



UN SCÉNARIO TOD POUR LA RÉGION NORD-PAS-DE- CALAIS. ENSEIGNEMENTS D'UNE MODÉLISATION INTÉGRÉE TRANSPORT-USAGE DU SOL

Fausto Lo Feudo

► To cite this version:

Fausto Lo Feudo. UN SCÉNARIO TOD POUR LA RÉGION NORD-PAS-DE- CALAIS. ENSEIGNEMENTS D'UNE MODÉLISATION INTÉGRÉE TRANSPORT-USAGE DU SOL. Modélisation et simulation. Université Lille 1 - Sciences et Technologies, 2014. Français. NNT: . tel-01096347

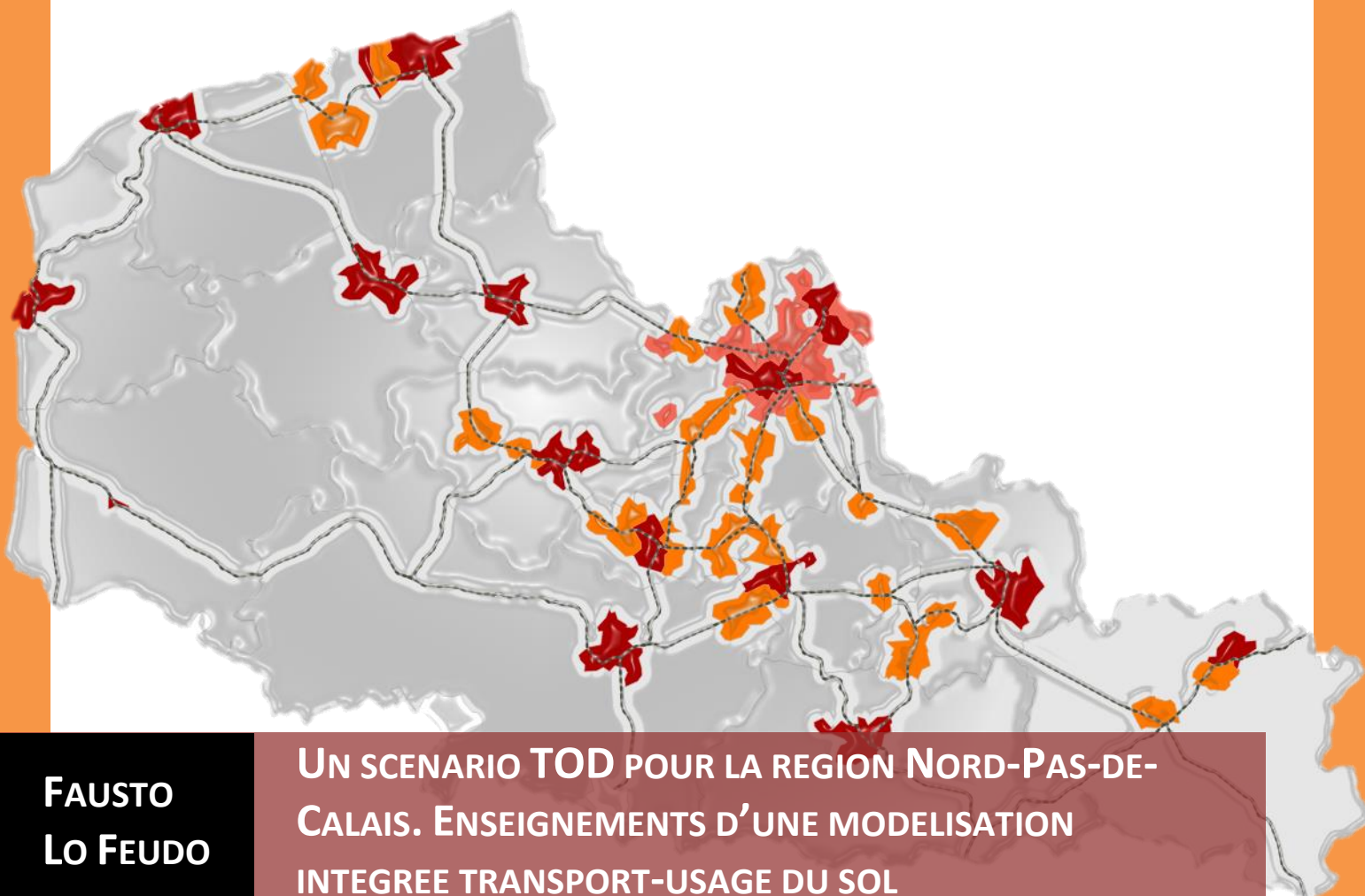
HAL Id: tel-01096347

<https://theses.hal.science/tel-01096347>

Submitted on 18 Dec 2014

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

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



FAUSTO
LO FEUDO

UN SCENARIO TOD POUR LA REGION NORD-PAS-DE- CALAIS. ENSEIGNEMENTS D'UNE MODELISATION INTEGREE TRANSPORT-USAGE DU SOL

Thèse de doctorat en Aménagement et Urbanisme

Thèse dirigée par Philippe Menerault et Alain L'Hostis et co-dirigée par Demetrio Carmine Festa

Date de soutenance: 27/11/2014 - UFR de Géographie-Aménagement, Université Lille 1

Jury :

M. Philippe MENERAULT, Professeur à l'Université Lille 1 Sciences et Technologies

M. Alain L'HOSTIS, Chargé de Recherche à l'IFSTTAR

M. Demetrio Carmine FESTA, Professeur à l'Université de Calabre

M. Gebhart WULFHORST, Professeur à l'Université Technique de Munich

M. Giovanni RABINO, Professeur au Polytechnique de Milan

M. Jaques TELLER, Professeur à l'Université de Liège

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE	3
1. PRINCIPES, LIMITES ET AMBITIONS DU DÉVELOPPEMENT TERRITORIAL DANS UN APPROCHE INTÉGRÉE ET DURABLE	9
1.1. LA PLANIFICATION COMME OUTIL POUR L'ORGANISATION ET LA GOUVERNANCE DU TERRITOIRE	10
1.3. PRINCIPES, STRATEGIES ET OBJECTIFS DE LA PLANIFICATION TERRITORIALE	13
1.4. L'ECHELLE URBAINE ET LA FONCTION DE L'URBANISME	16
1.5. L'ECHELLE REGIONALE ET SA COMPLEXITE	19
1.6. STRATEGIES ET PARADIGMES POUR LE GOUVERNEMENT DES REGIONS	22
1.6.1. <i>Les politiques des transports au niveau régional</i>	24
1.7. POURQUOI UNE ANALYSE INTEGREE TRANSPORTS - TERRITOIRE?	26
1.8. QU'ENTEND-ON PAR USAGE DU SOL ?	31
1.9. COMMENT LES DYNAMIQUES TERRITORIALES INFLUENCENT LA PLANIFICATION DES TRANSPORTS	32
1.10. COMMENT LES CHANGEMENTS DANS LE SYSTEME DE TRANSPORT AFFECTENT L'USAGE DES SOLS	36
1.11. CONCLUSIONS	41
2. ANALYSE DES OUTILS, DES ACTEURS ET DES ÉLÉMENTS POUR LE GOUVERNEMENT INTÉGRÉ DU TERRITOIRE	43
2.1. LA QUESTION DE LA COORDINATION DANS LE PROCESSUS DE PLANIFICATION INTEGREE DES TRANSPORTS ET D'USAGE DES SOLS	45
2.2. LES ROLES, LES FONCTIONS ET LES INTERDEPENDANCES DANS LE SYSTEME D'ACTEURS	49
2.3. LES OUTILS DE LA PLANIFICATION INTEGREE	52
2.4. LES ELEMENTS CLES DANS LE PROCESSUS D'INTERACTION ENTRE URBANISME ET TRANSPORT	60
2.5. MOBILITE, MOUVEMENT ET DEVELOPPEMENT URBAIN	63
2.6. UNE REFLEXION SUR LE CONCEPT D'ADAPTABILITE	66
2.7. ROLE ET SIGNIFICATION D'ACCESSIBILITE	69
2.7.1. <i>Facteurs et effets de l'accessibilité</i>	72
2.7.2. <i>Mesurer l'accessibilité</i>	75
2.8. LA QUESTION DE LA DENSITE	78
2.8.1. <i>Densité et mobilité</i>	80
2.9. CONCLUSIONS	83
3. LE TRANSIT ORIENTED DEVELOPMENT: UN MODÈLE DE DÉVELOPPEMENT ALTERNATIF AU PARADIGME AUTO-CENTRÉ	85
3.1. LES PROCESSUS HISTORIQUES QUI ONT PORTE LA DEPENDANCE A LA VOITURE	86
3.2. LE MODELE URBAIN ORIENTE VERS LA VOITURE	94
3.3. FACTEURS, ATTRIBUTS ET COUTS DE LA DEPENDANCE DE LA VOITURE	96
3.4. COMMENT REDUIRE LA DEPENDANCE DE LA VOITURE	103
3.4.1. <i>Cohabitation et partage de la route et développement urbain sans voiture</i>	110
3.5. DEFINITION DU « TRANSIT ORIENTED DEVELOPMENT »	116
3.5.1. <i>Les objectifs et principes à la base du TOD</i>	123
3.6. LA GESTION DE LA DENSITE ET L'IMPACT SOCIAL DU TOD	127
3.7. EXEMPLES DE BONNES PRATIQUES DU TOD	131
3.8. DIFFICULTES DE MISE EN ŒUVRE, BARRIERES ET OBSTACLES A LA REUSSITE DU TOD	136
3.9. CONCLUSIONS	141
4. L'INTÉRÊT D'UNE APPROCHE RÉGIONALE DU TOD APPLIQUÉ AU TERRITOIRE DU NORD-PAS-DE-CALAIS	143

4.1.	LE NORD-PAS-DE-CALAIS. CONTEXTE GENERAL, POINTS DE FORCE ET DE FAIBLESSE.....	145
4.2.	DYNAMIQUES REGIONALES DU LOGEMENT ET DE L'USAGE DU SOL ET STRATEGIES DE PLANIFICATION	151
4.3.	LA SITUATION REGIONALE DU SYSTEME DE TRANSPORT ET LES STRATEGIES DE DEVELOPPEMENT 156	
4.3.1.	<i>Le contexte ferroviaire régional et ses perspectives de développement</i>	163
4.3.2.	<i>Gares et quartiers de gares. La question de la gestion du foncier ferroviaire</i>	167
4.4.	OPPORTUNITES ET PERSPECTIVES DE DEVELOPPEMENT URBAIN ET REGIONAL SELON LES PRINCIPES DU TOD OU D'UN URBANISME ORIENTE VERS LE RAIL ET LES TRANSPORTS EN COMMUN	173
4.5.	CONCEPTION D'UNE MODELISATION INTEGREE POUR LE NORD-PAS-DE-CALAIS	177
4.6.	CONCLUSIONS.....	181
5.	LE MODELE TRANUS DE SIMULATION INTEGRE POUR LA REGION FRANÇAISE DU NORD-PAS-DE-CALAIS	184
5.1.	LA MODELISATION INTEGREE D'USAGE DU SOL ET DES TRANSPORTS, COMME SUPPORT AUX STRATEGIES DE DEVELOPPEMENT DU TERRITOIRE.....	186
5.1.1.	<i>Réflexions sur l'applicabilité et sur le potentiel d'apport aux décideurs de la modélisation intégrée</i> 192	
5.1.2.	<i>Le choix du logiciel de simulation intégré Transus</i>	196
5.1.3.	<i>La calibration du logiciel de modélisation Transus.....</i>	202
5.2.	HYPOTHESES DE BASE, DONNEES, STRUCTURE GENERALE ET IMPLEMENTATION DU MODELE TRANUS POUR LA REGION NORD-PAS-DE-CALAIS.....	205
	<i>Méthode pour l'identification des zones avec une potentialité de développement urbain orienté vers le rail et les transports en commun.....</i>	209
5.3.	CONCLUSIONS.....	224
6.	RÉSULTATS ET ENSEIGNEMENT DE LA MODÉLISATION	227
6.1.	IMPLEMENTATION DU SCENARIO DE REFERENCE ET DES DIFFERENTS SCENARIOS DE SIMULATION A L'HORIZON 2025	229
6.2.	LE PROCESSUS DE CALIBRATION DU SCENARIO DE REFERENCE	234
6.2.1.	<i>La calibration du modèle transport.....</i>	235
6.2.2.	<i>La calibration du modèle d'usage du sol</i>	240
6.3.	RESULTATS RELATIFS A L'USAGE DU SOL	245
6.4.	RESULTATS RELATIFS AU SYSTEME DE TRANSPORT	255
6.5.	CONCLUSIONS.....	265
	CONCLUSIONS GENERALES	270
	ANNEXE I : METHODE DES RAPPORTS DE DENSITE ; POUR L'ESTIMATION DES PARAMETRES MIN ET MAX DEMAND, DANS LA FONCTION DE DEMANDE DES SECTEURS NON TRANSPORTABLES DU LOGICIEL DE SIMULATION TRANUS.	280
	ANNEXE II : DESCRIPTION DU SYSTEME D'EQUATIONS CONTENU DANS L'ALGORITHME DU LOGICIEL DE SIMULATION TRANUS.	289
	TABLE DES FIGURES	302
	TABLE DES TABLEAUX	306
	TABLE DES EQUATIONS	307
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	308

Introduction générale

Le monde se trouve face à un moment de crise et de conflit de type structurel. Les déséquilibres sont multiples et touchent les sphères économiques, environnementales, sociales et donc les modes de vie des personnes, qui sont aussi des habitants et des usagers des territoires où ils résident, travaillent et mènent leurs vies.

On assiste donc à une phase que F. Choay (2008) définit comme la « *mort de la ville* » et à la transformation des villes modernes en territoires *posturbains*, dans lesquelles il est toujours plus difficile de s'affirmer et se retrouver dans une identité commune, alors que triomphe souvent l'individualisme, l'uniformisation et l'homogénéisation des styles de vie et que la précarité des ménages et des personnes se développe. On ne peut pas négliger toutefois que le phénomène d'urbanisation ait continué sans arrêt, dans le monde entier et ait contribué à alimenter l'extension des mégalo-poles urbaines, des méga-cités et des méga-régions. Un phénomène qui, selon l'ONU se traduira en 2050 par le fait que 70% de la population mondiale habitera dans un milieu urbanisé qui ne correspondra cependant pas à l'idée traditionnelle de la *ville*, mais qui selon Magnaghi (2014) risque de fournir à ses habitants une qualité environnementale, d'habitat et, en général, des conditions de vie extrêmement dégradées et surtout déséquilibrées entre catégories sociales. L'architecte et urbaniste italien oppose au paradigme de l'urbanisation massive, la « *vision d'une planète fourmillant de biorégions urbaines et de réseaux* » (Magnaghi, 2014), qui englobe l'idée de *retour à la terre* mais qui comporte aussi la construction d'un mode de vie urbain plus compatible, plus durable et plus respectueux des biens communs. Au-delà de cette vision certainement séduisante et intéressante, il faut bien comprendre qu'aujourd'hui, et encore plus dans le futur, on observera des fortes mutations des concepts et des idées même d'habiter, de vivre et de pratiquer un territoire, ainsi que sans doute, des notions de mobilité, de mouvement en tant que déplacement et d'accessibilité. Dans un *shrinking world* (Dicken, 2011) où les distances sont considérablement réduites, les nouvelles technologies, la révolution actuelle dans les pratiques de communication et d'information, les nouveaux styles de vie et les déséquilibres géopolitiques et économiques planétaires actuels, sont les ingrédients de ce changement. C'est donc dans ce contexte que s'inscrit le travail de l'urbaniste, de l'aménageur, du spécialiste en transport, donc de ceux qui lisent et dessinent la ville d'aujourd'hui et de demain, qui évaluent et prévoient ses dynamiques et qui doivent tenter d'indiquer des trajectoires de développement qui puissent éviter ou limiter les risques de réduction et de détérioration de la qualité de vie.

