel d'accessibilité suite à la mise en place du péage est une copie quasi conforme de la représentation cartographique du différentiel sans péage (comparaison des Figure et Figure). Dans les deux situations, plus de 90% des zones présentent un niveau d'accessibilité en voiture particulière supérieur à celui des transports en commun. En outre, la mise en place du péage urbain tendrait à réduire la performance relative des transports en commun. Tandis qu'en situation de référence plus de 5% des zones présentaient un différentiel favorable aux modes collectifs, elles ne sont plus de 2% avec l'introduction du péage urbain. Seules les zones situées à la frontière de l'aire d'étude gardent une accessibilité meilleure en transports en commun. La bonne performance des liaisons ferroviaires « hors Grand Lyon-zones centrales » en situation de congestion routière se trouve minorée par la baisse de trafic automobile et les gains de temps qui en résultent.

Le péage urbain, dans cette configuration géographique et tarifaire ne constitue pas un outil capable de renverser les termes de la concurrence modale au niveau de l'aire d'étude. Malgré l'apparition du péage, le coût monétaire supérieur pour les automobilistes est compensé par des temps de transport plus faibles que pour les usagers des transports en

commun. La baisse du trafic automobile (la part de la voiture baisse de 4 points avec l'introduction du péage) et la baisse de la congestion qui en résulte pourrait expliquer le fait que les automobilistes persistant sur le réseau routier conservent une accessibilité meilleure que les usagers des transports en commun mais la payent au prix fort. On retrouve alors une conclusion en accord avec un des objectifs possibles des péages urbains à savoir diminuer la congestion et offrir aux automobilistes avec un fort consentement à payer des temps de transports faibles et fiables.

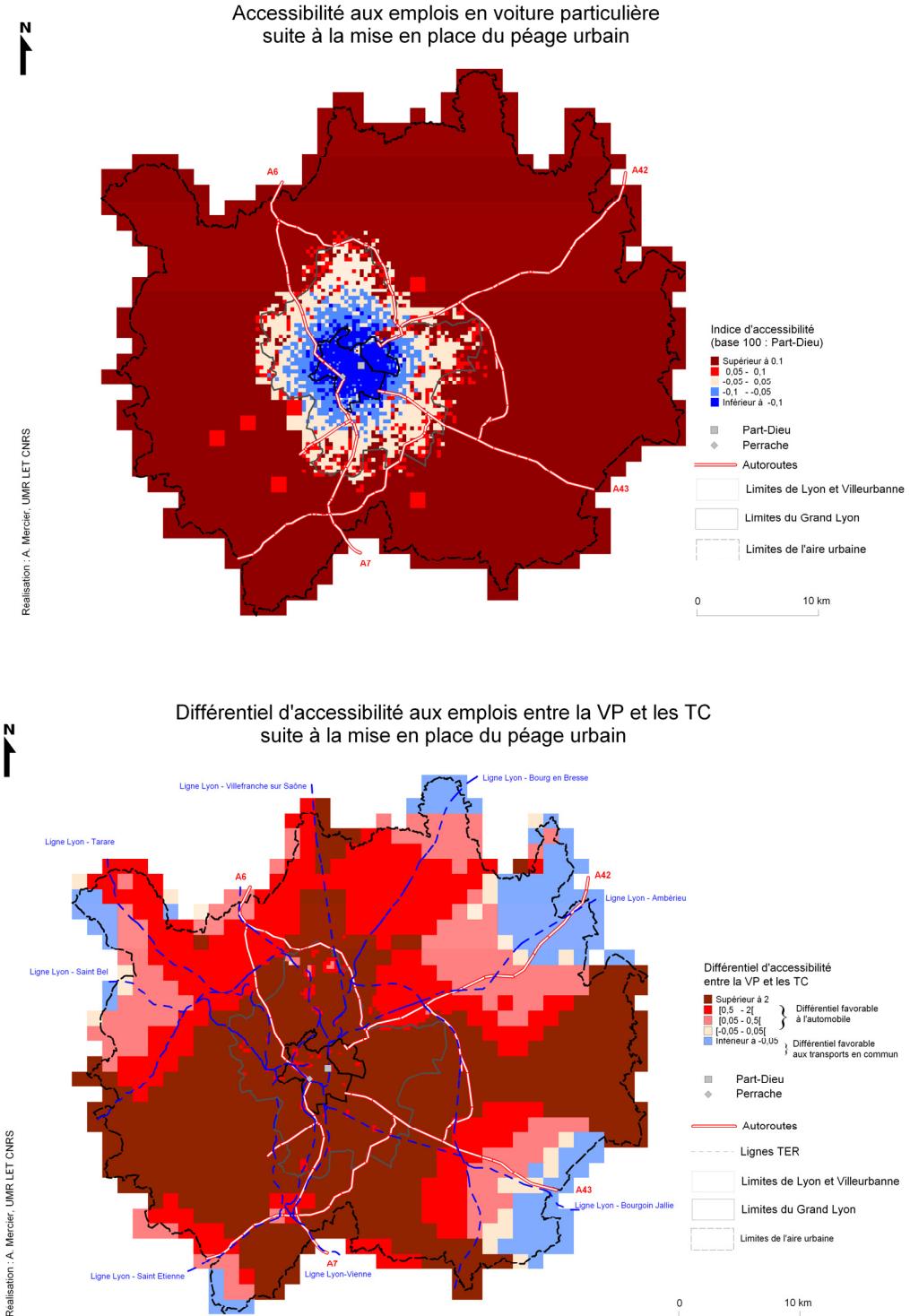


Figure 40 : Accessibilité suite à la mise en place d'un péage urbain

3. La taxe sur l'usage de l'automobile

Cette troisième section ne s'intéresse plus uniquement à la composante temporelle du déplacement mais s'attache principalement à faire varier le coût monétaire des déplacements automobiles au travers de l'instauration d'une taxe sur l'usage de l'automobile.

3.1. La taxe carbone

Une première simulation analyse les impacts de l'instauration d'une taxe carbone sur l'accessibilité des automobilistes. Cette dernière, applicable au 1^{er} janvier 2010, vise notamment à taxer la consommation de gaz, de pétrole et de charbon afin d'inciter les ménages et les entreprises à changer leurs comportements en matière de consommation d'énergie (source : <http://www.developpement-durable.gouv.fr/>). A partir d'une estimation de la tonne de Co2 à 17€, la taxe carbone se traduit « concrètement » dans le secteur des transports par une hausse du prix du carburant de 4 centimes d'euros par litre d'essence et de 4,8 centimes par litre de gasoil. Cette taxe fait l'objet d'une compensation financière, 85 euros en moyenne par foyer, que nous n'intégrons pas dans nos calculs.

Sous l'hypothèse d'un parc automobile individuel composé à 63% de véhicules diesel et à 37% de véhicules essence, nous estimons la taxe à 4,5 centimes par litre de carburant. Pour une consommation de 4,9 litres au 100kilomètres et un coût « initial » du carburant à 1,27€, le coût du carburant s'élève à 6,45 € au 100 kilomètres, contre 6,25 en situation de référence. En considérant une structure des coûts par ailleurs constante au regard de cette situation de référence, la taxe carbone n'impacte pas de manière significative le coût moyen au kilomètre qui reste à 49 centimes. Le coût marginal augmente lui très légèrement passant de 14 à 15 centimes. Les composantes monétaires et temporelles de l'accessibilité s'en trouvant inchangées, les automobilistes conservent un niveau d'accessibilité identique à celui de la situation de référence.

La taxe carbone, calculée à partir d'une tonne de Co2 à 17€, n'est ainsi pas suffisante pour modifier à elle seule la structure du coût généralisé des déplacements automobiles et favoriser des pratiques de déplacement moins consommatrices d'énergies fossiles. Dès lors, pour investiguer davantage les possibles effets d'un accroissement du coût de l'usage de l'automobile, sous quelque forme que ce soit, nous simulons un scénario « extrême ».

3.2. Une taxe kilométrique « extrême »

L'idée est ainsi de mettre en place une taxe sur l'usage de l'automobile de sorte que le prix du carburant soit plus que doublé par rapport au prix plafond de juin 2008. Le litre du carburant qui a atteint son plus haut niveau à 1,3 € le litre (de gasoil) serait, dans notre simulation, facturé aux automobilistes à 3€ le litre.

Nous considérons que cette taxe est progressive et qu'elle n'influence pas les choix de déplacements des automobilistes. Autrement dit, dans un premier temps, les automobilistes ne diminuent pas leur kilométrage annuel ni ne prennent en considération ce coût monétaire dans la distribution de leurs déplacement ou leur choix modal. Cette hypothèse « forte » nous permet ainsi de passer outre un report modal de l'automobile vers les modes alternatifs qui, en générant des gains de temps, pourrait, comme dans le cas du péage urbain, améliorer l'accessibilité automobile. De plus, les capacités des transports en commun n'étant pas intégrées dans cette version de MOSART, nous ne pouvons envisager la faisabilité technique d'un accroissement de la demande sur les transports collectifs. Sous cette hypothèse, un prix du litre de carburant (essence et gasoil confondus) de 3€ se traduit par un coût monétaire moyen au kilomètre de 0,58€ (soit un accroissement de 18% par rapport au coût en situation de référence) et un coût marginal de 0,23€ (soit un accroissement de 64%). Un niveau de taxe moins élevé pour obtenir un prix du litre de carburant à 2,5€ se traduirait par un coût moyen de 0,55€ (soit un accroissement de 12%) et un coût marginal de 0,2€ (soit un accroissement de 43%).

L'impact de cette taxe « extrême » sur le différentiel d'accessibilité entre automobile et transports en commun est illustré par la Figure . Si la représentation cartographique de ce différentiel présente une structure comparable à celle observée en situation de référence (comparaison des Figure et Figure), elle traduit néanmoins une dégradation du niveau d'accessibilité automobile. Tandis que le différentiel d'accessibilité était estimé en situation de référence à 4,6, l'accroissement du prix du litre de carburant permet de ramener ce différentiel à 4,14. Les zones pour lesquelles l'impact a été le plus fort sont localisées dans une 1^{ère} couronne à l'extérieur du périmètre du Grand Lyon, principalement dans le secteur nord-est de l'aire d'étude ainsi que le secteur nord-ouest. Un fort accroissement du prix du carburant se traduit, pour ces zones, par une accessibilité meilleure en transports en commun qu'en voiture particulière. Le réseau ferré régional « performant », tant en termes de cadence que de vitesse, qui les dessert explique ce résultat. Toutefois, moins d'une centaine de zones voit les termes de la concurrence modale s'inverser. Malgré un doublement du prix du

carburant, la répartition des zones en fonction du niveau d'accessibilité reste identique à la situation de référence : plus 90% des zones présentent un différentiel favorable à l'automobile, 1% présentent une accessibilité comparable et moins de 8% un différentiel favorable aux transports en commun. Dans les différentes simulations réalisées et principalement dans le cadre d'une hausse du coût monétaire, les zones présentant un différentiel favorable aux transports en commun sont toujours situées à l'extérieur du Grand Lyon. Or, ce dernier dispose d'un réseau de transports en commun qui semble performant. Comment, dès lors, expliquer que les zones irriguées par un réseau de transports en commun urbains présentent un différentiel toujours favorable à l'automobile ? Au-delà de la structure même des coûts de déplacements automobiles qui n'intègrent pas les coûts monétaire et temporel liés au stationnement, l'explication réside dans la portée du réseau urbain et notre périmètre d'étude. De fait, notre aire d'étude qui est l'aire urbaine de Lyon s'étend bien au-delà des limites du périmètre des transports urbains de l'agglomération lyonnaise et la portée des déplacements dépasse bien souvent la zone couverte par les transports urbains. Depuis Lyon ou Villeurbanne, ce sont ainsi plus de 60% des liaisons qui ne peuvent être réalisées intégralement en transports urbains. Un périmètre d'étude restreint au Grand Lyon, intégralement desservi par les transports en commun, et non à l'aire urbaine nous aurait conduit à des résultats d'accessibilité plus favorables aux transports en commun dans les zones centrales, dans la mesure où la quasi-totalité des liaisons pourraient être réalisées en transports en commun, comme en témoignent de précédentes simulations avec l'outil MOSART Version 2. Par ailleurs, comme nous l'avons mentionné précédemment, malgré son niveau de congestion, le réseau routier et autoroutier offre des vitesses de déplacement (calculées à partir du temps en véhicule) au moins comparables à celle des transports en commun urbains.

L'instauration d'une taxe sur le carburant, qui aboutirait à un prix au litre de 3€, offre des résultats plus favorables aux transports en commun que la mise en place d'un péage urbain pour accéder aux communes de Lyon et Villeurbanne. Toutefois, si le différentiel d'accessibilité entre les deux modes se réduit, il reste supérieur à 4. Dès lors, toujours dans l'optique de simulations hypothétiques et « extrêmes », nous envisageons un couplage entre un péage urbain et un prix du litre de carburant à 3€.

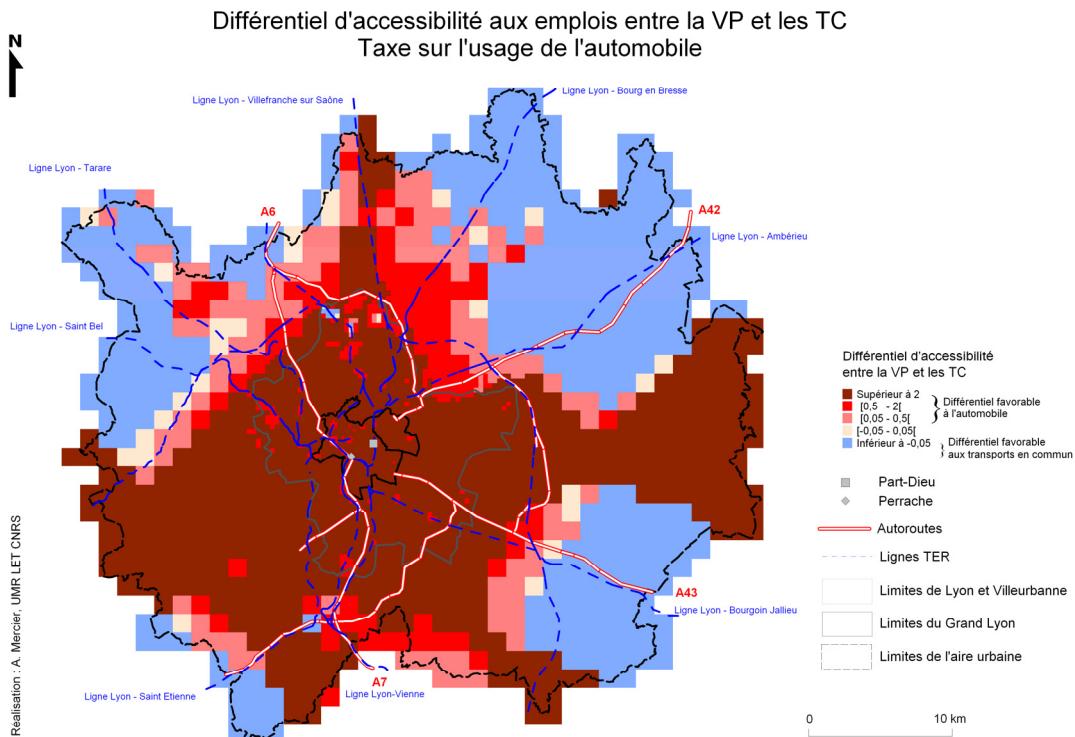


Figure 41 : Différentiel d'accès aux emplois entre la VP et les TC

3.3. Couplage entre péage urbain et taxation automobile

La mise en place d'un péage urbain associé à un prix du carburant de 3€ le litre permet de réduire le différentiel d'accès à 3.6 (contre 4.6 en situation de référence). Toutefois, si à l'échelle de l'aire d'étude les transports en commun gagnent en compétitivité relative, la voiture reste le mode offrant la meilleure accessibilité aux emplois. La représentation cartographique du différentiel d'accès dans le cadre d'un couplage péage et taxe est sensiblement identique à celle prévalant avec l'instauration de la taxe « seule » (cf. Figure). Il est toutefois intéressant de constater que l'association des deux politiques permet de ramener le différentiel d'accès à moins de 0.5 pour les quartiers bénéficiant d'une double desserte métro et train express régional tels Perrache, la Part-Dieu ou bien Vaise (au nord de Lyon). De même les quartiers à proximité des gares du nord du Grand Lyon présentent un différentiel favorable aux transports en commun. La taxe automobile, associée ou non à un péage urbain, ne fait que renforcer l'accès en transport en commun des zones qui, en situation de référence, présentaient un différentiel proche de 0. Une dégradation du coût monétaire, même importante, ne peut, à l'échelle de l'aire urbaine, renverser les termes de la

concurrence modale sans une offre de transports en commun performante irriguant l'ensemble du territoire.