Il s'agit de construire un *urbanisme d'après crise*, comme l'a suggéré A. Bourdin (2014), promoteur de cohésion, d'affirmation des droits urbains et d'une offre urbaine flexible. Un

urbanisme donc de régulation et pas de règles, mutable et capable d'orienter le fonctionnement d'un territoire, grâce à une *nouvelle alliance* entre tous les types d'acteurs impliqués (chercheurs, experts, décideurs, etc.). Ajoutons un urbanisme solidaire et synergique qui puisse valoriser la diversité et la variété des sociétés contemporaines, en promouvant liberté, justice sociale et bien-être, pour combattre et limiter la pauvreté, la précarité et l'exclusion.

J. Urry (2000) affirme que la capacité de mouvement, donc de mobilité, représente une dimension essentielle pour participer à la société et exister dans notre monde. Le droit à la mobilité a besoin de ce fait d'être toujours étendu et diffusé, parce qu'il représente la condition nécessaire pour accéder, tirer bénéfice et participer au fonctionnement des territoires et donc des sociétés contemporaines. Une mobilité soutenable est donc essentiellement un système qui fournit à tous la possibilité de se déplacer librement, pour satisfaire ses besoins en ne causant pas des dégâts aux autres individus et à l'environnement. Le modèle *auto-centré* qui domine aujourd'hui n'est cependant pas à considérer comme durable, parce qu'il limite les choix de déplacement et qu'il suppose une orientation énergivore. Il contribue aussi à aggraver les conditions d'exclusion sociale des catégories de population défavorisées, à renforcer l'insécurité, à favoriser la désagrégation et la fragmentation des territoires. On observe, en conséquence, la nécessité de proposer des pratiques de mobilité basées sur le paradigme renouvelé de la multimodalité et de l'accessibilité plutôt que sur la vitesse, et sur une conception différente de l'usage du véhicule particulier (passant de la notion de bien à celle de service). Ces nouvelles pratiques nécessitent aussi que soit revue la conception des modèles de développement en se basant sur la cohérence entre stratégies et projets, sur la coordination entre acteurs et entre outils d'actions ainsi que sur la participation et l'inclusion des habitants-citoyens dans les processus décisionnels.

Dans cette thèse sera traité le thème de l'intégration et de l'articulation entre urbanisme et transport, avec le but d'évaluer et d'étudier le sens de l'application d'un plan régional de *Transit Oriented Development* (TOD) (Calthorpe, 1993; Cervero, 1998; Bertolini & Split, 1998) ou d'urbanisme des transports en commun en Nord-Pas-de-Calais. À cet égard nous avons fait le choix d'utiliser l'outil de la modélisation intégrée d'usage du sol et transport et notamment le logiciel de simulation *Tranus* (T. de la Barra, 1989), pour implémenter un modèle de simulation capable de répondre aux différents questionnements à la base de cette recherche.

L'intention est donc de proposer des trajectoires de développement alternatives et innovantes et des réflexions de type stratégique et opérationnel, en réponse aux principaux enjeux et problématiques qui actuellement touchent le terrain d'étude. Dans un contexte général européen mais aussi global, de conjoncture économique et financière très difficile et de crise énergétique, environnementale et sociale, la région Nord-Pas-de-Calais est en effet

particulièrement affectée par une artificialisation excessive de ses territoires et donc par un phénomène incessant d'étalement et de fragmentation de son tissu urbain.

Il s'agit d'une situation qui dépend à la fois du fonctionnement territorial de la région, de ses conditions socio-économique et des dynamiques de localisation dans l'espace des ménages et des activités, ainsi que des pratiques de mobilité ; où la voiture particulière représente le mode de transport largement prédominant, même si la crise économique et la hausse de prix de carburants des dernières années, ont contribué à ralentir la croissance de la part modale de ce mode de transport.

On propose donc dans ce texte une perspective intégrée, inclusive et interactive sur les problématiques et les enjeux qui concernent les politiques d'usage du sol et des transports à l'échelle d'une région. Selon une approche multidisciplinaire et multi-échelle, qui suit les principes d'interdépendances entre les nombreux éléments du territoire, que l'on retrouve dans *l'urbanisme des réseaux* (Dupuy, 1991). Il s'agit d'aborder les thématiques de la mobilité et des transports, selon un nouveau paradigme, basé sur les concepts d'accessibilité, de connectivité et de multimodalité (T. Litman, 2013) et donc selon l'idée de concevoir un urbanisme et un développement non plus *auto-centré*, mais orientés vers l'usage des transports en commun et des modes de transport non motorisés (L'Hostis, 2009). On entend en outre décliner cette approche et cette vision de type théorique sous forme de pistes d'action et d'expérience pratique de recherche, qui puisse donner un apport et une aide, opérationnelle et également pédagogique aux multiples acteurs de l'aménagement et de la planification urbaine et des transports et aux chercheurs et spécialistes de la modélisation. L'outil des modèles d'usage du sol et transport (MUST) se caractérise par la capacité d'intégrer directement les informations sur l'usage du sol avec les données sur le système de transport et de fournir, à travers des simulations sur plusieurs horizons temporels futurs, des prévisions sur l'évolution des pratiques de mobilité, du niveau de congestion et de service des systèmes de transports, ainsi que sur les dynamiques de choix de localisation des ménages et des activités et sur le changement des prix fonciers et immobiliers.

Dans l'optique de répondre à la question de savoir si l'application d'un plan régional de TOD pourrait contribuer à limiter le phénomène d'étalement urbain et à augmenter le niveau d'utilisation des services de transport en commun dans la région Nord-Pas-de-Calais, les MUST apparaissent donc les outils les plus adaptés. Il s'agit cependant de questionnements qui ont été inspirés par les recommandations et préconisations sur le développement futur de la région, contenus dans les plus importants documents de planification stratégique et d'aménagement du Nord-Pas-de-Calais. Cette recherche s'avère également intéressante du point de vue scientifique, en raison du fait qu'actuellement il existe très peu d'exemples de travaux de

modélisation intégrée d'usage du sol et transport à l'échelle régionale et très peu aussi qui visent à évaluer l'applicabilité et les effets d'une intervention de TOD sur l'ensemble d'un territoire régional.

Le texte est donc structuré de manière à donner d'abord un regard théorique d'ensemble sur les multiples aspects et les niveaux de complexité qui résident dans le concept d'articulation entre urbanisme et transport, pour ensuite aborder de façon plus spécifique le sujet de la modélisation et enfin d'analyser les résultats du modèle mis en œuvre dans le cadre de cette recherche. Dans le premier chapitre une réflexion sur les principes, les limites et les objectifs de l'aménagement et de la planification spatiale et des transports sera donc exposée. On entend de ce fait définir et analyser en détail la signification et la fonction d'une approche intégrée pour le gouvernement des territoires et la planification, notamment à l'échelle régionale. Le chapitre fournit aussi un approfondissement sur la thématique de l'interaction entre les dynamiques liées à la mobilité et aux transports et le développement urbain et donc l'usage du sol. Il s'agit d'une interaction et d'une interdépendance qui se déploie selon deux directions : le développement urbain peut entraîner le développement des systèmes de transport ou les réseaux et services de transport peuvent guider le développement urbain. Pour savoir lire, définir, prévoir et planifier ces trajectoires et dynamiques de développement, il apparaît nécessaire d'aborder la thématique de la coordination dans le processus de planification intégrée des transports et de l'usage du sol, en fournissant une analyse sur les principaux outils, sur les rôles, les fonctions et les interdépendances dans le système d'acteurs et sur les éléments clés du processus d'interaction entre urbanisme et transport. Ce sont les arguments traités dans le deuxième chapitre de la thèse, qui traite de l'analyse des outils, des acteurs et des éléments fondamentaux pour le gouvernement intégré du territoire. Les concepts d'adaptabilité, d'accessibilité, de densité et de mobilité sont privilégiés pour décrire la complexité du système territorial et ils peuvent représenter les freins ou les moteurs de l'action de coordination elle-même.

Dans le troisième chapitre de la thèse seront illustrés les principes du *Transit Oriented Development*, qui représente un modèle alternatif au paradigme *auto-centré*, prévalent dans les pays occidentaux et qui a désormais clairement montré ses limites et défauts. En proposant une analyse du processus historique et des raisons qui ont provoqué le passage de la *ville préindustrielle*, parcourue essentiellement à pied, à la ville basée sur les transports collectifs, du début du XXe siècle, et enfin à la *ville automobile*, on illustre les problématiques liées à l'adoption d'un modèle urbain majoritairement orienté vers l'usage de la voiture, donc *auto dépendante* (Newman & Kenworthy, 2010). Le chapitre continue avec une étude sur les facteurs et coûts de la dépendance de la voiture, qui regardent principalement les aspects énergétiques, environnementaux, sociaux et sanitaires, mais aussi l'usage du sol et les configurations spatiales

des territoires et suit avec une réflexion sur les possibles solutions et perspectives de changement du modèle *auto-centré* (nouvelles pratiques de mobilité, innovations technologiques et développement urbain sans voiture). Ce modèle de développement urbain favorise l'étalement, la dispersion urbaine et les implantations à basse densité, tandis que les principes du TOD reposent exactement sur la promotion d'une densification de qualité et multifonctionnelle, structuré le long des réseaux de transport en commun, pour contrer la consolidation et la diffusion de l'*automobility* (Urry, 2003). Le TOD est en fait un modèle de développement urbain et territorial qui favorise la mixité et la compacité des espaces situés à proximité des principaux nœuds et corridors de transport en commun, avec une priorité accordée aux modes actifs et dans le but de réduire la consommation des sols et la dépendance à la voiture.

Le quatrième chapitre de la thèse est dédié à l'analyse du contexte général du terrain d'étude, la région française du Nord-Pas-de-Calais. En particulier seront exposés les points forts et les faiblesses dans les dynamiques de fonctionnement régional, eu égard surtout à la situation du logement et de l'usage du sol ainsi que des systèmes de transports, notamment de type ferroviaire. On propose également une réflexion sur la thématique de la gestion du foncier à proximité des gares et dans les quartiers autour des gares, avec l'objectif de réfléchir sur les opportunités et les perspectives d'une approche régionale de TOD appliqué au Nord-Pas-de-Calais. Le chapitre se termine avec l'introduction des principes à la base de la conception du modèle d'usage du sol et de transport que nous avons mis en œuvre dans le cadre de cette recherche doctorale.

Les cinquième et sixième chapitres sont de ce fait entièrement dédiés à la thématique de la modélisation. Dans le cinquième chapitre on propose d'abord un regard d'ensemble sur ce type de modélisation, caractérisée par l'intégration de plusieurs théories différentes, dont celle des interactions spatiales de Lowry, de la maximisation de l'entropie, de la microéconomie urbaine de Von Thünen, des utilités aléatoires de McFadden et des modèles économétriques *d'entrées-sorties* de Leontief. La caractéristique principale de cette technique de modélisation réside donc dans la capacité à intégrer les aspects liés aux systèmes de transport et à l'usage du sol, et à la différence de la modélisation classique, où les données relatives à l'usage du sol sont entrées de manière exogène dans chaque horizon temporel de simulation, dans ce cas ces données sont générées directement par le modèle, en arrivant à reproduire la boucle de l'interaction entre transport et urbanisme.

Ensuite on expose les raisons qui ont amené au choix du logiciel de simulation *Tranus*, comme outil privilégié pour la modélisation d'une approche de TOD à l'échelle régionale. En particulier seront traités les principes fondamentaux, les spécificités et les théories à la base des

algorithmes de *Tranus*, ainsi que ceux qui règlent le processus de calibration du modèle. Cette dernière représente la phase la plus complexe, la plus délicate et la plus consommatrice de temps dans le travail de modélisation, et sans laquelle il n'est pas possible procéder à la simulation des différents scénarios de développement proposés. En conclusion du cinquième chapitre sont exposées les hypothèses de base, les données nécessaires, la structure générale et les phases plus importantes qui concernent l'implémentation du modèle *Tranus* pour le Nord-Pas-de-Calais.

Ensuite dans le sixième chapitre sont montrés, analysés et discutés les résultats et les enseignements du travail de modélisation. Le chapitre commence avec une description détaillée des choix de modélisation relatifs à l'implémentation du scénario de référence (basé sur la période de 2009) et des trois scénarios alternatifs de simulation (projetés en 2025).

On retourne ensuite sur le processus de calibration, avec une description des principaux paramètres et indicateurs et des équations contenus dans le sous-modèle de transport et dans le sous-modèle d'usage du sol, qui ont été impliqués dans le travail calibration.

En conclusion nous présentons les résultats de la modélisation, relatifs aux dynamiques d'usage du sol (localisation dans l'espace régional des ménages et des emplois et évolution des prix fonciers) et de mobilité (évolution de la répartition modale entre voiture particulière et transports en commun, fréquentation des gares et des lignes de TER, etc.). On propose des cartes thématiques, des histogrammes et des graphiques qui permettent d'évaluer les effets et l'impact de l'application d'un plan régional de TOD en Nord-Pas-de-Calais, en arrivant à définir les aires et les contextes où la réponse à ces hypothèses est plus marquée ou pas et en nous permettant donc de répondre à nos questions de recherche initiales.

Cette thèse s'inscrit dans le cadre d'un travail de recherche doctorale en aménagement et transport, qui s'est déroulé à l'*Université des Sciences et Technologies de Lille 1* à travers une cotutelle entre le *Laboratoire Ville Mobilité et Transport (LVMT)*, unité mixte de recherche de l'*Institut Français des Sciences et Technologies des transports, de l'Aménagement et des Réseaux (Ifsttar)* et le Département de Planification territoriale de l'*Université de Calabre* (Italie). Sur le sujet de la calibration du modèle intégré d'usage du sol et transport, qui a été implémenté avec le logiciel de simulation *Tranus*, sur le terrain de la région française du Nord-Pas-de-Calais, une collaboration scientifique internationale a été également mise en place avec le bureau d'étude Vénézuélien *Modelistica*, en permettant d'effectuer une visite de recherche de cinq semaines à Caracas.

1. Principes, limites et ambitions du développement territorial dans un approche intégrée et durable

"Une ville est d'abord et avant tout un réacteur social. [...] Il fonctionne comme une étoile, en attirant les gens et en accélérant l'interaction sociale et les sorties sociale d'une manière qui est analogue à la façon des étoiles de comprimer la matière et de brûler en devenant plus lumineuse et plus rapide en proportion de son extension."

"L'urbanisation est le phénomène social le plus rapide et intense qui soit jamais arrivé à l'humanité, peut-être à la biologie de la Terre. [...] Je pense que nous pouvons maintenant commencer à comprendre de nouveau et d'une meilleure façon pourquoi cela se passe partout dans le monde et, finalement, ce que cela signifie pour notre espèce et pour notre planète."

L. M. A. Bettencourt. *The Origins of Scaling in Cities.* **Science, 2013**

Dans cette recherche doctorale on se pose comme objectif d'aborder la thématique de la modélisation intégrée des systèmes de transport et de l'usage du sol, avec comme moyen la simulation et l'évaluation des effets et de l'impact de politiques spécifiques d'aménagement, orientées vers un développement urbain du territoire encourageant l'usage des systèmes de transport collectif et à visée de correction des phénomènes d'étalement urbain, pollution, ségrégation spatiale et sociale et dépendance de la voiture. Il a été donc considéré nécessaire de développer, dans ce premier chapitre, une réflexion précise sur les principes, les stratégies et les objectifs de l'aménagement et de la planification spatiale et des transports, portant sur l'organisation et le gouvernement du territoire. Dans ce chapitre on entend mettre en relief la complexité des thématiques liées à l'activité de planification, principalement en raison de la dimension pluridisciplinaire et de l'aspect multi-scalaire et multi-temporel qui caractérise cette discipline. On traite également les enjeux fondamentaux liés à une approche intégrée entre politique d'aménagement spatial et des transports, en considérant les dynamiques de cette interaction et en s'interrogeant sur les deux directions dans lesquelles cette interaction peut se dérouler. C'est-à-dire qu'on se propose de focaliser l'attention sur les dynamiques de développement territorial qui ont lieu soit dans des contextes où le développement des systèmes de transport suit le développement urbain, soit là où les réseaux de transport guident le développement. L'approche théorique intégrée qu'on propose dans ce chapitre constitue un support nécessaire sur lequel baser la conception et les hypothèses à la base du travail de modélisation, qui est illustré dans la seconde partie de cette thèse.