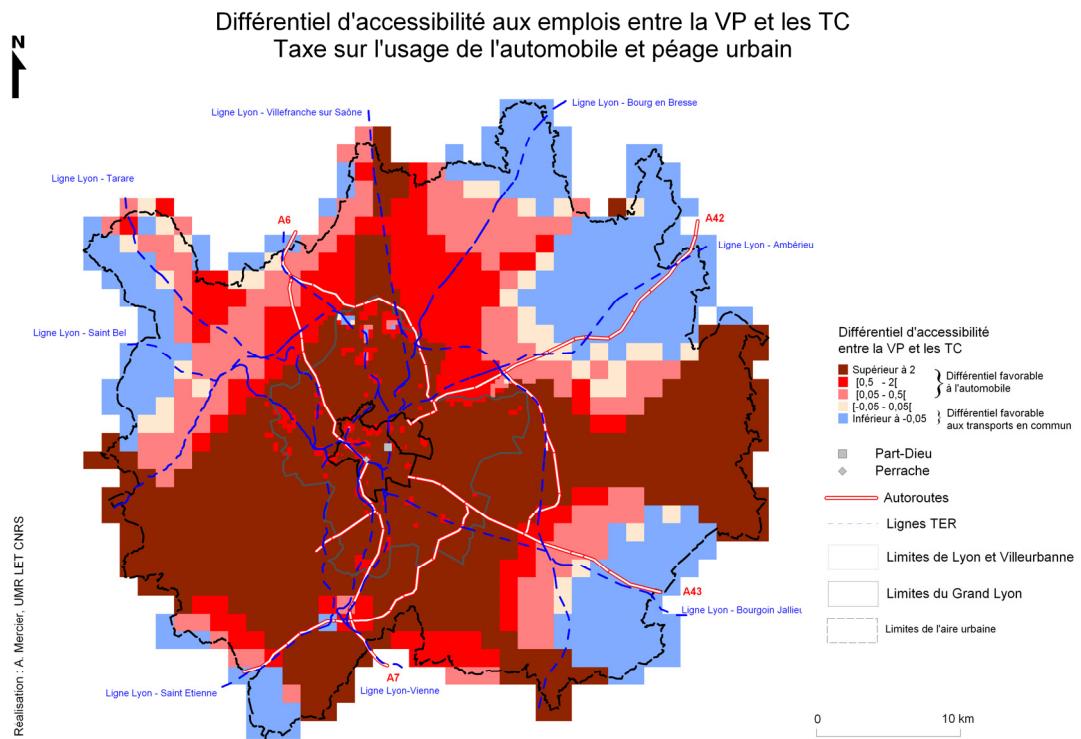


Figure 42 Différentiel d'accès aux emplois avec une taxation de l'usage de l'automobile et un péage urbain

4. Une analyse de l'attractivité par l'accessibilité : l'exemple du tramway T4

Après deux simulations de politiques visant à augmenter le coût monétaire des déplacements automobiles, nous nous intéressons maintenant à l'offre de transport en commun. Nous consacrons ainsi cette section à l'évaluation de l'impact du tramway T4 sur le niveau d'accessibilité des usagers des transports en commun pour expliquer l'engouement observé à l'égard de cette ligne.

4.1. Présentation du projet T4

La ligne de tramway T4, inaugurée le 20 avril 2009, s'inscrit comme un axe fort dans la desserte du sud-est de l'agglomération lyonnaise. Une liaison de 10 km permet ainsi à cette nouvelle ligne de tramway de relier le Jet d'Eau, place Mendès-France dans le 8^{ème} arrondissement de Lyon au Pôle Hospitalier de Feyzin en passant par Vénissieux (Gare, Hôtel de Ville, Minguettes). Avec 18 stations, le tramway emprunte des axes structurants tels le boulevard des Etats-Unis et offre des connexions performantes avec l'ensemble du réseau de transports en commun urbain mais également avec le réseau TER. Le tramway T4 est ainsi relié, à son terminus « Jet d'Eau Mendès-France », avec le tramway T2 tandis que sa station « Gare de Vénissieux » permet une interconnexion avec la ligne D du métro ou encore le réseau ferré régional. Deux parcs relais sont également présents le long du T4. L'arrivée de cette nouvelle ligne de tramway s'accompagne d'une restructuration du réseau de surface. Plus de 15 lignes seront ainsi modifiées avec une suppression des itinéraires des bus parallèles pour éviter les doublons ainsi qu'une réorganisation des lignes de bus pour faciliter la gestion des correspondances au terminus « Jet d'Eau Mendès-France ».

Ce projet de tramway s'inscrit certes dans une logique d'accessibilité (deux des objectifs de cette ligne T4 sont la création d'une liaison rapide entre Feyzin, Vénissieux et le 8^{ème} arrondissement de Lyon et l'amélioration de la desserte du quartier des Etats-Unis) mais il a également (et avant tout ?) vocation à être un outil d'aménagement urbain en dynamisant le quartier des Etats-Unis et en accompagnant la restructuration du quartier des Minguettes à Vénissieux (source : SYTRAL, Dossier de presse : T4 la ligne verte et fleurie, 2009). Dans un périmètre de 300 m autour des 10 km de la ligne, sont ainsi localisés plus de 33000 habitants et 6 200 emplois.

4.2. Une accessibilité cohérente avec les objectifs annoncés

Afin de mener une évaluation du tramway T4 cohérente avec les objectifs annoncés de la ligne qui vise à « désenclaver » le quartier des Etats-Unis ainsi que les communes de Vénissieux et de Feyzin, nous mesurons l'accessibilité aux emplois depuis les zones sus-citées à l'ensemble du territoire situé sur les communes de Lyon et Villeurbanne. Nous posons l'hypothèse que la mise en service du tramway T4 n'a pas modifié le nombre d'emplois et leur localisation sur le territoire.

A l'échelle de l'ensemble du territoire étudié, l'arrivée du tramway se traduit par un accroissement du niveau d'accessibilité de plus de 150%. Comme illustré par la Figure la totalité des zones se trouvant sur l'itinéraire du tramway bénéficie d'un différentiel supérieur à 0.5. Ce n'est pas tant l'arrivée du tramway qui impacte le niveau d'accessibilité que sa fréquence et sa vitesse supérieures à celles du bus n°36 qui desservait auparavant le même itinéraire que le tramway sur la quasi-totalité du tracé (seul le tronçon Feyzin-Darnaise n'était pas emprunté par le bus 36). Ainsi, le tramway présente en heure de pointe une fréquence de 7 minutes et une vitesse de 20 km/h tandis que le bus 36 offrait une fréquence de 10 minutes et une vitesse de 14 km/h. Le tramway présente en outre un niveau de vitesse et de fréquence indépendants du niveau trafic la contrairement au bus, inséré dans la circulation automobile. Soulignons également l'impact de la restructuration du réseau de surface sur le niveau d'accessibilité. En réorganisant la desserte du territoire et en améliorant les correspondances avec les tramways T2 et T4 et le métro D, les lignes de bus sont également à la source de gains d'accessibilité. Il est intéressant, à ce propos, de constater que les gains d'accessibilité sont relativement plus faibles dans un rayon de 500 mètres autour de la station « Gare de Vénissieux » que sur le reste de l'itinéraire du tramway. En étant préalablement desservie par la ligne D du métro, cette zone retire moins de bénéfices de l'arrivée du tramway que les zones voisines pour atteindre Lyon et Villeurbanne. Si les emplois localisés à proximité de la station Jet d'Eau Mendès France ou bien de la Part-Dieu sont plus accessibles (grâce à la correspondance T4 - bus 53), le niveau d'accessibilité de la Presqu'Ile reste lui identique car principalement lié à la desserte du métro D.

Le quartier Jet d'Eau Mendès France ainsi que celui du Bachut (localisés dans le 8^{ème} arrondissement de Lyon) retirent des gains d'accessibilité suite à l'arrivée du T3. Là encore, ce différentiel positif s'explique par une meilleure desserte entre ces zones et le quartier de la Part-Dieu grâce à la restructuration de la ligne de bus 53 à destination de la Part-Dieu et à sa connexion avec le réseau tramway.

Si la quasi-totalité des zones présentent un différentiel d'accessibilité positif, il convient toutefois de mettre en évidence celles pour qui l'arrivée du tramway est synonyme d'une diminution du niveau d'accessibilité. Tout comme précédemment, ce n'est pas tant le tramway qui est « montré du doigt » mais la restructuration de réseau de bus qui ne dessert désormais plus ces zones. Soulignons toutefois qu'il s'agit dans tous les cas de zones peu ou pas habitées localisées dans des zones industrielles ou à proximité du Rhône.

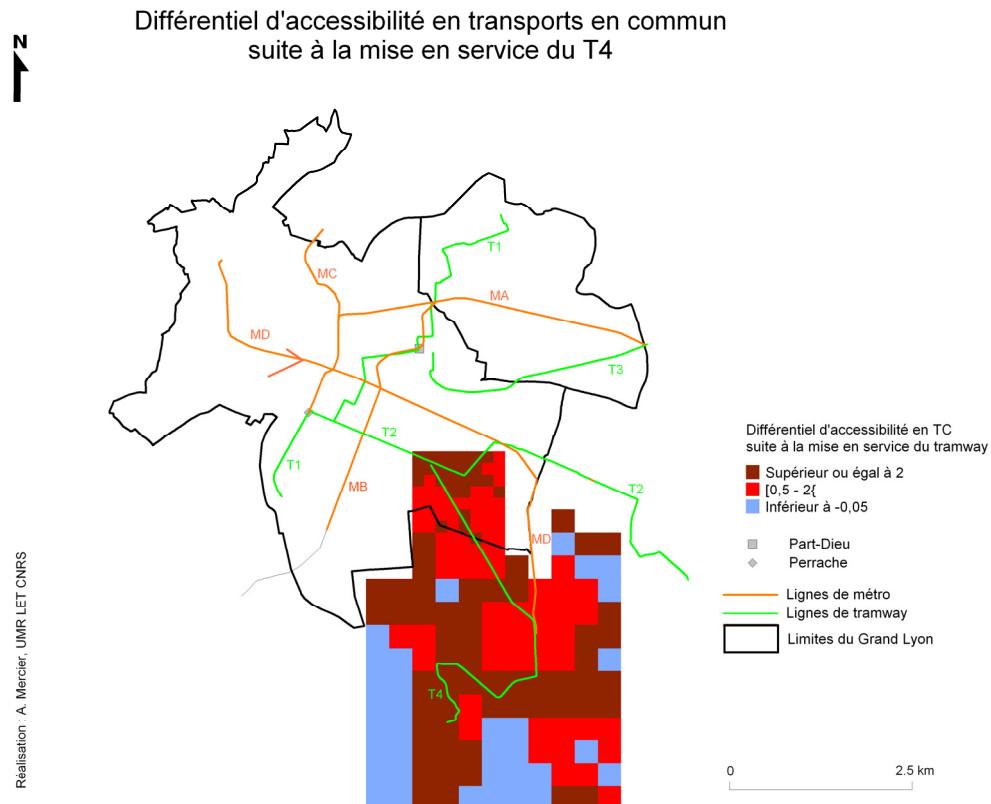


Figure 43 : Différentiel d'accessibilité en transports en commun suite à la mise en service du tramway T4

4.3. Pourquoi un tel engouement pour le tramway T4 ?

Dès sa mise en service au printemps 2009, le tramway T4 a connu un véritable succès auprès des usagers. La fréquentation de cette ligne s'est avérée supérieure aux prévisions de trafics du Sytral anticipant un nombre de voyageurs quotidiens proche de 22 000 sur le T4. Dès lors, se pose la question de savoir si cette hausse de fréquentation est seulement à relier avec la hausse du différentiel d'accessibilité (en transport en commun) réellement observé quand, dans le même temps l'accessibilité à Lyon et Villeurbanne est de 113% supérieure en

voiture particulière qu'en transports en commun¹⁰. A l'inverse, cette hausse de fréquentation du T4 peut-elle être expliquée par des facteurs davantage « psychologiques » de perception du tramway comme un mode de déplacement fiable, rapide et confortable ? En d'autres termes, nous cherchons à savoir s'il n'y aurait pas un coefficient « attracteur » du tramway qui pourrait expliquer ce niveau de fréquentation.

La construction de notre modèle en quatre segments de demande (VP, TC, Marche et 2 roues) ne nous permet pas, à ce jour, de distinguer la perception du temps de déplacement en véhicule « bus » de celle en véhicule « tramway » et d'évaluer le coefficient attracteur du tramway par rapport aux bus. Toutefois, nous pouvons évaluer, de manière plus générale, un coefficient attracteur TC par rapport à l'automobile¹¹. Notre idée serait ainsi la suivante : alors que, malgré l'arrivée du T4, l'automobile offre une accessibilité nettement supérieure à celle des transports en commun, pourquoi les usagers utilisent-ils davantage les transports en commun pour se rendre à Lyon et Villeurbanne. Autrement dit, quelle est la perception du temps de déplacement en véhicule de transport en commun qui permettrait de d'égaliser les niveaux d'accessibilité en voiture particulière et en transports en commun depuis le quartier des Etats-Unis ainsi que les communes de Vénissieux et de Feyzin vers Lyon et Villeurbanne. Sachant que le tramway et le métro sont les deux modes principalement utilisés pour de telles liaisons, à travers le coefficient attracteur TC nous évaluons principalement le coefficient attracteur des transports en commun en site propre.

Le coefficient attracteur des TC est estimé à 25% du temps de déplacement réel en transports en commun. En d'autres termes, pour égaliser le niveau d'accessibilité global (pour l'ensemble du territoire le quartier des Etats-Unis, Vénissieux et Feyzin) en voiture particulière et transports en commun, en considérant l'offre de transports en commun actuelle, le temps de déplacement « en véhicule » devrait être perçu à 25% de son niveau actuel. Obtenir de tels résultats semble irréaliste tant cela passe par des importants gains de confort et de régularité (Coindet, 1998). En outre, le niveau de charge, la sécurité, la propreté dans le véhicule sont autant d'élément de qualité de service pris en compte par le *London Transport* mais dont la valorisation consiste davantage à ne pas pénaliser le temps en véhicule perçu (en lui attribuant un niveau de 1) qu'à le réduire (avec un coefficient inférieur à 1) ! La Figure

¹⁰ Elle était 400% supérieure avant la mise en service du tramway T4.

¹¹ Nous posons implicitement l'hypothèse forte que tous les usagers des transports en commun ont une voiture à disposition (en tant que conducteur ou passager).

illustre que la réduction du temps de déplacement perçu impacte principalement le territoire desservi par le tronçon sud du T4 dont l'accessibilité devient alors meilleure en transports en commun qu'en voiture particulière. L'explication réside dans le fait que le temps de déplacement depuis ce territoire vers les communes de Lyon et Villeurbanne est relativement plus élevé que le temps de déplacement depuis le quartier des Etats-Unis. L'impact d'une réduction du temps de déplacement perçu en TC est d'autant plus fort que ce temps de déplacement est élevé. Les conditions de déplacement et, principalement, de confort se révèlent ainsi d'autant plus cruciales que les temps de déplacement sont élevés.

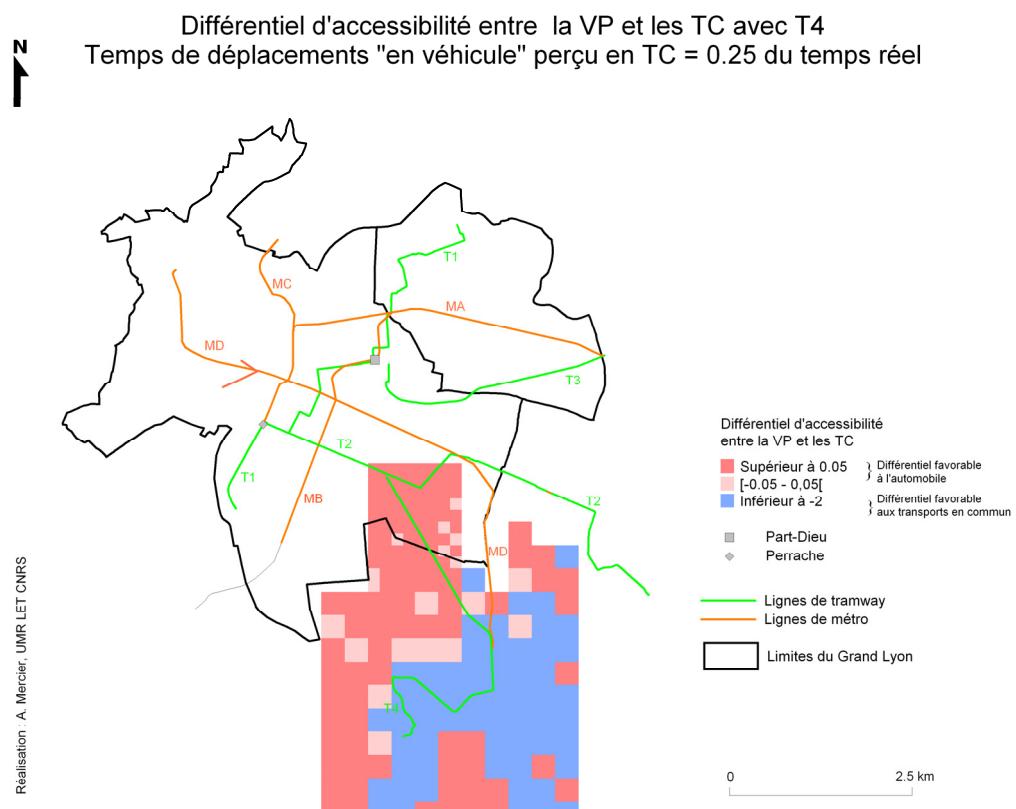


Figure 44 : Différentiel d'accessibilité entre la VP et les TC avec le T4 et un temps de déplacement perçu à 25% du temps réel

Conclusion

Les contraintes liées à l'accroissement de l'(auto)-mobilité, aux problèmes de congestion (*in fine* de pénurie de l'espace urbain) et d'émissions de gaz à effet de serre qui en résultent sont aujourd'hui unanimement reconnues. Elles obligent d'une part les élus à repenser les politiques de transport ainsi, plus largement, que les dynamiques urbaines et incitent d'autre part les ménages à une réflexion sur leur choix de localisation.