1.1. La planification comme outil pour l'organisation et la gouvernance du territoire

Un processus de planification lié à une quelconque échelle territoriale doit, dans un premier temps, définir clairement des objectifs stratégiques, en tenant compte des alternatives possibles et des scénarios futurs qui peuvent se produire dans la période considérée. En particulier, quand on évoque des buts et des objectifs des politiques d'aménagement, il faut préciser qu'il existe différents niveaux et de nombreuses étapes qui déterminent ces objectifs. P.Hall (1992), à cet égard, identifie trois étapes fondamentales dans la définition des objectifs du processus de planification. Au départ, devraient être, en effet, formulés les objectifs stratégiques généraux, en précisant les secteurs de la société et les régions géographiques et, par la suite, devraient être définis les programmes et les actions spécifiques à entreprendre. Enfin, il faudra décider les interventions précises à faire, en fournissant des détails sur la façon et le lieu où il faudra intervenir (Bernard, 2004). Une fois que sont définis la vision globale et les objectifs stratégiques, le processus de planification se poursuit par la définition des orientations et pistes opérationnelles, établissant ainsi un ensemble de règles et de règlements qui vont à affecter l'organisation, en général et sur les modalités de gestion et de gouvernement des territoires concernés.

En fait, étant donné la complexité inhérente, en raison de l'implication des nombreux acteurs et des intérêts souvent contradictoires, et le fait qu'en général le processus de planification vise essentiellement à réguler la dynamique des choix humaines, un facteur de causalité et d'incertitude, dans le cadre des processus d'aménagement du territoire et des transports, doit toujours être pris en compte (Hall, 1992). En outre, le contexte changeant et en constante évolution ainsi que le nombre incalculable de facteurs et variables qui interagissent et peuvent influencer sur la dynamique de fonctionnement des territoires urbains et sur les processus économiques et sociaux qui s'y déroulent, impliquent une imprévisibilité importante et donc une extrême difficulté de prévoir avec certitude les phénomènes futurs de développement des territoires. Il est donc indispensable qu'il y ait un travail de prévention, de veille et de contrôle continu du territoire et donc une profonde compréhension des dynamiques socio-économiques et environnementales présentes, afin d'évaluer, de façon adéquate, l'évolution dans le temps des processus spatiaux ciblés par les interventions de planification.

À cet égard, un élément de complexité réside, précisément, dans la définition des procédures et des méthodes pour l'identification, la compréhension et le traitement des données et des informations nécessaires à cette activité de surveillance utile pour traiter et formuler, au mieux, les décisions et les politiques de planification.

Fondamentalement, si on considère l'approche définie de la *planification spatiale systématique* (Hall, 1992), les procédures de planification peuvent être ordonnées, essentiellement, selon une conception schématique et séquentielle des différentes actions qui sont décrites dans une série d'étapes, répétées en manière itérative et donc répliquées au fil du temps. Ce processus est divisé en plusieurs étapes qui peuvent être ainsi résumées brièvement :

Processus 1:

Étape 1: Observation du territoire

Étape 1: Définition du problème

Étape 2: identification et formulation des objectifs stratégiques :

Étape 4: évaluation des solutions alternatives et des scénarios possibles

Étape 4: Identification des actions et des interventions

Étape 5: Définition des méthodes et techniques d'intervention

Étape 6: Mise en œuvre de l'alternative sélectionnée

Étape 7: Suivi, contrôle et évaluation des effets

Processus 2

Étape 8: Observation du territoire

Étape 9: Définir le problème



“La planification comme activité générale est la réalisation d'une séquence ordonnée d'action qui mènera à la réalisation d'un objectif ou des objectifs déclarés.” (Hall, 1992)

Toutefois comme on verra en détail dans la suite du texte, cette linéarité et rationalité dans le processus de planification n'est pas souvent respecté, en raison des plusieurs arguments. Théoriquement la planification et donc la définition des objectifs précèdent le projet, le quel se nourrit des choix et stratégies de planification. Dans le cadre de l'activité réel d'élaboration des documents de planification, on observe le processus inverse. L'ensemble des différentes expériences de projet déjà présentes vont à alimenter la conception du document de planification, qui devient un système de projets ou projet global (Hernandez, 2003) et qui se caractérise en particulier par sa manière d'intégrer et lier les projets urbains ou des transports considérés.

1.2. Principes, stratégies et objectifs de la planification des transports

La planification des transports représente l'ensemble des outils et des activités qui servent au gouvernement et à la gestion du fonctionnement des systèmes de transport. Lorsqu'on se réfère à la planification dans le cadre du système de transport et de la mobilité, on procède, d'abord, par la clarification des enjeux sur lesquelles on souhaite intervenir, en soulignant les objectifs et les stratégies comme, par exemple, la réduction de la dépendance automobile, la réduction des émissions polluants ou l'augmentation de l'efficacité des services de transport public. Suite à la définition de ces objectifs stratégiques, on procède ensuite la définition des priorités d'actions et des interventions opérationnelles, lesquelles peuvent concerner soit des interventions sur les infrastructures, soit la réorganisation de l'exploitation des services de transport ainsi que la gestion de l'interaction entre les composantes territoriales et donc les différentes fonctions et ressources urbaines et les systèmes de transport.

En relation avec la planification des transports, Litman indique la nécessité d'adopter un nouveau paradigme et donc une nouvelle façon de concevoir, d'évaluer et de mettre en œuvre des stratégies et des politiques liées aux systèmes des transports (T. Litman, 2013).

En substance, il indique que la nécessité de développer des politiques de transport plus durables et, en même temps, plus efficaces exige de dépasser la vision traditionnelle basée sur la mobilité (*mobility based*), destinée principalement à maximiser la vitesse de parcours et la fluidité du transport routier pour l'accent sur la notion d'accessibilité et de multimodalité (T. Litman, 2013).

Le *nouveau paradigme* de la planification des transports doit, selon Litman, se décliner à travers des méthodes d'analyse plus intégrées avec les autres secteurs et disciplines et surtout avec un caractère multimodal pour lequel l'efficacité d'un système de transport, la faisabilité des interventions et la planification des transports doivent être évaluées non seulement en référence à la vitesse de déplacement, mais en donnant plus d'importance à d'autres facteurs tels que la connectivité, l'accessibilité aux systèmes de transport public, la mobilité non motorisée¹, la durabilité environnementale et l'efficacité économique.

“La planification multimodale (des transports) répond mieux à la demande des usagers” (T. Litman, 2013).

La planification des transports doit donc agir avec comme objectif principal : l'amélioration de l'accessibilité vers toutes les modalités et pratiques de mobilité, ce que signifie que la

¹ Comme cité par Litman, le nouveau Highway Capacity Manual comprend en plus de l'indicateur traditionnel du niveau de service des systèmes de transport, qui se réfère à la valeur de la vitesse, un nouvel indicateur du niveau de service *multi-modale*, qui évalue les conditions d'accessibilité des modes actif et vers les transports publics.

planification doit concevoir des stratégies, des méthodes et des interventions qui, en plus d'améliorer le niveau de connectivité du réseau de transport, visent à promouvoir et à encourager la mise en œuvre des systèmes de mobilité dans leurs dimensions multimodales et intermodales, c'est-à-dire intégrés et adaptés aux différents besoins de mobilité et aux différentes échelles spatiales. Promouvoir la durabilité dans le secteur des transports, c'est aussi la promotion des politiques visant à une réduction et, surtout, à une redéfinition de la façon d'utiliser la voiture particulière dans le cadre de la mobilité quotidienne en fournissant à l'utilisateur une plus grande variété de solutions et d'opportunités dans les choix de mobilité.

“La Planification durable met l'accent sur les résultats, tels que la qualité de l'accès, plutôt que la simple mesure de la quantité de mobilité. [...] l'accroissement du mouvement n'est pas nécessairement bénéfique, il peut témoigner d'inefficacités qui nécessitent plus de déplacements pour répondre aux besoins. Seulement en mesurant le transport en termes d'accès les options qui réduisent le besoin de se déplacer, peuvent être correctement évaluées” (Litman, 2003)

1.3. Principes, stratégies et objectifs de la planification territoriale

L'aménagement du territoire se rapporte à l'espace, non seulement comme une entité géométrique mais également comme un lieu d'interaction sociale et économique. Il constitue donc un outil utilisé pour définir des stratégies et des politiques à moyen et long terme qui permettent d'envisager un développement durable, du point de vue environnemental, social et économique, de façon coordonnée et intégrée aux différents types et échelles spatiales (par exemple, en milieu rural et urbain) et pour différents groupes sociaux de population et secteurs économiques et productifs. La planification territoriale se pose donc comme un instrument de régulation et de promotion du développement, afin de renforcer la compatibilité entre cohésion et l'efficacité dans le fonctionnement d'un territoire. En utilisant les outils et les méthodes de l'aménagement du territoire, nous traitons donc de la réglementation des dynamiques liées à la répartition des biens dans l'espace, non pas en définissant uniquement des destinations pour l'usage des sols, mais plutôt en élaborant des stratégies de caractère général, de développement et d'organisation du territoire.

“ La planification est un processus continu, qui fonctionne en cherchant à trouver des moyens appropriés de contrôle du système concerné, et en surveillant les effets pour voir dans quelle mesure les contrôles ont été efficaces ou jusqu'à quel point ils ont besoin de modifications ultérieures..” (Hall, 1992)

Un rapport publié par les Nations Unies en 2008, sur le thème de l'aménagement du territoire, analyse les objectifs, les difficultés et les différentes méthodes de planification territoriale (Economic Commission for Europe - UN, 2008). Les principaux objectifs de l'aménagement du territoire se réfèrent donc au système économique, social et environnemental d'un territoire. En particulier, dans le cas du système économique, l'objectif est principalement de donner au territoire la capacité d'améliorer son attractivité et sa compétitivité, de manière à encourager les investissements dans le secteur productif, créer des emplois et proposer un développement qui soit compatible avec les besoins, les capacités et les ressources du contexte territorial en question. Du point de vue social, cependant, le principal objectif est de promouvoir un aménagement du territoire qui puisse faciliter l'accessibilité au marché du travail, assurer une équité sociale, une répartition équilibrée des ressources et des services et, par conséquent, qui puisse améliorer le niveau général de qualité de vie de la population. Du point de vue environnemental, l'organisation, la répartition des différentes fonctions et ressources du territoire, doit être réalisée de manière à préserver l'environnement naturel, minimiser les risques dus à la pollution et à la consommation des ressources naturelles et énergétiques. Dans le même document publié par les Nations Unies, sont décrits les défis et les principes fondamentaux de la planification de l'usage des sols ainsi que les rôles et les niveaux de responsabilité qui, dans ce domaine, couvrent les différentes entités et acteurs impliqués (Economic Commission for Europe - UN, 2008).

Les principaux défis auxquels on doit faire face, actuellement, dans la définition et la mise en œuvre des politiques, des stratégies et des méthodes de planification spatiale, sont essentiellement liés à la capacité de gérer et de prendre en compte les changements intervenus dans le contexte des dynamiques économiques (aujourd'hui caractérisées par une forte tendance à la mondialisation, à l'interaction et à la concurrence continue entre les marchés et les territoires), des besoins démographiques (caractérisés par un phénomène constant d'urbanisation et par conséquent par une augmentation de l'étalement urbain et de la consommation des sols) et du besoin de concevoir des pratiques de développement durable, en particulier dans une perspective environnementale (nécessité de concevoir des méthodes écologiques de construction et d'utilisation efficace des ressources énergétiques).

En ce qui concerne les principes théoriques qui doivent être poursuivis dans le cadre de l'aménagement du territoire, dans le rapport de « *Economic Commission for Europe* » des Nations Unies, on identifie les éléments suivants :

- *principe démocratique* : les décisions d'aménagement doivent, dans tous les cas, être conçus dans un processus de prise de décisions de caractère démocratique ;

- *principe de subsidiarité* : le processus de prise de décision doit être coordonné et intégré avec les différentes échelles et niveaux territoriaux ;
- *principe de participation* : il faut créer des conditions et des dynamiques décisionnelles qui impliquent et comprennent les communautés concernées, afin de rendre les politiques plus partagées et acceptées ;
- *principe d'interaction* : promouvoir l'intégration entre les différents niveaux de prise de décision entre les différentes stratégies sectorielles et territoriales et les frontières institutionnelles et administratives ;
- *principe de proportionnalité* : se référer à la nécessité de maintenir un équilibre entre le caractère réglementaire et donc rigide des politiques de planification spatiale et la flexibilité parfois exigée dans la pratique opérationnelle ;
- *principe de précaution* : toute décision doit être prise en tenant compte de tous les risques de caractère réversible ou irréversible, notamment en référence à l'environnement, à la santé et à la sécurité publique.

En ce qui concerne la définition et la répartition des tâches et des responsabilités entre les différents niveaux territoriaux, on peut affirmer que, le niveau national concerne plutôt un rôle stratégique et législatif de caractère général, au niveau régional on procède plutôt à l'interprétation et à l'adaptation de ces orientations nationales, tandis qu'au niveau local, on définit des outils et des actions pour la mise en œuvre efficace des politiques d'aménagement sur le territoire. En particulier, au niveau national, on peut définir les principes législatifs et stratégiques des politiques d'aménagement du territoire, en identifiant les compétences et les acteurs impliqués, en contrôlant les investissements publics ainsi que le développement des structures de contrôle, de soutien et de supervision. À l'échelle régionale, on cherche à guider les collectivités locales dans la mise en œuvre des politiques de planification, à définir les orientations et les priorités d'action en adoptant, même à cette échelle, des processus de surveillance et de contrôle plus précis. Au niveau local on procède à la mise en œuvre des politiques d'aménagement, conformément aux directives nationales et régionales, à travers la définition des plans, l'interaction avec la communauté et la collaboration avec toutes les entités territoriales locales concernées (Economic Commission for Europe - UN, 2008).

Bien évidemment ce schéma hiérarchique rigide entre institutions nationales et collectivités territoriales (*nation – région – ville*), qui vient d'être décrit, s'avère flexible et adaptable en fonctions des différents contextes. Existente en fait différentes processus politiques et historiques qui ont accompagné l'institution de ces pouvoirs en Europe. Certaines villes ou agglomérations possèdent une légitimité territoriale plus forte que la région, notamment dans le cas français et en particulier dans l'exemple lilloise, ou l'affirmation des institutions relative à la

métropole naissent en 1960, tandis que le pouvoir régional en France émerge seulement à partir des années 1980.

1.4. L'échelle urbaine et la fonction de l'urbanisme

« L'urbanisme est la manière démocratique d'agencer les activités des citoyens dans le temps et dans l'espace ». (Paquet, 2007)

Quand on parle d'urbanisme on entend cette science et savoir professionnel qui s'occupe de gérer les dynamiques du développement urbain, les relations, les transitions et les combinaisons (Paquot, 2010) qui se dessinent dans l'espace urbain et donc de définir les stratégies et les méthodologies d'aménagement du territoire, en conformité avec les lois et les règlements en vigueur et surtout en harmonie et respect des caractéristiques intrinsèques du milieu dans lequel la ville se développe. D. Martouzet (1993) observe également que l'action de l'urbaniste et de l'aménageur peut se définir comme un art au sens de l'artisan (et pas de l'artiste), comme un savoir et savoir-faire acquis sur le terrain, de type soit pratique que théorique, mais toujours orienté vers l'action et le projet. L'urbaniste doit savoir lire, déchiffrer et se lier à la réalité, ainsi que savoir se projeter vers une perspective et un temps futur, il doit savoir donc agir en équilibre continu entre un caractère concret et une capacité visionnaire et créatrice.

“L'urbanisme est un problème, pas une solution. Il repose sur des idées, des convictions, des utopies. Il réclame du débat.” (Paquot, 2010)

La tentative de construire, pour n'importe quelle question pratique, des solutions concrètes devient l'acte même de révélation de l'urbanisme en tant que problème et en tant que conflit entre la solution idéale et la solution possible. Cependant, l'urbaniste, même s'il se base sur des principes et fondements théoriques, logiques et rationnels, réfléchit de toute façon subjectivement et propose sa caractérisation de la vie et du fonctionnement du milieu urbain sur lequel il opère. À ce propos, Cerdà, dans son ouvrage : *“La Teoria General de l'Urbanization”* (1867), observe que la vie se déroule, dans le contexte urbain, en suivant deux directrices fondamentales: le repos et le mouvement (Cerdà, 1867) et que l'urbanisme agit sur les deux éléments de cette dynamique, en s'occupant soit du repos (les constructions, les bâtiments), soit du mouvement (le milieu extérieur, les réseaux de transport, etc.). La gestion des dynamiques de fonctionnement urbain et territorial devient, en outre, une action politique et un compromis entre les différents acteurs, entre les différents besoins, idées et visions de l'espace urbain et

entre les choix d'organisation réglementaire et opérationnelle de la ville. À travers la science et la technique de l'urbanisme, on procède à la configuration et à la définition des mécanismes liés au vivre urbain, aux pratiques et modalités de transport, à l'organisation du loisir et de l'emploi, à la gestion des flux matériels et immatériels, au rapport entre ces flux et les lieux, les énergies et les spécificités du territoire. Quand on parle de choix urbanistiques, on se réfère donc surtout aux stratégies rapportées à l'organisation des espaces et du milieu urbain, par exemple, à la définition des plans de gestion du trafic et de la circulation, aux choix de localisation des différentes fonctionnalités et ressources urbaines, à la définition des typologies d'usage des sols et des caractéristiques constructives et fonctionnelles correspondant à chaque typologie de territoire. Offner (2010) synthétise cet ensemble d'actions et interventions en cristallisant la définition d'urbanisme dans le concept d'«*établir des distances entre des fonctions*».

La ville et plus généralement le milieu urbanisé, cependant, sont des éléments du territoire qui vivent une condition de changement et évolution continue au cours du temps, sous l'influence des nombreux facteurs, contextuels et contingents, et qui produisent donc des dynamiques relativement contrôlables mais jamais totalement prévisibles. Cette condition complique le travail de l'urbaniste, lequel s'occupe précisément de "*lire le paysage urbain*" (Lynch, 1976) et d'en comprendre et en prévoir les dynamiques et les processus évolutifs.

«Une ville est une organisation à buts multiples, toujours changeante, un abri pour de nombreuses fonctions, construite à une vitesse relative par un grand nombre de mains» (Lynch, 1976).

Évidemment, au-delà de la figure de l'urbaniste, ce sont multiples les acteurs qui participent à la définition et au pilotage de telles organisations stratégiques et fonctionnelles du territoire : des institutions (Paquot, 2010) (État, Région, Communs, etc.) jusqu'aux habitants et donc à la totalité des utilisateurs du milieu urbain. Il est important, dans ce cadre, qu'entre en jeu l'apport fondamental du processus de participation, instrument complexe mais indispensable pour que chaque décision soit, le plus possible, partagée par les différents membres de la collectivité. La concertation et la participation des habitants, ou plus généralement des utilisateurs d'une quelconque fonction urbain, aux décisions et choix de planification et aménagement, peut en fait permettre de mieux définir les priorités d'intervention et donc de mieux adresser les investissements publics, qui sont par définition limités et qui souvent sont mobilisés sans tenir en compte les effectifs besoins des citoyens.

« Dans l'urbanisme participatif, la difficulté consiste à exprimer une opinion qui ne soit pas la somme des opinions individuelles mais plutôt la consolidation d'une opinion collective. » (Paquot, 2010)

Bien évidemment les difficultés et les complexités sont multiples et en rapport, surtout, avec la qualité d'unicité caractérisant chaque territoire comparé aux autres (Paquot, 2010), ainsi qu'avec la problématique de conjuguer les perceptions et les besoins des chacun avec l'intérêt collectif. Kevin Lynch définit l'image collective d'une ville comme l'ensemble d'innombrables images individuelles (Lynch, 1976), chacune unique et nécessaire à la construction de l'identité d'un lieu et fonctionnelle à l'appropriation de tel lieu de la part de ses habitants. Cette image selon Lynch est déclinée en quelques éléments fondamentaux du milieu urbain, qui seront donc objets du travail de l'urbaniste: les voies, les limites, les quartiers, les nœuds et les points de repère (Lynch, 1976). Si toutefois, en quelques cas et en référence à quelques aspects fonctionnels spécifiques, peuvent se déterminer des caractéristiques et des dynamiques urbaines reproductibles et vérifiables dans des contextes extrêmement différents (par exemple le rapport entre centre et périphérie), le consensus parmi les observateurs de l'urbanisme pose qu'on ne peut jamais faire abstraction des spécificités culturelles, environnementales, socio-économiques et géographiques présentes dans chaque lieu (Paquot, 2010).

Les instruments techniques et juridiques dont l'urbaniste se sert pour opérer ont une double fonction, celle de coordonner et de gérer les différentes temporalités, rythmes et modalités d'usage du milieu urbain ainsi que d'encourager, favoriser et faciliter les interactions sociales et économiques qui viennent à se créer dans un territoire. Il s'agit donc d'assurer un caractère adaptable, réversible et résilient aux stratégies urbanistiques appliquées au territoire, car comme nous verrons par la suite, chaque solution ou intervention doit être conçue en tenant compte des évolutions et conséquences possibles qui se vérifieront à l'intérieur du système et qui respecteront le contexte extérieur. Dans cette optique D. Martouzet (1993) considère comme *éthique* une intervention urbanistique ou d'aménagement, seulement si elle est réversible. Selon T. Paquot (2010) en outre, l'urbanisme peut être considéré comme un "*bien commun*" de la société, c'est-à-dire « bien de tous, qui appartient à tous, en bloc, mais qui appartient aussi à chacun en particulier, en tant que membre de la communauté » (Michel, 1932). Rapportés à la communauté, les choix urbanistiques se réfèrent et s'adressent tant à la réalisation et au respect des droits de la population (droit à la mobilité, droit à la maison, droit aux loisirs, etc.), qu'à la création et à la définition des devoirs qu'il faut respecter.

Les choix urbanistiques deviennent ainsi générateurs de nouvelles limites et de nouvelles règles et se proposent de donner une représentation matérielle et physique du fonctionnement

territorial correspondant à la configuration et à l'organisation socio-politique du territoire. Les décisions et les processus d'élaboration des choix urbanistiques ne peuvent pas, en outre, être immédiats et rapides dans le temps, car on a besoin d'un temps technique et d'un temps pratique pour réfléchir à la complexité de ces opérations planificatrices, constituées de phases et de passages multiples: la concertation, le plan, le projet, la recherche des financements, la comparaison, l'accord entre les différents acteurs, le processus participatif, la mise en œuvre, la réalisation, les corrections en cours de réalisation, l'entretien et le contrôle (Paquot, 2010).

1.5. L'échelle régionale et sa complexité

Une région est une entité territoriale qui comprend un ensemble de zones plus ou moins différenciées, unies principalement par des principes de cohérence géographique, historique, sociale et culturelle, en déterminant ainsi une identité commune (OCDE, s.d.). Une région se caractérise également par la présence de fortes interactions et donc d'intenses relations entre les différentes entités et unités spatiales qui la composent ainsi qu'entre les différentes fonctions et activités présentes. Calthorpe et Fulton définissent le terme *région* de la manière suivante :

“Une grande et multiforme région métropolitaine englobant des centaines d'endroits que nous aurions toujours considérés portions d'une communauté distincte” (Calthorpe & Fulton, 2001)

Si les composantes spatiales et, donc, les différentes entités d'une région sont caractérisées par des attributs homogènes et équilibrés, comme dans le cas des zones touchées par des phénomènes climatiques spécifiques ou qui présentent des caractéristiques et des types de ressources naturelles particulièrement dominants, on peut parler de régions uniformes ou homogènes (Richardson, 1969). Par contre, on peut parler de régions plutôt nodales, lorsqu'elles sont caractérisées par une interdépendance générale entre les différentes composantes territoriales, qui diffèrent par des particularités spécifiques liées aux différents services, fonctions et activités qu'elles sont en mesure d'offrir.

Dans le cas où les composantes territoriales d'une région donnée présentent plutôt une bonne conformité par rapport aux stratégies programmatiques et décisionnelles, de caractères politique, économique et administratif, au-delà des spécificités géographiques et des particularités du territoire, on parle de régions d'aménagement ou de planification (Richardson, 1969). La définition des limites géographiques d'une région peut donc s'appuyer principalement sur trois types de caractérisation d'un territoire: biophysiques, politiques et socio-économiques (Glasson & Marshall, 2007). Par rapport à l'explicitation du caractère sociale, dans le sens

d'appropriation et d'adaptation réciproque entre l'homme et l'espace, la définition de territoire fourni par Le Berre (1992) s'avère extrêmement éclairante.

« Le territoire est la portion de surface terrestre appropriée par un groupe social pour assurer sa production et la satisfaction de ses besoins vitaux » (Berre, 1992)

Les attributs physiques d'un territoire (mers, fleuves, chaînes de montagnes, etc.) ont été, en fait, souvent pris en référence dans la détermination et la définition des confinements territoriaux ou des limites institutionnelles. Mais, avec le temps, la perception et la fonction de ces *obstacles* ou attributs du territoire peuvent changer en modifiant et en réduisant la fonction de séparation et de limite, fait référence à ces éléments (par exemple: la construction d'un tunnel pour la traversée d'une montagne réduit, considérablement, la distance entre les deux versants et donc la perception de frontière représentée par la montagne). Bien que la définition des limites et des frontières physiques et institutionnelles soit une étape réelle pour la création et la reconnaissance de l'identité d'une région, il s'agit toutefois d'un élément complexe (Glasson & Marshall, 2007) car, souvent, les interactions entre les territoires dépassent ces limites institutionnelles. À cet égard, dans la littérature du domaine de l'économie et du développement régional, a émergé une nouvelle vision des structures territoriales régionales, en tenant compte du fait que la multiplication et le prolongement des interactions et des échanges économiques entre territoires, aboutissait à la définition d'un nouveau type d'entité économique et de cohésion territoriale : les méga-régions (Gottman, 1961). Il s'agit de la conception d'entités spatiales et fonctionnelles et de structures territoriales et économiques à grande échelle, qui se déploient sans prendre en compte les limites institutionnelles du territoire, mais plutôt la concentration des éléments d'innovation, de production et de consommation (Florida, et al., 2007) et donc l'intensité des relations d'interaction entre les territoires.

“Une mega-region est une agglomération polycentrique des villes avec leurs aires périurbaines à bas densité [...] Les mega-regions sont par définition des espaces qui concernent une grande population, un grand marché, des capacités économiques significatives, une activité d'innovation substantielle et des talents de haut qualité”. (Florida, et al., 2007)

Une étude intéressante, réalisée en 2007 à l'Université de Toronto, a identifié 40 méga-régions, à l'échelle mondiale, à travers l'observation des émissions de lumière électrique réalisée grâce à des images satellites nocturnes (Florida, et al., 2007). L'ensemble des 40 méga-régions identifiées produit une activité économique de plus de 100 milliards de dollars, ce qui

représente 66 % de l'activité économique et 85% de la production technologique et d'innovation dans le monde entier, même si ces données ne se réfèrent qu'à une petite fraction de la surface du globe et seulement 18 % de la population mondiale totale (Florida, et al., 2007). A l'issue de cette étude, il a été observé que, en face d'un phénomène croissant de mondialisation de l'économie mondiale, la répartition de l'activité économique et de la richesse est concentrée dans un nombre relativement restreint de macro-zones géographiques.

Ces dynamiques sont difficiles à analyser en raison de la difficulté d'élaborer des indicateurs économiques qui permettent de sortir des limites institutionnelles traditionnelles des territoires locaux, régionaux ou nationaux mais statistiquement comparables (Néchet, 2011). En général, un système régional est donc un ensemble territorial généré par les interactions et les connexions entre les entités géographiques présentes dans cette zone et entre les différents composants du système de production et des services dans chacune de ces entités.

Dans un système économique régional, on peut donc identifier différents nœuds ou centres économiques (Johansson, 1993) qui, à leur tour, peuvent être définis, par des degrés divers, de concentration de population et de présence d'infrastructures et services. L'interaction entre les différentes composantes de ce système devient donc génératrice de l'intégration économique régionale et de la nécessité de mobilité et de connexion spatiale (Karlsson, et al., 2007).

Toutefois, cette interaction a un coût qui dépend, en particulier, des coûts de transport et qui devient un élément fondamental pour la détermination de l'extension, de la forme et de l'amplitude physique de la région (Karlsson, et al., 2007), ainsi que pour la définition des stratégies de planification et des politiques et procédures de gestion et de gouvernance du territoire. Dans ce contexte, les infrastructures de transport, au service de l'interaction et de l'intégration d'un système économique régional, sont d'une importance stratégique et forment la structure de base et le pilier sur lequel se développe et évolue la dynamique de fonctionnement régionale.

Le système d'infrastructures de transport fournit donc un outil qui permet le fonctionnement du système intégré régional mais, en même temps, il se caractérise par une extension qui est, par définition, limitée et diversifiée en raison des différentes configurations et caractéristiques spatiales. Par conséquent, dans certaines situations, celles-ci pourraient même accentuer et consolider l'isolement de certaines parties du territoire. Il s'agit exactement du concept proposé par G. Dupuy (1991) d'opposition entre réseau relationnel (maximal) et réseau réel (limité par des contraintes multiples). On parle donc d'infrastructures matérielles régionales lorsque nous nous référons aux éléments physiques, répartis dans l'espace, qui permettent de réaliser la nécessité d'une interaction spatiale dans le cas du transport (routes, voies ferrées, aéroports, etc.), mais aussi des besoins fonctionnels d'une société et d'un territoire, comme dans le cas des

infrastructures connexes à l'approvisionnement hydraulique, la protection du territoire, la distribution de l'énergie et les télécommunications. Les infrastructures immatérielles sont celles liées à la promotion, la distribution et la conservation des ressources liées au capital humain, culturel, historique et institutionnel (A.E. Andersson, 1985). Elles permettent de consolider et de développer l'identité d'un territoire, parallèlement à son développement technologique et économique. Une économie régionale peut donc être influencée soit par des dynamiques provenant de l'extérieur soit par des processus de développement générés de l'intérieur (Karlsson, et al., 2007). En tout cas, parmi les principaux facteurs qui déterminent la spécificité et la spécialisation des systèmes économiques régionaux, l'innovation et la capacité de relation entre l'offre et la demande d'emplois et, par conséquent, entre le système productif et la main-d'œuvre sont fondamentaux. Dans ce cas, l'indicateur de l'accessibilité est un attribut vital dans le fonctionnement d'un système économique régional car il est un maillon essentiel dans la réalisation de cette interaction entre l'offre et la demande de main-d'œuvre. En particulier, la population totale et l'ensemble du système et des activités, internes et externes au système régional, représentant l'approvisionnement total et la demande potentielle du marché du travail d'un territoire. En ce sens, la localisation et la distribution sur le territoire, de cette interaction entre l'offre et la demande d'emplois, sont indispensables, par exemple pour la détermination de la dynamique des choix de localisation résidentielle de la population et donc l'emplacement des infrastructures matérielles et immatérielles, à savoir les fonctions et services de soutien à l'exploitation d'un tel système (Karlsson, et al., 2007). Cette dynamique de localisation se produit donc en fonction de l'accessibilité et, en conséquence, de l'attractivité d'une région, c'est-à-dire, selon la dotation infrastructurelle et technologique, la qualité de l'offre territoriale en termes d'activités et services et en fonction des niveaux d'accessibilité disponibles pour l'accès à ces éléments sur le territoire.