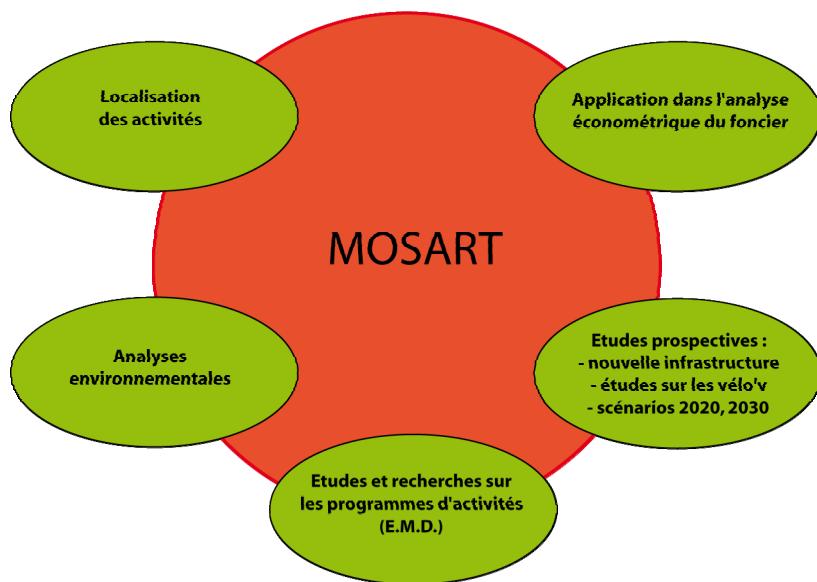
Dans ce contexte, la plateforme numérique de modélisation spatiale MOSART est développée pour simuler des scenarios de politiques de transport et des politiques d'aménagement du territoire sous l'angle du développement durable. Les interactions transport-urbanisme n'étant plus à démontrer, ces scénarios ne se limitent pas à une simple dimension transport, sous un angle temporel, mais intègrent une dimension spatiale au travers de la localisation des ménages et des activités. Aussi, en apportant un nouvel éclairage sous l'angle de l'accessibilité gravitaire, MOSART nous invite à reconsiderer l'évaluation des politiques de transport et d'aménagement du territoire.

Pour ce faire, l'outil est développé comme une véritable plateforme numérique de modélisation associant des données de navigation et d'utilisation du sol à un programme de modélisation de trafic et une visualisation webmapping. Profitant de la richesse de cet outil, des calculs d'accessibilité à un niveau zonal très fin sont envisagés pour différents modes et différentes périodes de la journée. Différents scenarii sont ainsi examinés sur l'aire urbaine de Lyon en heure de pointe pour considérer, à partir d'une situation de référence, différentes contraintes pesant sur le coût généralisé des automobilistes.

Il apparaît ainsi, qu'à l'échelle de l'aire urbaine, la performance du réseau de transport régional (TER) est, avec l'intermodalité qu'il suppose, l'une des clés principales pour favoriser le report modal des automobilistes vers les transports collectifs. Toutefois, infléchir les termes de la concurrence modale suppose la mise en place de mesures « extrêmes » qui vont bien au-delà de la taxe carbone, mise en place au 1^{er} janvier 2010, et dont les impacts sur l'accessibilité automobile à l'échelle de l'aire urbaine de Lyon semblent limités. En outre, une pénalisation des coûts liés à l'usage de l'automobile ne peut se faire sans un développement de l'offre de transports en commun tant en terme de capacités que de performance (vitesses et fréquences). Cela ne va pas sans poser quelques problèmes...Comment, dès lors, concilier la

nécessité d'une amélioration de l'offre en transports en commun et les contraintes financières pesant sur les acteurs du transport urbain ?

Un site internet pour le projet MOSART a été mis en place (voir les annexes)



Références bibliographiques

- Andersson M., Karlsson C., 2005. Knowledge accessibility and regional economic growth. CESIS- Electronic working paper studies. Paper No. 40.
- Automobile Club., 2008. Budget de l'automobiliste français.
- Bertolini L., le Clercq F., Kapoen L., 2005. Sustainable accessibility: a conceptual framework to integrate transport and land use plan-making. Two test-applications in the Netherlands and a reflection on the way forward. *Transport Policy*, Vol. 12(No 3) :207-220.
- Bonnel P., 2004. *Prévoir la demande de transport*. Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris.
- Bucher B., 2007, La carte à la carte sur le web, Comité Français de Cartographie, CFC n°193.
- Bureau B., Glachant M., 2008. Distributional effects of road pricing: Assessment of nine scenarios for Paris, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 42(7): 994-1007.
- Burrough P.A., McDonnell R.A., 1998, *Principals of Geographical Information Systems*, Oxford University Press.
- Coidet J.P., 1998. La valorisation du confort. Les vicissitudes de l'approche de la qualité de service, *Métropolis*, Vol. 106-107 : pp. 43-46.
- Commissariat Général du Plan. 2001. Transports : choix des investissements et coût des nuisances, Paris, La documentation française.
- Crozet Y., Ovtracht N., Thiebaut V., (2008), "MOSART : Building a decision making tool for private and public urban mobility authorities", International Conference on Mobility and Transport (Mobil.TUM), Munich
- Crozet Y., Marchal F., Ovtracht N., Thiebaut V., Yvon C., Bischoff P. (2008), " Mise en place d'un outil d'aide à la décision et à l'aménagement du territoire : MOSART ", International Conference on Spatial Analysis and GEomatics (SAGEO), Montpellier
- De Palma A., Marshal F., 1997. Nesterov Y. Metropolis : a modular system for dynamic traffic simulation. *Transportation Research Record*, Vol. 1607 :178-184.
- Deymier G., 2005. Capitalisation immobilière des gains d'accessibilité : étude de cas sur l'agglomération lyonnaise. Thèse pour le doctorat ès Sciences Economiques, Université Lumière Lyon 2.
- Devillers R., Jeansoulin R., 2005, Qualité de l'information géographique, Hermès Science
- Dueker K. J., Butler J. A., 2000, A geographic information system framework for transportation data sharing, *Transportation Research Part C*, vol. 8 : pp. 13-36
- Genre-Grandpierre C., Foltête J.C., 2003. Morphologie urbaine et mobilité en marche à pied. *Cybergeo*, article 248.
- Guesnerie R., 2006. De l'utilité du calcul économique public. *Economie et Prévision*, Vol. 4-5(No 175) :1-14.

- Geurs, K. T., Van Wee G. P., 2004. Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: review and research directions, *Journal of Transport Geography*, vol. 12, pp.127-140.
- Goodchild, M.F. 1992, "Geographical Information Science", International Journal of Geographical Information Science, 1362-3087, Volume 6, Issue 1, 1992, Pages 31 – 45
- Gutiérrez, J., Gomez G., 1999. The impact of orbital motorways on intra-metropolitan accessibility: the case of Madrid's M-40, *Journal of Transport Geography*, vol. 7, pp. 1-15.
- Hansen, W. G., 1959. How accessibility shapes land use, *Journal of the American Institute of Planners* 25, pp. 73-76.
- Héran F, 2005. De la ville adaptée à l'automobile à la ville pour tous. L'exemple parisien, in Anne Grillet-Aubert, Sabine Guth (dir.), *Déplacements. Architectures du transport, territoires en mutation*, Ed. Recherches/Ipraus, Paris, pp. 173-186.
- Hunter G.J., Beard M.K., 1992, Understanding Error in Spatial Databases, *Australian Surveyor*, vol. 37, n°2, pp. 108-119.
- Johansson B., Klaesson J., Olsson M., 2002. Time distances and labor market integration. *Regional Science*, Vol. 81 :pp. 305-327.
- Koenig, J. G., 1974. Théorie économique de l'accessibilité urbaine, *Revue Economique* 2, 275-297.
- Kwan M.P., Weber J., 2008. Scale and accessibility : Implications for the analysis of land use-travel interaction. *Applied Geography*, Vol.28 : pp. 110-123.
- Lainé V., 2003. Les déterminants du choix du titre de transport public urbain : une approche par la méthode des préférences déclarées. Thèse pour le doctorat ès Sciences Economiques, Université Lumière Lyon 2.
- Leurent F., 1995. Un algorithme pour résoudre plusieurs modèles d'affectation du trafic : la procédure d'égalisation par transvasement. *Les Cahiers Scientifiques du Transport*, Vol. 30 :31-49.
- Lewis S., 1990, " Use of geographical information systems in transportation modeling", *ITE journal (Institute of Transportation Engineers)*, vol. 60 march, no.3, 34-38
- McNally M., 2000. The Four Step Model. Working paper.
(URL : <http://escholarship.org/uc/item/7j0003j0>, consulté le 20 octobre 2009).
- Masson S., 2000. Les interactions entre système de transport et système de localisation en milieu urbain et leur modélisation. Thèse pour le doctorat ès Sciences Economiques, Université Lumière Lyon 2.
- Mercier A., Raux C., Ovtracht N., (2008), "The relevance of gravity accessibility measures : from theory to example", International Conference on Mobility and Transport (Mobil.TUM), Munich
- Miller, H.J. (1999) Measuring Space-Time Accessibility Benefits Within Transportation Networks: Basic Theory and Computational Procedures. *Geographical Analysis*, vol 3, pp. 187-212.
- Miller, H.J., Shaw S., 2001, *Geographic Information Systems for Transportation : Principles and Applications*, Oxford University Press.