1.6. Stratégies et paradigmes pour le gouvernement des régions

La stratégie politique territoriale européenne projetée à l'horizon 2020 (European Commission, 2010) est principalement basée sur la considération d'exploiter la diversité spatiale comme une ressource et un point de départ pour construire une identité et un processus de développement plus durable pour l'avenir. Grâce à l'étude, l'analyse et la compréhension des diversités et donc des différentes spécificités territoriales, on peut alors procéder à l'élaboration d'une stratégie de cohésion territoriale qui peut devenir la force motrice pour le développement et un instrument de réaction à la crise économique actuelle. Construire des dynamiques de cohésion territoriale signifie identifier et analyser tous les phénomènes d'interaction et d'interdépendance ainsi que

les déséquilibres et les inégalités entre territoires (Prezioso, 2013) qui se produisent entre zones urbains, régions et macro-régions et qui concernent les structures socio-économiques, environnementales et culturelles présentes.

“Du point de vue de l’analyse géographique, la cohésion est représentée et mesurée par un type de région dans laquelle les processus économiques, sociaux, culturels et environnementaux sont directement influencés par l’intégration et l’interdépendance des relations (coopération interne et externe) (Prezioso, 2013)

L'objectif est d'améliorer la capacité de concurrence et donc l'attractivité des régions, en stimulant et en encourageant les formes territoriales polycentriques et de *multilevel governance*, ainsi que la coopération entre les institutions, les entreprises et les citoyennetés (Prezioso, 2013), mais aussi de promouvoir la fonction d'interconnexion et de cohésion sociale (Calthorpe & Fulton, 2001) qui peut également caractériser un système territorial régional.

Le paradigme du polycentrisme trouve dans ce cas sa justification dans le concept de renforcer la fonction de centralité, comme moteur économique et donc comme élément stimulateur des dynamiques de fonctionnement d'un territoire, dans un contexte de multiplicité et donc de système de plusieurs centralités qui couvrent l'espace. Cette diversité au sein des structures régionales peut évidemment toucher, à la fois, l'organisation territoriale spécifique de systèmes économiques et productifs et donc le fonctionnement général du territoire.

Du point de vue des dynamiques liées aux systèmes économiques et productifs et, en général, à l'interaction entre les systèmes de transport et d'usage des sols, très souvent, les frontières et les limites institutionnelles d'un territoire ne correspondent pas au fonctionnement réel des relations et des échanges économiques entre les territoires régionaux (Calthorpe & Fulton, 2001) . Ceci conduit, par conséquent, à des difficultés considérables dans la définition et la mise en œuvre des politiques et stratégies de planification. L'avènement de l'économie globalisée et l'intensification des relations et interconnexions entre territoires, populations et activités de production, ont créé une augmentation considérable de la complexité dans le contexte de la *gouvernance* régionale des systèmes territoriaux. Il en résulte fondamentalement une nécessité stratégique de concevoir des méthodes de planification à l'échelle régionale et des processus de spécialisation et de consolidation de la compétitivité territoriale. La prospérité et le dynamisme d'un territoire régional, en fait, dépendent de la capacité de concevoir les différents éléments du système régional comme une seule entité économique et sociale, capable d'intégrer et de partager des stratégies et des modèles de développement.

Pour de nombreux auteurs actuels, la région doit être conçue comme l'unité territoriale de base dans le fonctionnement du système économique mondial (Calthorpe & Fulton, 2001).

En même temps, la diversité et l'hétérogénéité des différentes unités territoriales et des types sociaux ou environnementaux (Calthorpe & Fulton, 2001), qui peuvent être identifiées à l'intérieur d'une région, appellent une approche qui met l'accent sur l'équité sociale, la redistribution et l'équilibre des ressources et des fonctions productives, en différenciant ainsi le mode de programmation et de planification en fonction du contexte, tout en préservant une stratégie globale de développement régional.

“Les liens économiques, écologiques et sociaux entre les résidents et les communautés dans la région métropolitaine d'aujourd'hui sont solides et complexe. [...] Les zones urbaines et périurbaines peuvent être séparés les uns des autres sur le plan politique, mais ils fonctionnent ensemble pour créer un organisme complexe et interconnecté qui constitue la base de la vie quotidienne des gens” (Calthorpe & Fulton, 2001).

Un système économique régional peut donc être caractérisé par une spécialisation importante ou par une diversification sectorielle plus marquée du système d'activités. Cette différence de configuration se reflète sur la dynamique de localisation des activités productives et des résidences, sur les habitudes de mobilité et sur la gestion et la distribution des services. Les principales conditions qui touchent la spécialisation du système des activités d'un territoire régional sont liées aux ressources, au niveau d'expertise professionnelle, de développement technologique et infrastructurel acquis et à la capacité d'intégrer et de gérer, de manière durable, les différentes échelles spatiales (Johansson & Karlsson, 2001). Dans une région peuvent donc se développer ce qu'on appelle des «clusters», c'est-à-dire des districts productifs qui se concentrent dans un domaine particulier, où les entreprises et les activités productives se spécialisent et opèrent dans le même secteur. En ce sens, la taille de la région peut favoriser une plus grande innovation et diversification de l'économie (Hacker, et al., 2004) et une multiplication de l'implantation de ces districts de production spécialisés. Notons cependant que l'ampleur et l'étendue du territoire n'est pas un facteur qui, automatiquement, peut favoriser une tendance vers un plus grand dynamisme du système économique régional (Karlsson, et al., 2007).

1.6.1. Les politiques des transports au niveau régional

Définir les objectifs et les orientations stratégiques de la politique régionale des transports, signifie essentiellement élaborer des décisions et actions sur le territoire, qui permettent

d'améliorer la compétitivité et l'attractivité régionale, pour répondre efficacement à la demande de mobilité et à la nécessité de interaction spatiale et d'échanges entre les activités dans la région, afin de promouvoir et d'encourager la distribution sur le territoire des activités et des services et d'assurer l'accessibilité dans toute l'espace régionale (OCDE, s.d.). Cependant, il est très difficile évaluer et de mesurer l'impact direct des politiques de transport et des investissements sur les infrastructures de transport, sur le système économique et productif, et donc sur le développement global d'une région (Offner, 1993).

« Actuellement il est impossible de déterminer sans équivoque si l'expansion de l'infrastructure de transport va favoriser le développement économique des régions sous-développées » (OCDE, s.d.).

Les investissements liés au système des infrastructures des transports se traduisent cependant pour les utilisateurs du système, par une amélioration de la qualité et de la sécurité et une réduction du temps et donc des coûts généralisés de transport. Cet effet conduit également à une augmentation substantielle des possibilités d'accès au marché du travail et du potentiel de croissance et de développement économique, dans le cadre du système de production.

En particulier, l'utilisateur du système de transport, grâce aux améliorations dues à l'investissement dans l'infrastructure du système et aux services annexes de transport, a la possibilité de modifier son comportement lié à la mobilité. De la même manière qu'une entreprise de production peut modifier et étendre sa capacité de production et d'emplois.

Ces effets de dynamisation et de soutien au développement d'une région, qui peuvent être tirées de politiques de transport régionales, cependant, doivent nécessairement inclure l'intégration des interventions et des initiatives relatives à d'autres secteurs, qui contribuent également au fonctionnement général d'un système territorial régional, comme le domaine de l'éducation, de la santé, de l'urbanisme et des services sociaux. Une planification autant que possible multisectorielle et coordonnée et qui définit clairement les objectifs stratégiques visés dans le moyen et long terme, peut ainsi limiter l'incertitude et l'imprévisibilité de l'influence et des investissements dans les infrastructures de transport sur les économies régionales.

D'un autre point de vue la planification de transport agit en manière de maximiser les chances que les changements et interventions sur l'organisation et gestion du système de transport aient de provoquer un impact significatif et selon les objectifs précédemment prévus.

Pour promouvoir les politiques de planification des transports qui visent à améliorer les standards de qualité et l'efficacité des systèmes de transport d'un territoire régional, d'une manière durable, tant d'un point de vue environnemental qu'économique, la stratégie régionale

du Sud-Est de l'Angleterre affiche par exemple un soutien pour des solutions qui visent en principe à tirer le meilleur parti des capacités d'infrastructures existantes (avant d'investir dans des interventions pour augmenter la capacité) et de créer des corridors ou des axes de développement, structurés le long des réseaux des systèmes de transports collectifs (haute capacité ferroviaire ou lignes de bus), afin de contribuer à promouvoir le développement des interactions spatiales et des dynamiques de d'usage des sols qui soient moins dispersif et énergivores (Great Britain. Government Office for the South East, 2004). Parmi les principes qui peuvent être considérés importants et stratégiques dans la définition et formulation de politiques pour la planification régionale des transports, un document publié par le *Gouvernement office for the South Est*, dans le Royaume-Uni (Great Britain. Government Office for the South East, 2004), met en lumière certains éléments qui peuvent avoir une portée générale dans les principes affichés, au-delà de la Grande-Bretagne. Les politiques de transport au niveau régional doivent être cohérentes avec les mesures à caractère local et poursuivre l'objectif global de réduction des taux de mobilité et d'utilisation des voitures privées, en multipliant et améliorant la qualité de l'offre de transport et en particulier encourageant l'accès aux services des transports alternatifs à la voiture (Great Britain. Government Office for the South East, 2004). Ces objectifs doivent être visés tout en maintenant les principes d'équité et d'inclusion sociale pour l'accès aux services de transport, ainsi que la sécurité, la durabilité environnementale, le contrôle et la surveillance continue de l'infrastructure déjà en place. En outre dans les zones rurales, il est nécessaire de mettre en œuvre des politiques «innovantes et adaptables», favorable à une plus large utilisation des modes de transport collectifs et non-motorisés. Ces modalités alternatives à la voiture doivent également être encouragés et valorisés dans les pôles urbains stratégiques régionaux, à travers le développement de centres urbains compacts et denses (Great Britain. Government Office for the South East, 2004), donc plus facilement préparés aux pratiques de multimodalité et de limitation de l'utilisation de la voiture particulière (par exemple, par la réduction du stationnement et la mise en place du péage pour l'accès dans les centres urbains).

1.7. Pourquoi une analyse intégrée transports - territoire?

Considérer les changements dans l'usage des sols et l'évolution des systèmes de transport, comme des phénomènes qui s'influencent les uns les autres c'est un principe désormais suffisamment partagé, qui nécessite une approche autant que possible coordonnée et intégrée. Cette démarche intégrée des transports et de l'usage du sol est basée sur des relations complexes et dynamiques, agissant dans l'environnement urbain selon un schéma

bidirectionnel. C'est-à-dire que cette interaction se produit dans les deux directions (les transports influencent le développement urbain et réciproquement) et d'une manière continue et circulaire. Si l'on suit la prospective tracée par Wegener (2010), qu'indique une correspondance étroite entre les décisions de localisation et les déplacements avec le concept de «boucle de rétroaction usage du sol-transport» (Wegener, 2010). Cette représentation montre comment les améliorations apportées au système de transport mènent à une augmentation de l'accessibilité de certains points, ce qui, à son tour conduit à un changement de la valeur du sol. Il s'agit d'un processus à double sens, circulaire, continu et répété qui concerne l'usage des sols avec la localisation des activités ; distribution des activités avec la nécessité d'interactions spatiales ; la nécessité de déplacement avec la distribution des infrastructures dans le système; le niveau d'accessibilité avec les décisions qui modifient le système d'usage des sols.

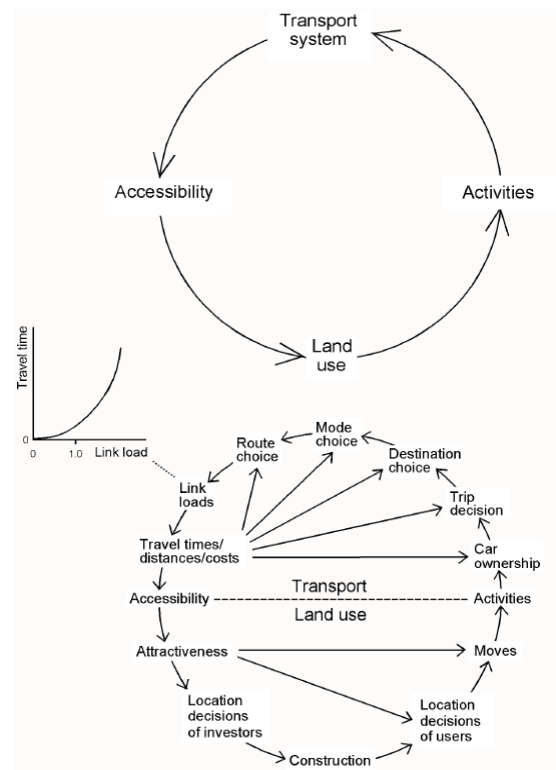


Figure 1: Boucle de rétroaction de l'utilisation des sols et les transports. (Wegener et Furst, 1999)

répété qui concerne l'usage des sols avec la localisation des activités ; distribution des activités avec la nécessité d'interactions spatiales ; la nécessité de déplacement avec la distribution des infrastructures dans le système; le niveau d'accessibilité avec les décisions qui modifient le système d'usage des sols.

On peut donc en conclure que l'ensemble des relations qui se créent entre le système de transport et le territoire, est à la fois complexe et dynamique, en constante évolution, avec des interférences et des dépendances mutuelles. Afin d'évaluer correctement et avec des perspectives de long terme, les impacts dus aux changements dans l'offre de transport sur la demande de transport, il est donc nécessaire de considérer en même temps les effets causés par ces changements des dynamiques d'usage des sols et de développement et transformation du territoire. La croissance du nombre des déplacements est causée par une intensification de l'usage des sols, de la même façon que la croissance et la redistribution des résidences et des activités sur le territoire, évolue en fonction des changements effectués dans le système de transport et plus précisément sur la base d'une augmentation des niveaux d'accessibilité de ces zones (Lo Feudo & Festa, 2012). Un élément clé de cette interaction est donc l'indicateur d'accessibilité. Dans sa déclinaison selon le sens d'accès au système d'activités, cet indicateur peut influencer sur les habitudes de mobilité, tandis que lorsqu'est considérée en termes d'accès au système résidentielle, peut influencer sur la dynamique du développement territorial (Rayle, 2008).