Ministère de l'Equipement, des Transports, de l'Aménagement du territoire, du Tourisme et de la Mer. 2004, mise à jour 2005. Instruction cadre relative aux méthodes d'évaluation économique des grands projets d'infrastructures de transport.

Ortuzar J. de De, Willumsen, L.G., 2001. *Modelling Transport*. Wiley (Third Edition).

Puech F., Ovtracht F., Jensen P., Thiebaut V. (2009), "Does « distance » really matter for distance-based measures of geographic concentration ?", Regional Science Association International International Conference (RSAI), San-Francisco.

Quinet E., Touzery L., Triebel H., 1982. *Economie des transports*. Paris, Economica.

Raux, C., Mercier, A., Ovtracht, N., 2008, « Evaluation économique des politiques de transport et indicateurs d'accessibilité spatiale : l'apport des SIG », *Cybergeo*, Systèmes, Modélisation, Géostatistiques, article 435.

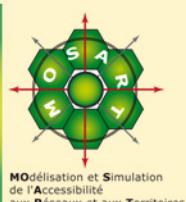
Raux C., Souche S., 2004. The Acceptability of Urban Road Pricing. A theoretical Analysis Applied to Experience in Lyon. *Journal of Transports Economics and Policy*, Vol. 38-2: 191-216.

Tabourin E, Bonnafous A. (1998), Modélisation de l'évolution des densités urbaines, Données urbaines, tome2 sous la direction de D. Pumain et M.F. Mattei, ed. Economica Anthropos, coll. Villes, p.167-180.

Thill J-C., 2000, Geographic Information Systems for transportation in perspective, *Transportation Research*, Part C, vol. 8, pp. 3-12.

Wardrop J.G., 1952. Some theoretical aspects of road traffic research. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, Part II-1 :325-378.

ANNEXES



MOSART
MOdélisation et Simulation de l'Accessibilité aux Réseaux et aux Territoires

Le projet MOSART est intégré dans l'ANR PLAINSUDD—programme Villes durables

Accueil & Présentation du Projet

■ ACCUEIL

■ OBJECTIFS ET ENJEUX

■ PLAINSUDD-MOSART

■ WEBMAPPING

■ NEWSLETTER

■ DOCUMENTS

■ PUBLICATIONS

■ EQUIPE & PARTENAIRES

■ CONTACTEZ-NOUS

Pour nous contacter

LET-ISH
14, Avenue Berthelot
F-69007 Lyon

mail : mosart.project@let.ish-lyon.cnrs.fr

Téléphone : 04 72 72 64 53

Le projet vise à créer un outil d'aide à la décision (publique et privée) par la construction de cartes et d'indicateurs d'accessibilité utilisant conjointement un modèle d'affectation de trafics et un système d'information géographique (SIG) innovant, développé par un laboratoire de recherche public, le LET.

Ces méthodes et outils doivent concrétiser, ou mieux, territorialiser la question de la mobilité durable.

► Le projet MOSART est labellisé par le pôle LUTB (Lyon Urban Truck & Bus).

► Il fait parti aussi du projet ANR PLAINSUDD, PLATEformes numériques Innovantes de Simulations Urbaines pour le Développement Durable.

► Le projet MOSART est financé par le PREDIT.

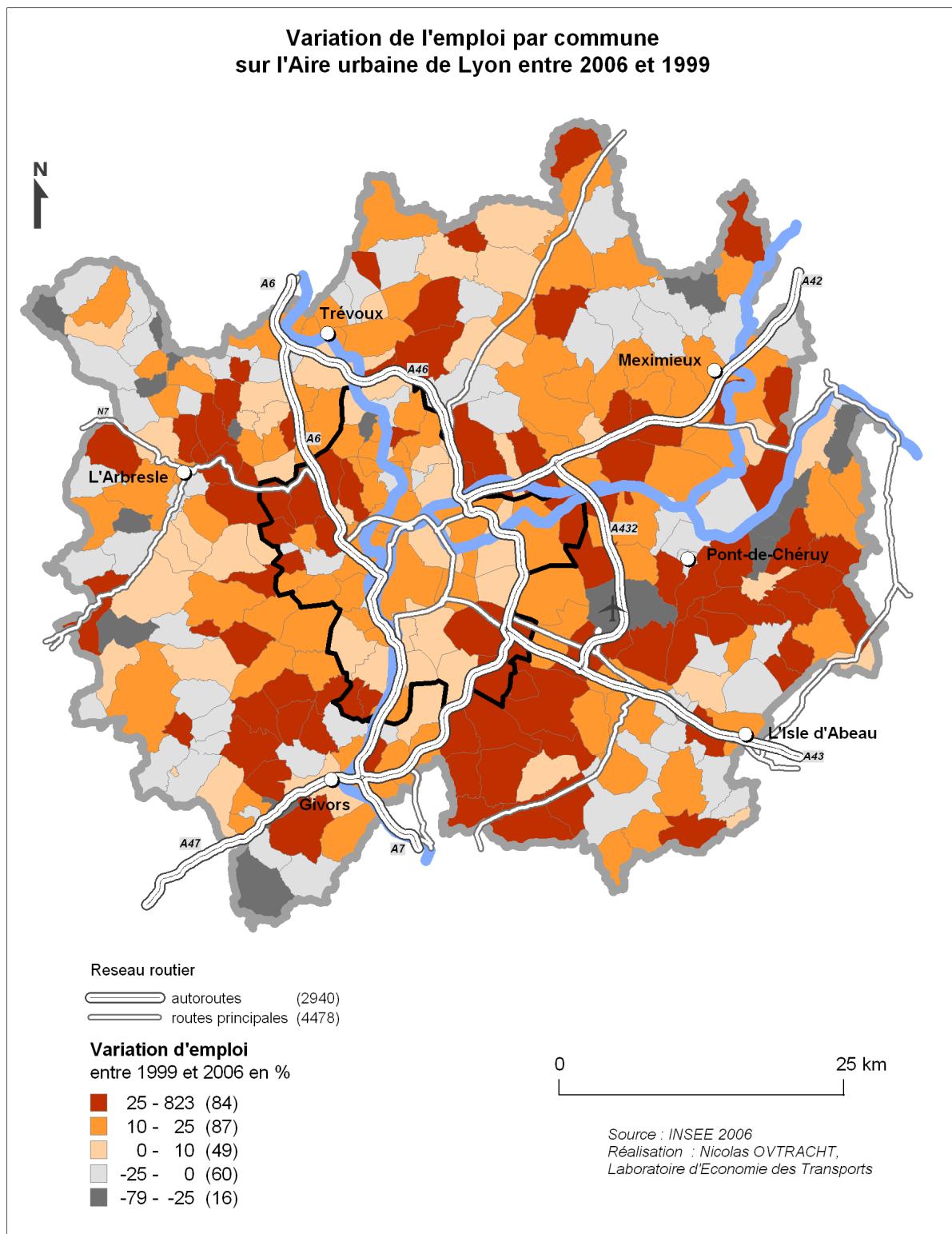
LET Laboratoire d'Economie des Transports

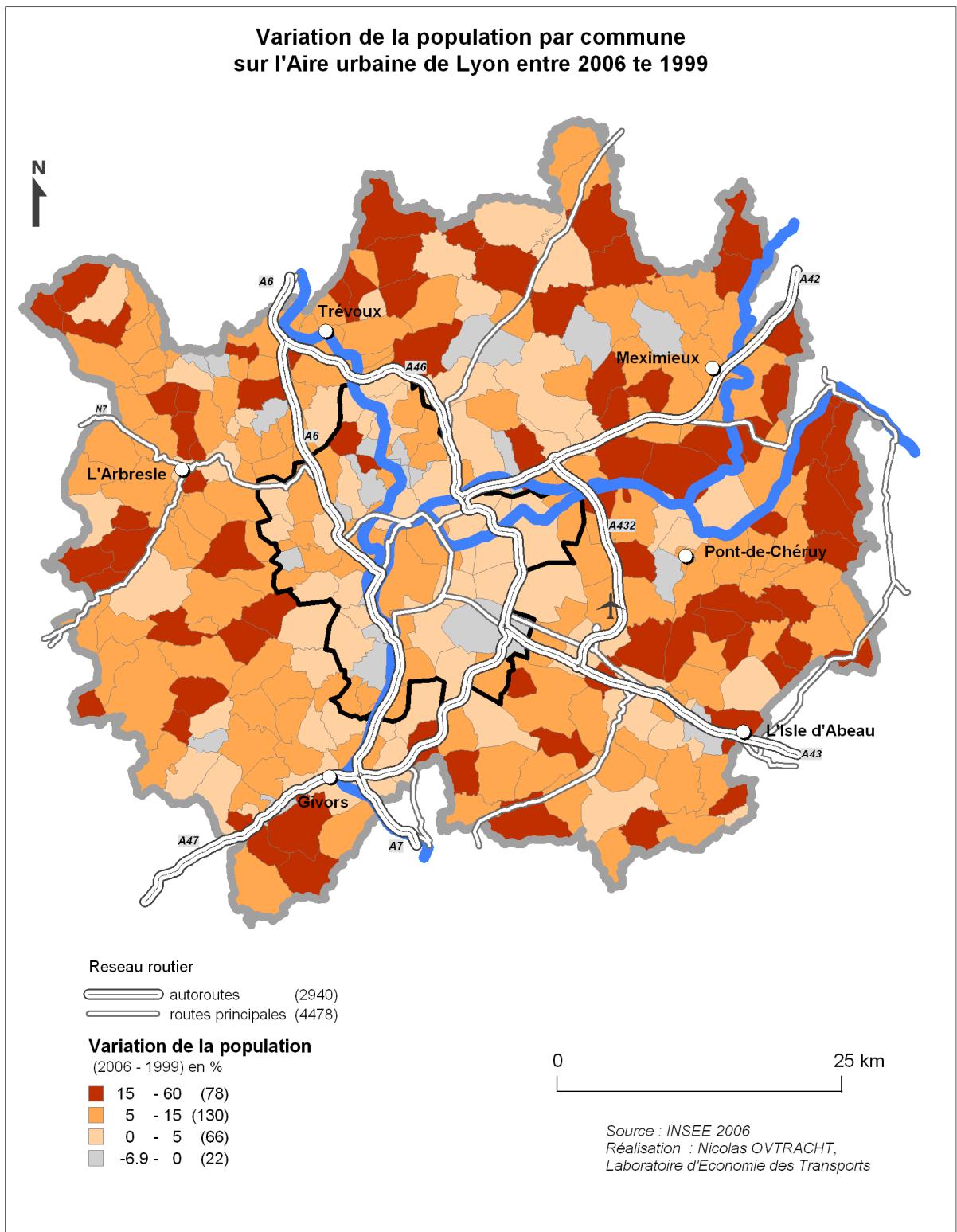
LYON URBAN TRUCK & BUS

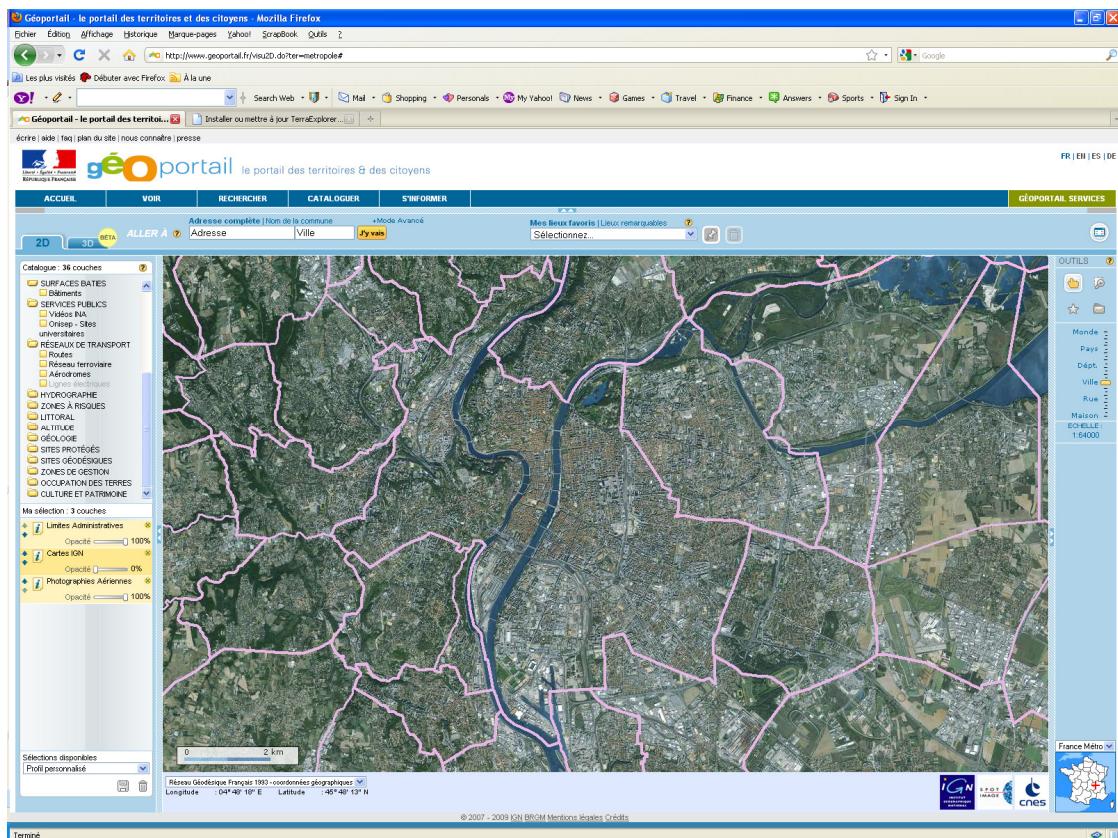
AGENCE NATIONALE DE LA RECHERCHE ANR

PREDIT

[Accueil](#) | [À propos de nous](#) | [Contactez-nous](#) | [Liste des produits](#) | [Liste des services](#) | [Liste des projets](#) | [Liste des produits](#) | [Liste des produits](#) | [Webmapping](#)







Géoportail de l'IGN (<http://www.geoportail.fr>)

The Global Disaster Alert and Coordination System provides near real-time alerts about natural disasters around the world and tools to facilitate response coordination, including media monitoring, map catalogues and Virtual On-Site Operations Coordination Centre.

Current Disaster Events

- Cyclone DAVID-09 13 hours ago (New)
- Flood Sri Lanka 14 Dec 2009
- Earthquake Indonesia 16 hours ago (New)
- Flood Fiji 14 Dec 2009
- Flood United States 12 Dec 2009
- Flood Peru 20 Dec 2009
- Earthquake Malawi 19 Dec 2009

Events in this list are picked up from [multiple sources](#) and automatically analyzed by a computer program to determine the likelihood of humanitarian intervention. News, damage maps and humanitarian situation reports are collected automatically from over 1000 on-line sources.

ShowHide | Earthquakes | Cyclones | Floods | Volcanoes | All | RSS | Archive

Earthquakes and tsunamis

Orange alerts or M>6 in the last 4 days
Last updated: 23 min ago

AUTOMATIC IMPACT REPORT
Indonesia, (M 6.0, depth 14.2km, 38000 people)
NEIC—Wednesday, December 23, 2009 1:11:00 AM UTC (16 hours ago) (New)

AUTOMATIC IMPACT REPORT
Malawi, (M 6.0, depth 15.5km, 1 million people)
NEIC—Saturday, December 19, 2009 11:19:00 PM UTC

DOCUMENTS FROM OTHER ORGANISATIONS

JRC EMM Real-time Event Extraction for GDACS (2009-12-23 18:59)

News is automatically analyzed for casualties. Numbers for death tolls are extracted, and updated every five minutes.

RSS

Beta features

JRC EMM Real-time Event Extraction for GDACS (2009-12-23 18:59)

News is automatically analyzed for casualties. Numbers for death tolls are extracted, and updated every five minutes.

RSS

Reports and Documents

See [all documents](#)

Summary map on the Samoa Event Tue, 20 Oct 2009 10:24:00 GMT
The map reports the main results from the calculations and the findings of the Samoa event

Analysis of 29 September Samoa Event Mon, 12 Oct 2009 19:49:00 GMT

Site internet du GDACS sur les catastrophes naturelles

USGS
science for a changing world

Earthquake Hazards Program

Home About Us Contact Us Search

EARTHQUAKES **HAZARDS** **LEARN** **PREPARE** **MONITORING** **RESEARCH**

Past
Past 8-30 days
Significant Earthquakes
Earthquake Lists & Maps
Search for an Earthquake

Present
Real-time - USA
Real-time - Worldwide
About Earthquake Maps
KML / RSS Feeds & Data
Earthquake Notifications
Seismogram Displays
Earthquake Animations
Did You Feel It?
ShakeMaps
PAGER
EQ Summary Posters

Future
Earthquake Scenarios
Prediction
Probabilities
Location
Info by State
Info by Country/Region

Latest Earthquakes in the World - Past 7 days
Worldwide earthquakes with M4.5+ located by USGS and Contributing Agencies.
(Earthquakes with M2.5+ within the United States and adjacent areas.)