Pour ces raisons, il est utile d'effectuer une analyse des interventions sur l'offre de transport et sur la dynamique de l'évolution de l'usage des sols, compte tenu des effets sur le système intégré transport - territoire. Il faut toutefois rappeler que cette corrélation est en réalité extrêmement complexe et difficile à définir d'une manière univoque et partagée. La multiplicité des facteurs en jeu et les spécificités toujours différentes d'un cas à l'autre, ouvrent un débat sur la pertinence réelle de cette interaction entre le système de transport et le système d'utilisation des sols, qui suscite des opinions divergentes. Giuliano par exemple pense que les politiques d'usage des sols ont un impact relativement faible sur les habitudes et les choix de mobilité (Giuliano, 1995). Il observe que, bien que les choix résidentiels sont généralement effectués de manière équilibrée en tenant compte à la fois des besoins liés au travail et aux préférences de localisation résidentielles, en réalité, cette tendance n'est pas toujours confirmée (Giuliano, 1995), interférant sur les effets attendus de l'interaction entre le transport et l'usage des sols. Se référant aux États-Unis il fait observer que les coûts liés au temps de déplacement, à l'intérieur du budget moyen des ménages consacré aux transports, ont diminué de façon spectaculaire (principalement en raison des coûts de transport très favorable à l'utilisation de la voiture privée: coût du carburant bas, parking gratuit, etc.), en favorisant la possibilité de parcourir de plus longues distances et donc de localiser sa résidence de plus en plus loin des centres urbains, lieux perçus comme malsain et stressant. Partant de ce constat, Giuliano conclut que même en présence des politiques les plus volontaristes de densification, visant à un développement territorial le plus équilibré possible entre zones résidentielles et activités, les changements dans les choix de mobilité peuvent être peu significatifs (Giuliano, 1995). Giuliano affirme également que, dans une situation où existe un système de transport déjà bien structuré et développé, pour réaliser des changements importants dans la dynamique du développement urbain et donc d'usage du sol, des mesures de planification de transport ambitieuses sont nécessaires et donc souvent économiquement difficile à soutenir (Giuliano, 1995). Une autre façon d'aborder le débat sur la dynamique de l'interaction entre le système de transport et le développement urbain, donc l'usage des sols, est celle qui vise à déterminer et définir dans quelles conditions les changements et les améliorations dans l'offre de transport d'un territoire peuvent induire une évolution du développement urbain ou vice versa, autrement dit, si la présence de zones déjà urbanisées et développées s'avère crucial pour attirer des investissements pour le développement de nouvelles infrastructures et systèmes de transport. Il s'agit d'une dynamique de développement urbain et infrastructurel de "*co-développement*" (Levinson, 2007; King, 2011), faisant suite à l'introduction d'une innovation technologique.

“Les villes se développent et atteignent de nouvelles étapes dans une technologie (par exemple une nouvelle technologie de construction (comme les ascenseurs) qui permet des changements d'usage des sols), que l'innovation permet et exige de nouvelles étapes dans ses compléments (par exemple le transport d'un plus grand nombre de personnes est avantageux dans les lieux de plus grande densité d'emplois). Une fois que ces technologies sont disponibles et réalisables, elles peuvent aussi être déployées. Alors que les villes deviennent plus grandes (et les technologies avancent), elles acquièrent de nouveaux réseaux de transport en s'appuyant sur différentes forces motrices” (Levinson, 2007).

En substance la question posée est celle du sens de l'interaction dans le co-développement.

“Le problème de l'œuf et la poule, sur qui est venu en premier entre le réseau de transport et le développement urbain ” (Levinson, 2007).

D. King dans le cadre d'un travail de recherche lié à la métropole américaine de New York, a testé les deux hypothèses contenues dans la question précédente (King, 2011). En observant l'évolution de la densité résidentielle, commerciale et des gares ferroviaires, l'auteur est parvenu à la conclusion que, même s'il est certain que, dans certains cas, la construction du métro de New York a précédé le développement urbain de certaines zones ou quartiers, il n'est pas possible de certifier une relation de corrélation entre la mise en place d'une infrastructure de transport dans une zone faiblement urbanisée et sa densification ultérieure. Inversement D. King considère comme vérifiée l'hypothèse que le développement urbain est un facteur qui favorise le développement des systèmes de transport, en particulier si on considère les sols de type commercial plutôt que ceux principalement de type résidentiel (King, 2011).

“Les réseaux de transport sont influencés par l'usage du sol. Bien que des améliorations de transport augmentent la valeur des sols en améliorant l'accessibilité, dans les bonnes circonstances l'aménagement du territoire existant améliore la valeur des investissements de transport” (King, 2011).

Dans le contexte d'une étude, sur le cas de Londres (Levinson, 2007), les mêmes hypothèses ont été considérées et testées. En particulier, en se référant aux systèmes de transport ferroviaire urbain et suburbain, une relation étroite entre la densité résidentielle et la densité et attractivité des gares ferroviaires (Levinson, 2007) d'un réseau est identifiée. Levinson affirme en outre que:

“Les transports peuvent générer ou suivre l’usage du sol, mais l’usage du sol doit forcément suivre quelque (même si primitive) forme de réseau de transport ” (Levinson, 2007).

Par réseaux primaires de transport on entend dans ce cas les réseaux naturels (fluviaux, routiers, ou les ports naturels, etc.) dont l'homme a toujours profité pour réaliser ses besoins d'interaction spatiale et de déplacement. Cependant, l'interaction entre le réseau de transport et le développement urbain s’est développée dans le temps et selon des modalités différentes, si on distingue les zones périphériques et les zones centrales (Levinson, 2007). Pour la ville de Londres, par exemple, l'introduction d'un service ferroviaire extrêmement efficace et étendu a conduit les habitants à décentraliser leur résidence principale et donc a abouti à un dépeuplement et à un abaissement de la densité résidentielle du centre et, au contraire, une augmentation de la densité des activités économiques et commerciales. Il s’agit d’un système de forces *centrifuges* et *centripètes* (Levinson, 2007), qui agissent différemment selon les catégories de la population et des activités considérées.

“Le développement existant conduit à des investissements ferroviaires qui conduisent à (en grande partie) du développement commercial qui conduit à plus de chemin de fer; tandis que en périphérie l'infrastructure ferroviaire attire du développement résidentiel qui conduit à davantage d'investissements ferroviaires, qui conduisent à plus (en grande partie) de développement résidentiel.” (Levinson, 2007)

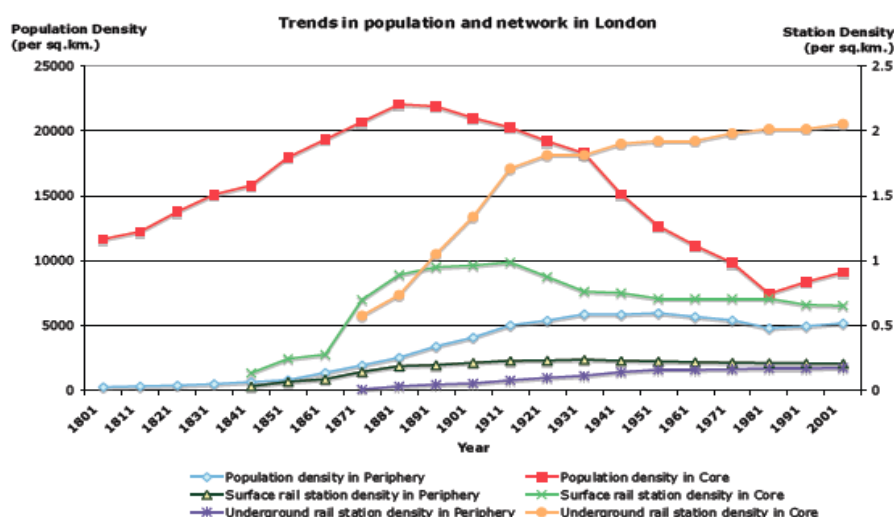


Figure 2: Tendance des valeurs de densité de population et du réseau de transport en Londres (Levinson, 2007).

1.8. Qu'entend-on par usage du sol ?

La notion d'usage du sol peut prendre plusieurs acceptions, à partir de la définition de fonctions ou d'usages, ou de morphologie ou structuration du bâti. Le sol est une ressource limitée et qui est exploité et adapté en fonction des activités et des contextes sociaux, économiques et environnementaux (Litman, 2012b). Quand on parle d'usage des sols et de gouvernement du territoire on entend toutes les différentes catégories et typologie fonctionnelles qui peuvent caractériser un territoire et ses perspectives et stratégies pour le développement futur. Avec le concept d'usage des sols on veut donc identifier un ensemble d'activités liées à la localisation sur le territoire des zones résidentielles et des zones destinées au fonctionnement du système d'activités (Nuzzolo & Coppola, 2005), ainsi que les dynamiques exercées sur la gestion, le contrôle et la tendance des prix du marché immobilier et du sol. Les différentes catégories d'usage des sols se différencient en types de construction et types spatiaux (Litman, 2012b). En ce qui concerne les types de construction ceux-ci peuvent inclure les zones dans un quartier à caractère résidentiel, commercial, de service tertiaire ou public (écoles, administrations, hôpitaux, etc.), Industriels, consacrés au transport ou en friche. Les différentes typologies spatiales d'usage des sols, comprennent par exemple, les sols agricoles, les espaces naturels, urbanisées ou vacant et inutilisées.

L'usage du sol peut aussi être défini en fonction des caractéristiques qualitatives et de la configuration structurelle et fonctionnelle du territoire. Une zone peut en effet être affectée par une typologie d'utilisation compacte, intense et multifonctionnelle ou au contraire dispersée, fragmentée et déconnectée. Ces différentes configurations du territoire, avec divers caractéristiques et fonctionnalités spécifiques, se traduisent par une différence substantielle dans la quantité de sol "*consommé*", résultant de l'urbanisation, ou tout simplement modifié par rapport à son état précédent. L'étalement urbain est par exemple une configuration spatiale caractérisée par des valeurs de densité, de logement et d'activité, faibles et donc, qui peuvent conduire à un niveau de consommation de la superficie de deux à quatre fois supérieur à celui dû à des formes urbaines caractérisées par des logements de densité moyenne-élevée (Litman, 2012b). Si on considère par contre une échelle territoriale plus grande, à savoir régionale ou nationale, la configuration et la structure du territoire peuvent varier d'une condition monocentrique à polycentrique, en passant par différentes configurations intermédiaires. Le concept d'usage des sols intègre également un certain nombre de variables et d'activités liées au système économique urbain. Le nombre de résidences, de bureaux présents dans une zone donnée, ainsi que la valeur du marché immobilier et des propriétés, sont des facteurs qui influencent l'usage des sols et qui sont à leur tour fortement influencées par l'offre des

transports et donc par les changements qui affectent ces zones. Considérant le grand nombre et la diversité des facteurs qui influencent et interagissent dans le cadre de la dynamique de l'usage des sols, les changements d'usage et les phénomènes de développement urbain résultant de la planification du territoire, évoluent le plus souvent lentement dans le temps, s'inscrivent dans des tendances historiques, du milieu socio-économique et environnementale des différents contextes de référence considérés (Litman, 2012a).

1.9. Comment les dynamiques territoriales influencent la planification des transports

Les individus qui choisissent d'effectuer un déplacement, le font généralement en tenant compte des coûts généralisés (Rayle, 2008). Parmi les facteurs qui entrent dans la définition des coûts généralisés de transport, plusieurs sont liés à l'usage du sol et peuvent donc affecter en différentes manières les paramètres et les performances liées au transport et à la mobilité. Par exemple, les niveaux de densité, de mixité des usages et de conception urbaine (*urban design*) (Wegener & Fürst, 1999) peuvent contribuer à modifier le nombre moyen de véhicules possédés par ménage, les distances moyennes parcourues, la répartition modale entre les différents modes de transport et donc la part de déplacements non-motorisés (Litman, 2012a). Les différentes actions et stratégies de l'utilisation des sols affectent les niveaux de congestion, le coût de construction et d'entretien des infrastructures de transport, les taux d'accidents, la pollution, l'équité et l'inclusion sociale (Litman, 2012a).

Divers facteurs, par conséquent, liés à l'usage du territoire peuvent avoir des effets sur les dynamiques liées à la mobilité et aux transports (Litman, 2012a). Ces effets deviennent significatifs surtout lorsque ils sont considérés en termes d'effets cumulatifs et en synergie, c'est-à-dire lorsque ce n'est pas le seul facteur qui compte, mais son association avec d'autres attributs qui provoque alors un impact plus important sur le système de mobilité.

Certains auteurs indiquent, en particulier cinq paramètres liés à l'usage des sols qui affectent principalement la dynamique de la mobilité et des transports (LeNéchet, 2012; Wegener & Fürst, 1999). La densité résidentielle et de présence (Mille, 2000) sont des facteurs qui influent directement sur les taux d'utilisation des systèmes de transport collectif et la distance quotidienne moyenne parcourue (domicile-travail). La forme et la tailles des zones urbaines sont également des facteurs qui peuvent influencer sur les choix modaux et sur les distances moyennes pour des achats ou les voyages liés aux loisirs. Plus spécifiquement, dans la littérature on trouve plusieurs études qui montrent que les choix de localisation et donc la configuration spatiale et fonctionnelle du territoire, ont des effets sur les habitudes et les comportements liés à la

mobilité. Vivre dans les centres urbains implique une différence moyenne de 30-40% de la quantité de déplacements effectués par rapport aux situations en milieu suburbain ou rural et dispersé (Litman, 2012a). De même, dans les centres urbains, la mobilité piétonne et cyclable est pratiquée de l'ordre de deux à quatre fois plus qu'en milieu périphérique et fragmenté (Litman, 2012a), en raison des distances moyennes plus basses, des densités plus élevées, de la mixité fonctionnelle et proximité (Rayle, 2008) entre les zones résidentielles, les services et les lieux de travail. M. Wegener et F. Furst (1999) ont réalisé à cet égard une analyse intéressante et exhaustive des diverses études empiriques présentes en Europe et aux États-Unis, sur les impacts sur les indicateurs de mobilité et les caractéristiques des systèmes de transport (configuration du réseau de transport, offre de transport collectifs, coûts de transport et règlements), dus à des interventions particulières sur l'utilisation des sols (densité résidentielle et d'emplois, accessibilité, aménagement urbain et forme urbaine). Ainsi, à partir de cette revue de la littérature, on constate que la densité urbaine est inversement proportionnelle à la durée moyenne de déplacement (Newman & Kenworthy, 1989), a fortiori si elle est associée à des configurations urbaines multifonctionnelles (Cervero & Kockelman, 1997), tandis que la concentration des emplois dans les centres urbains implique un effet inverse. La densité est toujours considérée comme une variable intermédiaire et pas toujours comme un facteur déterminant dans les choix de mobilité (Wegener & Furst, 1999), en particulier en ce qui concerne le taux d'utilisation des transports publics, qui dépend de toute façon de la qualité et de l'efficacité de l'offre (Wegener & Furst, 1999) et des distances moyennes entre les lieux de résidence et les points d'accès au réseau de transport collectif (Kitamura, et al., 1997).