Wed Dec 23 19:05:26 UTC 2009 146 earthquakes on this map

Instructions

- Hold your mouse over an earthquake to see its magnitude.
- Click on an earthquake for more information.
- Click on a location to go to a region map.
- [Did You Feel It? - Report an earthquake](#)

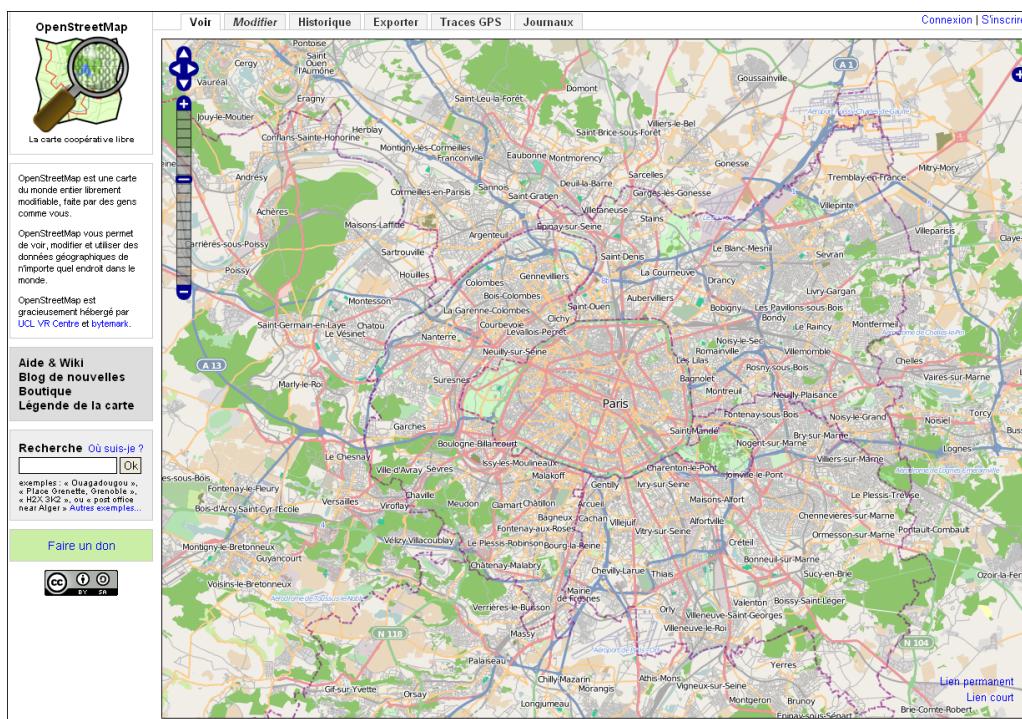
Earthquake Lists

- [M2.5/4.5+ Earthquake list](#)
- [M>+ Earthquake list](#)
- [Did You Feel It? - Report an earthquake](#)

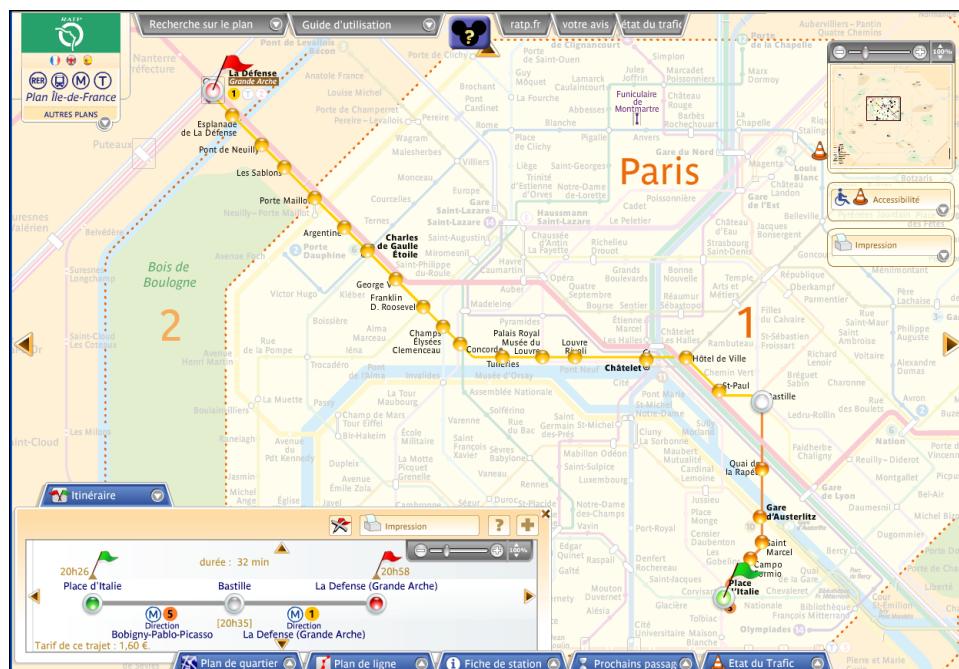
World Regional Maps

- [Africa](#)
- [Asia](#)

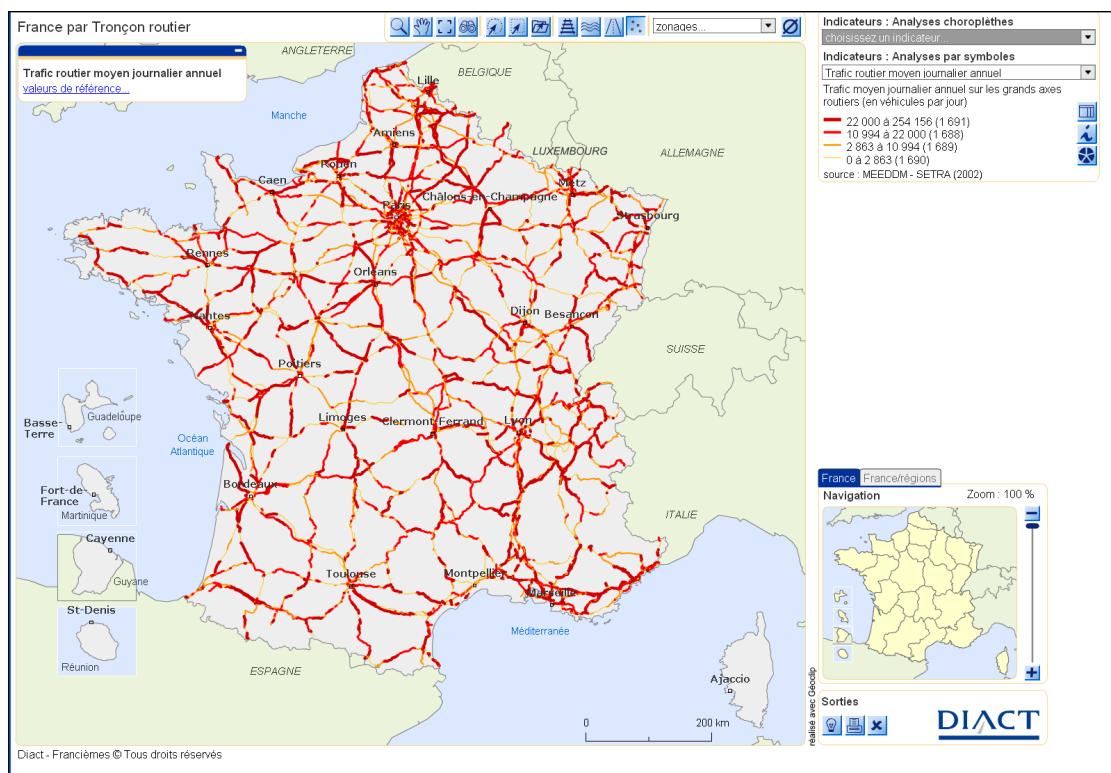
Site internet sur les tremblements de terre de l'USGS



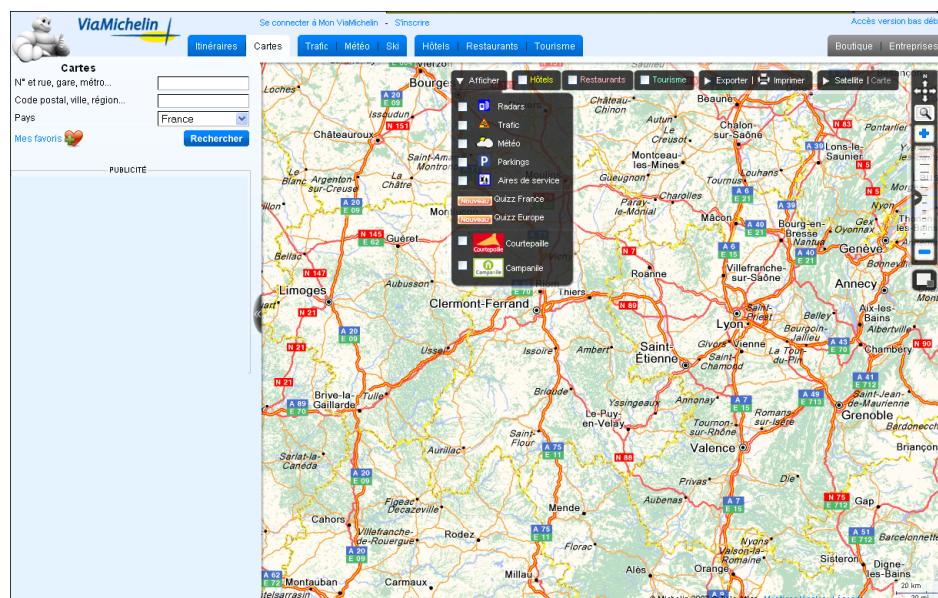
Site internet : OpenstreetMap



Site internet de la RATP



Site internet de la DATAR



Site internet de ViaMichelin