L'équilibre entre la localisation des zones résidentielles et des zones d'activités, semble également avoir des effets positifs sur le flux de navetteurs (Wegener & Furst, 1999) et sur la quantité de déplacements non-motorisés (Cervero, 1989), de la même façon que la distance moyenne entre le lieu de résidence et le lieu de travail est le principal facteur dans la détermination de la distance moyenne de déplacement par jour, dans certaines situations, de manière supérieure à celle de la densité. La taille de la ville (Wegener & Furst, 1999), le design urbain et la présence de grandes agglomérations urbaines, sont également considérés comme des facteurs importants, mais avec différents niveaux d'influence selon les contextes, en ce qui concerne la quantité totale et les distances des déplacements effectués: plus les villes sont grandes, plus les distances moyennes sont petites (sauf pour les grandes régions métropolitaines), grâce à la plus grande concentration et une plus grande variété des fonctions présentes, tandis que l'effet agglomération exerce plus d'impact sur le taux d'utilisation des transports publics (Wegener & Furst, 1999). D'autres études confirment l'idée que les quartiers historiques et «*traditionnels*» sont plus facilement adaptables à des modes de déplacements

non motorisés (Cervero & Kockelman, 1997). Les effets sur les habitudes de mobilité sont également différents selon le type et le motif du voyage. Une plus grande diversité fonctionnelle et une plus grande accessibilité des piétons en milieu urbain favorisent une diminution de l'utilisation de la voiture pour les déplacements relatifs aux achats et aux loisirs, tandis qu'une plus grande accessibilité régionale en transport en commun, tend à influencer les choix modaux relatifs aux déplacements domicile-travail (Litman, 2012a). Le trafic pendulaire contribue fortement aux niveaux de congestion et donc aux niveaux de consommation d'énergie et les taux de pollution. Le phénomène du choix du lieu de résidence («*auto-sélection*»), exerce une influence sur la dynamique de l'usage du sol, car certains utilisateurs peuvent choisir de localiser leur résidence en fonction de leurs préférences ou besoins de déplacement. Les personnes disposées à s'engager dans des pratiques de mobilité multimodales sont plus enclines à vivre dans les zones urbaines, intenses et denses, alors que ceux qui préfèrent un style de mobilité plus orientée vers l'usage de la voiture sont prêts à localiser leur résidence dans des zones rurales et dispersées. Cependant il faut considérer que très souvent les choix de lieu de résidence sont effectués également en contrariant les besoins et les habitudes de mobilité souhaitée. Dans de nombreux cas, les quartiers historiques, et donc traditionnellement orientés vers la mobilité non motorisée, sont soumis à des phénomènes de dégradation et d'exclusion sociale et donc moins attractif du point de vue du marché immobilier résidentiel (Litman, 2012a). Cette situation peut donc pousser à augmenter l'attractivité des zones plus isolées et dispersées, qui sont perçues comme sûres, calmes et agréables à vivre (Litman, 2012a), bien que cela conduise à développer des habitudes de mobilité plus orientée vers l'utilisation de la voiture et donc plus chères et moins durables d'un point de vue environnemental. De même un utilisateur qui préfère sans équivoque et sans condition la voiture individuelle comme moyen principal de transport, même dans un environnement conçu et orienté vers la multimodalité et l'utilisation des transports collectifs, continuera très probablement à utiliser son propre véhicule, tout en évitant l'utilisation des transports publics (Litman, 2012b).

Ainsi il existe de nombreuses stratégies de localisation, s'appuyant spécifiquement à la gestion de l'utilisation des sols, qui peuvent être adoptées pour atteindre des objectifs spécifiques de planification. Dans les zones urbaines, ces objectifs peuvent être résumés par l'amélioration de la qualité de vie dans les zones déjà urbanisées, en limitant la consommation des sols et en favorisant la promotion de la mixité fonctionnelle des résidences, des services et des activités commerciales et l'accessibilité piétonne vers l'utilisation des services de transport en commun. En zone suburbaine et rurale un des principaux objectifs liés à la planification urbaine est plutôt celui de stimuler un développement autant que possible compact et orienté vers les modes de transport alternatifs à la voiture individuelle (Litman, 2012a). De toute évidence, ces stratégies

d'organisation et gestion des dynamiques d'usage des sols doivent être adaptées à l'échelle spécifique d'intervention (régionale, urbaine, locale ou micro-locale) et aux perspectives de développement espérées et prévues. Les actions d'intensification des valeurs de densité de logement, peuvent avoir des impacts sur les pratiques de mobilité par rapport aux facteurs suivants: l'augmentation de la proximité spatiale et donc la réduction de la distance moyenne parcourue et de l'usage de la voiture; l'augmentation des options de transport par rapport aux déplacements; augmentation des coûts généralisés liés au moyen de transport privé, en raison de la vitesse réduite, du stationnement plus cher et en nombre réduit (Litman, 2012a); une plus grande utilisation des transports en commun s'ils sont correctement connectés aux zones comportant par une telle densité. Le concept de mixité fonctionnelle lié à l'utilisation des sols, caractéristique fondamentale du modèle de *New Urbanism* (Litman, 2012a), est donc une stratégie de planification urbaine d'un intérêt fondamental en ce qui concerne l'impact potentiel sur le système de mobilité. Il consiste essentiellement à chercher et concentrer dans une zone particulière, les différents types d'usages des sols, à savoir les différentes fonctions et ressources urbaines. Une telle gestion des sols prévoit que les différents types et fonctionnalités urbaines soient situés à proximité les uns des autres, sans prévoir des utilisations spécifiques, mais avec le but de caractériser l'espace d'une manière le plus polyvalente et multifonctionnel possible (résidences, bureaux, services, etc.), en assurant une condition d'accessibilité en prévalence piéton et axée sur les transports en commun. Le soutien à la création d'un sens de citoyenneté basée sur le partage et la coexistence social: *complete community* ou *urban villages*² (Litman, 2012a). L'«*effet agglomération*» et donc la proximité et la configuration multifonctionnelle du territoire, s'avère en fait être bénéfique en terme d'efficacité territoriale (Bettencourt, et al., 2007) dans de nombreux secteurs économiques (finance, industrie, recherche et innovation), en facilitant la dynamique de coordination, l'échange et la collaboration entre les organismes et les acteurs de ces secteurs, et en favorisant la création d'emplois.

En continuant d'analyser les différents facteurs liés aux stratégies d'usage des sols qui contribuent le plus à influencer les pratiques et les habitudes de mobilité, il est intéressant de se pencher sur la notion de *connectivité* (Litman, 2012b). Par connectivité on désigne le degré de liaisons directes et alternatives d'un chemin ou d'un lieu avec le reste du réseau de transport, et donc vers d'autres destinations qui sont à leur tour reliés à ce système. La connectivité est mesurée en tenant compte de la densité et du degré d'intersections des voiries (Litman, 2012a), les parcours à double sens ou les culs de sac, présent dans un réseau routier et les

² Centres urbains et quartiers conçus pour encourager la compacité et l'intensité urbaine, pour multiplier et faciliter les possibilités et l'accès aux services et aux activités de la vie quotidienne, ainsi que promouvoir la solidarité sociale et de la convivialité.

caractéristiques liées à la perception comme la visibilité, la lisibilité et la sûreté des chemins. Plusieurs études (Litman, 2012a; Ewing & Cervero, 2010; Handy, et al., 2010) considèrent l'indicateur de connectivité comme un facteur potentiellement susceptible d'affecter la distance moyenne parcourue (VTM) et la répartition modale des déplacements des modes non motorisés, ainsi que les vitesses moyennes et les niveaux de congestion routière (Ewing & Cervero, 2010). Une autre contribution à la baisse des taux moyens de mobilité, notamment en matière de mobilité en voiture, peut certainement se produire grâce à une attention plus grande portée à la conception et au partage de la voirie et l'aménagement urbain en général, avec comme principes l'attractivité et l'accessibilité de l'environnement urbain et la facilité de circulation piéton et cyclable. Prévoir des parcours piétons et cyclables qui soient accessibles, sûrs et attrayants contribue en fait largement à encourager de telles pratiques de mobilité alternative à la voiture individuelle, en particulier dans le cas de courts trajets (Litman, 2012a).

1.10. Comment les changements dans le système de transport affectent l'usage des sols

Les influences sur le développement urbain et les dynamiques d'usage des sols, causées par des interventions sur le système de transport (dotation infrastructurel et niveaux d'accessibilité), ont été déjà objet de recherche dans le cadre de nombreux études. À partir en particulier de la théorie de la localisation de Von Thünen (1826), successivement mis au point par d'autres auteurs comme Alonso (1964) et Mills (1972), selon laquelle le système de transport influence le développement des urbain et territoriale en modifiant les niveaux d'accessibilité (Rayle, 2008). Mais bien que cette corrélation semble largement partagée au niveau théorique, il devient plus difficile de la vérifier et valider du point de vue empirique (Still, 1995).

À cet égard, nous pouvons identifier différentes causes et raisons de cette difficulté, comme le fait que ces influences et impacts ne sont pas immédiats et surtout interdépendant d'autres facteurs qui affectent à leur tour le système décisionnel liés à l'usage du sol (Still, 1995). Même T. Litman admet que prédire avec précision l'impact des politiques et des interventions de planification des transports sur la dynamique de l'utilisation des sols, est extrêmement difficile et complexe (Litman, 2012b). Des multiples facteurs entrent en jeu, tels que le niveau de demande de transport liée aux différents types d'aménagement du territoire, le degré réel d'amélioration de l'accessibilité et de réduction des coûts généralisés du transport due aux interventions sur le système de le transport, ainsi que le degré d'intégration de ces politiques de transport avec d'autres facteurs et attributs du territoire (densité, connectivité, mixité, etc.).

Pour une revue intéressante de l'abondante littérature et des recherches empiriques menées sur l'impact des systèmes ferroviaires sur l'utilisation et la valeur du sol, on renvoie à K.V. Vassalli (1996). Cet auteur conclut que, bien que des niveaux d'accessibilité plus élevés vers le transport ferroviaire peuvent avoir un effet d'augmentation des valeurs foncières (de l'ordre de 6-7%) et une accélération du développement urbain dans les zones environnant les gares ferroviaires, ces effets ne peuvent se produire qu'en présence d'une stratégie de planification régionale globale, d'autres facteurs complémentaires comme une volonté politique forte et une demande de densité résidentielle déjà forte (Vessali, 1996).

Une autre difficulté dans ce domaine est due à l'unicité et à la spécificité qui caractérisent chaque zone urbaine, métropolitaine ou régionale, qui ne rend pas possible la mise en œuvre d'une approche standardisée. D'autre part, l'aspect extrêmement incertain et variable du facteur temps ne peut être négligé. Les effets sur l'utilisation des sols résultant de changements dans l'organisation ou la gestion du système de transport, peuvent en effet être très lents au fil du temps et dépendants des fluctuations ou des cycles économiques, environnementaux et sociaux (Still, 1995; Wegener & Fürst, 1999).

“Les décisions de planification de transport influent directement sur l’usage des sols, en affectant la quantité de terre utilisée pour les équipements de transport, et indirectement, en affectant l’emplacement et la conception du développement.” (Litman, 2012b)

En particulier, les effets directs dus au système de transport sur les dynamiques de développement urbain et d'aménagement du territoire, sont mesurés (Litman, 2012b) par la quantité réelle d'espace et de surface qui est occupé et consommée pour construire et utiliser l'équipement et les infrastructures de transport (routes, parkings, voies ferrées, etc.). Sont par contre considérés comme indirectes (Litman, 2012b) tous les phénomènes qui vont modifier la configuration et l'aménagement du territoire (démographie, marché du logement, marché du travail, système de production, etc.) En général, le système de transport peut en effet influencer sur l'utilisation des sols en fonction de plusieurs facteurs, économiques, sociaux et environnementaux.

Economic	Social	Environmental
Value of land devoted to transportation facilities	Equity and opportunity	Greenspace and wildlife habitat
Land use accessibility	Community cohesion	Hydrologic impacts
Transportation costs	Housing affordability	Heat island effects
Property values	Cultural resources	Energy consumption
Crash damages	Public fitness and health	Pollution emissions
Costs to provide public services	Aesthetic impacts	
Economic development		
Stormwater management costs		

Figure 3: Types d'impacts de l'utilisation des terres qui devraient être considérés dans la planification des transports (Litman, 2012b)

En particulier Nuzzolo (2007) note que ces effets indirects sont causés notamment par l'évolution des coûts de transport, découlant des modifications apportées au système des transports. En suivant cette approche, les composantes du coût de transport à considérer sont au nombre de trois:

- Les coûts liés au phénomène des déplacements pendulaires ("*commuting cost*"): coûts de déplacement du lieu de résidence au lieu de travail, qui ensuite conditionnent directement les décisions sur le mode de transport et les itinéraires utilisés et indirectement le choix des lieux de résidence et de travail ;
- Les coûts liés à l'accessibilité active et passive d'un territoire ou d'une zone ("*coût de l'accessibilité*"): ces coûts influent sur les décisions de localisation des activités, des services de production et commerciales, ainsi que sur les prix réels du marché immobilier et des sols ;
- Les coûts liés au transport des marchandises depuis le lieu de production vers les lieux de consommation («frais de transport»): ces coûts influent sur le niveau de production des entreprises et donc sur le marché du travail et la structure démographique d'une région.

Les modifications apportées au système de transport influent sur le comportement et la prise de décision appliquée aux individus et en général aux acteurs de l'aménagement du territoire.

En ce sens, certaines études ont identifié trois niveaux de réponses comportementales et décisionnelles liées aux changements du système de transport (Mackett, 1994):

- *Réponse du premier ordre*: changement dans les habitudes et les comportements liés aux pratiques de mobilité (choix modal, durée et longueur de déplacement, itinéraire et destination).

- *Réponse du second ordre*: choix de localisation résidentielle ou des activités, faisant référence au stock mis à disposition par les changements qui se produisent dans le système de transport.
- *Réponse du troisième ordre*: orientation et décisions de l'aménagement du territoire, résultant de la perception des nouveaux niveaux d'accessibilité résultant de changements dans le système de transport.

D'autre part, certaines études n'ont pas trouvé une correspondance directe dans l'interaction entre les changements dans le système de transport, la dynamique du développement urbain et de l'utilisation des sols. Offner (1993) en particulier a remarquablement explicité ceux qui sont les *mythes politiques* et les *mystifications scientifiques* liés à l'évaluation et aux attentes relatifs aux *effets structurantes* du transport. Il met en fait en doute l'idée de causalité linéaire entre l'introduction d'une offre nouvelle de transport et le développement des transformations dans le territoire, en affirmant plutôt l'existence d'une dynamique de congruence. Le transport représente donc une condition nécessaire mais non suffisante pour le développement économique, qu'entre en relation avec un système des tendances structurelles préexistantes et des stratégies d'acteurs qui influencent et définissent le état et le niveau de cette congruence (Offner, 1993). Giuliano en outre identifie trois raisons pour justifier l'inefficacité de cette interaction et donc la capacité du système de transport à façonner la forme urbaine (Giuliano, 1995):

- Dans le cas où il existe un système de transport déjà développé, l'impact des nouveaux investissements et des améliorations est toujours limité. La zone urbaine se transforme de plus en plus lentement, car, grâce aux avancées technologiques et d'ingénierie, les nouveaux bâtiments ont une longévité plus longue.
- Les coûts de transport sont de moins en moins pertinents pour les décisions de localisation et les changements dans la dynamique de l'emploi rendent de moins en moins pertinent la facilité d'accès au lieu de travail par rapport au choix du lieu de résidence.

Le paramètre d'accessibilité est cependant le facteur qui influe le plus sur la dynamique de l'utilisation des sols (Wegener & Fürst, 1999), car il contribue directement à accroître l'attractivité et à accélérer le développement de certaines zones urbaines (Hansen, 1959), tant du point de vue résidentiel que pour les services et activités économiques ou commerciales.

On peut affirmer que la planification principalement orientée vers la consolidation et le renforcement du transport routier et donc l'utilisation de la voiture privée, implique un besoin accru d'infrastructure routière, de divers niveaux hiérarchiques (municipale, départementale provinciale, routes nationales), avec des caractéristiques physiques et structurelles différentes,

mais en tout cas consommatrices d'espace, ainsi que favorables promotrice de dynamiques d'utilisation des sols dispersées et fragmentées.

Comme cela sera décrit en détail dans la partie de cette thèse qui se réfère portant sur le phénomène de la dépendance à l'automobile, la diffusion massive de ce mode de transport, qui a commencé au début du siècle dernier, a grandement influencé et orienté la planification urbaine et par conséquent, la dynamique de la consommation des sols et l'urbanisation du territoire, en particulier dans les pays occidentaux. L'introduction de la voiture particulière dans les habitudes de mobilité de la majorité de la population, a conduit les planificateurs des transports et les urbanistes à travailler dans une optique visant principalement à résoudre les problèmes des automobilistes en vue de rendre la circulation routière le plus agréable et confortable possible. Cette orientation stratégique, tirée par la «*peur de congestion*» (Mangin, 2004), a conduit à une sous-estimation des effets et des impacts sur l'utilisation et la consommation des sols par les infrastructures routières. Dans le cas du stationnement, par exemple, le territoire se caractérise par une destination d'usage essentiellement monofonctionnel et difficilement modifiables, ainsi que particulièrement gênante du point de vue environnemental.

La planification des transports orientée vers l'utilisation des services de transport collectif et de la mobilité non motorisée, tend à favoriser, au moins de façon théorique, le développement urbain et la dynamique de l'utilisation des sols vers des configurations urbaines compactes et intense, donc caractérisée par une consommation du sol inférieure et plus facile à gérer et surveiller. Promouvoir et le développement de la qualité et l'efficacité de l'offre de transport en commun est selon plusieurs études de nature à stimuler le développement économique des zones touchées (Pharoah & Apel, 1995), et à renforcer les valeurs foncières des zones situées à proximité des points d'accès au réseau de transports collectifs (Wegener & Fürst, 1999). En substance, les politiques de planification des transports visant spécifiquement à la réduction des coûts généralisés liés au trafic routier, ont tendance à favoriser les phénomènes de développement urbain et régional plus dispersé (Litman, 2012b). En revanche, les stratégies de planification des transports qui tendent à favoriser les modes de déplacement non motorisés ou les transports en commun, impliquent un développement territorial moins dispersé et plus compact. Le thème de l'influence et l'impact que les changements et des améliorations sur la qualité des transports collectifs, notamment ferroviaires, peuvent avoir sur la valeur immobilière et foncière et sur l'utilisation des sols des zones situées à proximité de ces interventions, sera traité en détail dans les paragraphes suivants de la thèse.

1.11. Conclusions

En conclusion de ce premier chapitre on entend fixer d'abord certains points d'intérêt et de réflexions qui nous serviront dans la suite du texte. Insistons d'abord sur les aspirations qui sont incluses dans les actions de planification et d'aménagement du territoire, sur la complexité et la difficulté de lecture des contextes d'intervention, mais aussi sur le contraste entre l'imprévisibilité de certaines dynamiques et la nécessité de réglementation et d'organisation du fonctionnement territorial. Ensuite, il faut souligner la nécessité d'une vision intégrée et adaptée, qui puisse permettre d'envisager l'évolution des dynamiques de développement. Ce sont les éléments qu'on entend retenir et qu'on peut mieux décliner dans les définitions suivantes :

- La planification des transports et du territoire répond à un besoin d'organisation, de réglementation et de gestion de certaines dynamiques spécifiques et complexes, liées au fonctionnement territorial.
- Les différentes échelles et singularités d'un territoire demandent une approche par les aménageurs, qui soit adaptée, résiliente, flexible, souple et intégrée, qui soit basée sur une vision stratégique cohérente.
- L'intérêt n'est pas dans l'identification du quel des deux facteurs, entre les transports et l'urbanisme, entraîne le développement, mais plutôt dans la capacité de lire et déchiffrer les directions que la boucle de rétroaction entre usage du sol-transport implique et impliquera dans chaque contexte spécifique.

La lecture de ce premier chapitre nous donne donc des premières indications sur les multiples enjeux et niveaux de complexité que les actions de planification et aménagement du territoire sous-entendent. En particulier l'intention est de révéler de manière générale les différentes approches qui peuvent se dérouler dans le cadre d'une interaction des politiques de gestion des transports et de l'usage des sols. En synthèse on peut donc conclure qu'on identifie trois principaux types d'approches de l'interaction : *linéaire*, *interactive* et *critique*.

Le schéma classique révèle d'une approche de type *linéaire*, dans le sens d'une démarche essentiellement statique et hiérarchique, où les différentes étapes du processus de planification se suivent de manière itérative et répétée, selon un parcours certainement solide du point de vue théorique, mais plus fragile quand on considère les multiples problématiques de type opérationnel. L'approche qu'on considère de type *interactif*, affirme une nécessité d'adaptation aux contextes spécifiques d'intervention et surtout une nécessité de coordination et de prise en compte des interdépendances présentes entre les éléments qui alimentent les dynamiques de fonctionnement territorial. Il s'agit de l'approche que nous entendons promouvoir et analyser de

manière plus détaillée par rapport aux enjeux d'acteurs et aux outils disponibles. Ce sera donc l'objet du prochain chapitre, décliné ensuite de manière encore plus opérationnelle avec l'exposition des principes du modèle de développement urbain intégré du *Transit Oriented Development* (décrit dans le troisième chapitre). Avec la définition d'une approche *critique* on veut de surcroît synthétiser toutes les conclusions qui proviennent des différents secteurs et domaines de recherche, relatifs au sujet de l'interaction entre les politiques de transport et d'usage du sol. Dans les différentes études empiriques, qui ont été examinées dans le cadre de cette recherche de thèse de doctorat, émerge en fait un large mouvement critique et des avis assez discordants sur la pertinence et l'efficacité de cette interaction. Ces difficultés se manifestent notamment dans les temps de réalisations, dans les coûts et dans les possibilités de reproductibilité de certains principes de planification. Mais c'est la relation entre le choix de localisation résidentielle ou des activités et les habitudes et les choix de mobilité qui se prête le plus à la controverse, à cause des multiples facteurs et variables en jeux et donc des incertitudes qui compliquent l'évaluation et l'analyse de cette interaction. C'est aussi pour cette raison qu'on se propose d'approfondir, au travers de l'outil de la modélisation intégrée, le système de forces et de freins agissant dans le cadre de cette relation entre transport et usage du sol. À ce propos, dans le but de établir et de retenir des orientations et des enseignements d'aide au travail de modélisation intégrée qui sera entrepris dans la suite de cette recherche, on procède également à l'introduction des concepts qui visent à lier et mettre en relation la problématique du gouvernement du territoire aux potentialités de l'approche de modélisation.

- Planifier des stratégies, réaliser des projets, analyser et évaluer les impacts des interventions, sont des actions qui se réitèrent toujours plus rapidement dans la gestion des territoires contemporains. Développer des méthodes de simulation et modélisation efficaces de support à cette pratique devient extrêmement utile.
- La nécessité de traiter de manière la plus intégrée possible les problématiques du développement urbain et de la mobilité en sens large, justifie l'utilisation des modèles intégrés d'usage du sol et transport.

2. Analyse des outils, des acteurs et des éléments pour le gouvernement intégré du territoire

« Alors que les Grecs considéraient avoir atteint la perfection avec la fondation de la ville , en prenant soin de leur beauté, de la sécurité, des ports et des ressources naturelles du pays, les Romains pensèrent surtout à ce que les Grecs avaient négligé: paver les routes, canaliser l'eau, construire égouts qui pussent évacuer dans le Tibre tous les déchets de la ville. Ils pavèrent toutes les rues qui parcouraient tous les territoires [conquis], en coupant collines et en remplissant les cavités, de sorte que les chariots pussent recueillir la marchandise par les navires; les égouts couverts avec des voûtes en blocs uniformes, laissant parfois le passage aux voies praticables avec des chariots de foin. Les aqueducs apportent tellement d'eau, que des rivières coulent à travers toute la ville et les conduits souterrains, de sorte que chaque maison a fontaines abondantes et des citernes, principalement grâce à l'excellent travail et soins de Marco Vespasiano Agrippa, qui embellit Rome également avec de nombreux autres bâtiments».

(Strabone, Geografia, V, 3,8.)

Dans le deuxième chapitre de cette thèse nous allons analyser en détail les enjeux pratiques liés au processus de mise en place des interventions de planification intégrée des transports et d'usage des sols. D'abord on propose d'identifier les raisons sur lesquels on peut baser la nécessité d'entreprendre des méthodes et des pratiques de planification le plus possible structurées par la coordination et la coopération entre les acteurs ainsi que les outils utilisés.

On s'occupera donc de faire une analyse basée sur les expériences et les observations présentes dans la littérature spécialisée, pour entrer dans le détail des dynamiques liées au jeu d'acteurs de la planification et surtout aux freins et aux éléments critiques dans l'action de coordination elle-même. Les acteurs impliqués dans le processus de planification de l'espace et des transports jouent bien évidemment différents rôles et fonctions et cette différence se retrouve aussi dans la conception et la mise en place des outils de planification et d'aménagement. Nous traitons donc aussi le sujet des outils de la planification intégrée, avec l'intention de mettre en relief des exemples importants présents dans l'organisation française et aussi dans le contexte italien.

Cette approche nous a intéressé parce-qu'elle nous a permis de distinguer des problématiques communes dans les deux pays, d'autres qui dépendent exclusivement de chaque contexte spécifique.

Dans la deuxième partie de ce chapitre nous mettons plutôt l'accent sur certains concepts clés, qui ont été sélectionnés dans ce travail parce que considérés comme des facteurs fondamentaux et régulateurs de l'interaction entre le développement urbain et les systèmes de transport.

Il s'agit des concepts de mobilité, d'adaptabilité, d'accessibilité et de densité. On a donc choisi de développer en détail une réflexion sur ces aspects, dans l'optique d'entrer plus spécifiquement encore dans les dynamiques de fonctionnement des territoires contemporaines. Comme dans le

premier chapitre, cette démarche de décomposition analytique de la thématique de l'interaction nous permet de fixer des éléments et des principes fondamentaux qui seront de grande utilité dans la phase de conception et de mise en place de l'activité de modélisation.

En particulier pendant l'action de création des scénarios de simulation et donc des hypothèses de base pour l'implémentation des politiques de planification urbain orientée vers le transport en commun (du type du Transit Oriented Development ou d'Urbanisme orienté vers le rail et les transports en commun, qui seront traités dans le troisième chapitre), la connaissance de ces dynamiques nous soutiendra dans les choix de modélisation qui seront effectuées.

2.1. La question de la coordination dans le processus de planification intégrée des transports et d'usage des sols

Elle est désormais largement partagée l'idée que les choix de la planification et de l'organisation du territoire, en relation avec les systèmes de transport et d'usage des sols, doivent être conçus et mis en œuvre selon une approche, le plus possible, intégrée et coordonnée. Ce besoin est souhaitable à la fois en référence aux différents acteurs et aux différentes échelles spatiales impliquées, tant en ce qui concerne les principes et les directives contenues dans les outils réglementaires et les plans utilisés. C'est vrai aussi que ces intentions se révèlent souvent complexes et compliquée dans la mise en œuvre et dans la transition entre la phase stratégique et la phase opérationnelle. Plusieurs facteurs, en fait, constituent un obstacle à cette opération d'intégration et coordination et à cette approche plus inclusive et moins sectorielle liées aux pratiques de gouvernance du territoire.

Les principaux obstacles dans le contexte du lien entre le développement urbain et les transports sont : des conflits de compétence entre les structures institutionnelles et administratives, des influences des groupes de pouvoir, des différences d'opinions politiques stratégiques, des difficultés liées aux différentes échelles spatiales et horizons temporels impliqués dans ces processus ainsi que la capacité d'investissement limitée dans les secteurs public et privé (en raison de la récente crise financière et des politiques d'austérité généralisée). En particulier, la mise en œuvre des politiques et des interventions intégrées d'aménagement du territoire et des transports est souvent entravée par la fragmentation des pouvoirs et des compétences territoriaux qui se reflète dans une difficulté à mettre en place les processus de coordination et de coopération et dans une divergence substantielle entre les objectifs et les résultats. D'autres obstacles peuvent également être générés par la présence de nombreux outils de planification concernant le même territoire qui, par conséquent, vont générer des situations de conflit ainsi que des problèmes, dans la répartition des responsabilités, et des compétences et des difficultés dans les procédures de démarrage des mécanismes de mise en œuvre des interventions.

Les domaines d'action qui affectent, le plus, la capacité et le potentiel de coopération et d'intégration portent principalement sur l'aspect substantiel et procédural, à savoir la définition des limites territoriales, les objectifs d'intérêt commun et les modalités de gestion du projet, donc sur l'activité de coordination elle-même (Kaufmann, et al., 2003). La divergence entre les objectifs et les résultats peuvent se vérifier, à la fois, du fait des différences entre les principes théoriques et stratégiques et entre les interventions effectivement mises en œuvre, soit en raison de la non-conformité des pratiques et stratégies politiques menées au niveau local et au

niveau national (Leite, et al., 2008) et donc des difficultés de coopération de niveau vertical qui vont influencer aussi le niveau horizontal (Salas-Olmedo, 2008). Le passage d'une conception d'urbanisme de surface à celle d'urbanisme des réseaux (Dupuy, 1991), en plus d'introduire le facteur temps dans la dynamique de fonctionnement d'un territoire, ajoute une vision de l'espace qui se développe au-delà des unicité et singularité locales et induit une approche d'ensemble et d'interdépendance entre les nombreux éléments du territoire, sur la base du concept de réseau, typique de la planification des transports. Il s'agit d'une interdépendance qui implique la nécessité de créer des structures institutionnelles qui peuvent mettre en relation expertises et intérêts locaux, de manière à faciliter la prise de décision et la répartition des ressources financières dans le territoire.

“Indépendamment des réseaux d’acteurs impliqués dans les processus de prise de décision, la gouvernabilité d’un territoire dépend du contexte institutionnel et de sa structure qui délimitent le champ du possible de l’action politique. [...]. Un processus de coordination peut avoir été parfaitement opérationnel sans que les objectifs du projet soient atteints, [...] lorsque la définition des objectifs présente des incohérences conceptuelles.” (Kaufmann, et al., 2003)

En analysant l'évolution historique des changements dans les méthodes et approches des politiques d'intégration entre la planification spatiale et les transports, H. Geerlings et D. Stead (2002), avec une référence particulière au contexte européen, observent une évolution qui, à partir de la création de la Communauté Économique Européenne, a été caractérisée par une tendance initiale à la spécialisation et à la sectorialisation et, ensuite, changée selon un point de vue d'abord d'harmonisation et successivement de coordination et d'intégration (Geerlings & Stead, 2002). En particulier, dans l'ouvrage intitulé « *Coordonner Transport et Urbanisme* » (Kaufmann, et al., 2003), le processus d'articulation entre les politiques urbanistiques et des transports est défini comme la relation entre un trio de facteurs tels que les acteurs, la structure et le contexte et plus précisément comment l'interaction entre les concepts de coopération, de coordination et de cohérence. N'est-ce pas suffisant, donc un travail approfondi de définition des limites territoriales d'intervention, ni une relation coordonnée entre les acteurs impliqués dans la mise en œuvre de telles politiques intégrées, mais devient nécessaire une vision commune des rôles respectifs, des objectifs stratégiques et des moyens à utiliser pour les réaliser, ainsi que l'acquisition d'une condition de légitimité vers l'opinion publique.

Les détails relatifs à chaque contexte différent d'intervention sont également cruciaux et préalables du fait des logiques et des procédures de prise de décision.

“Des procédures adéquates sont donc un aspect nécessaire pour la coordination, mais pas suffisant. De fait, les études de cas illustrent que les procédures n’ont de sens que par rapport aux projets auxquels elles se rapportent.” (Kaufmann, et al., 2003)

Pour illustrer ce point de vue conceptuel, Kaufmann et autres (2003) insistent également sur cinq facteurs autour desquels se développe cette dynamique de coordination :

- L'architecture législative et institutionnelle, fortement liée aux contextes historiques, culturels et politiques.
- L'aspect financier, qui est tellement dominant et influence la logique de décision à chaque étape et, parfois, limite la cohérence des objectifs stratégiques finaux.
- Le système des valeurs et les différentes orientations idéologiques, culturelles et politiques, concernant les modes possibles d'action sur le terrain.
- Les cultures professionnelles qui ont souvent du mal à s'intégrer et à se comprendre dans la construction d'un objectif et d'une vision stratégique commune.
- Le contexte physique qui signifie, en particulier, la notion de *path dependency*, c'est-à-dire l'ensemble des contraintes provenant des conséquences des choix politiques et stratégiques du passé, qui sont nécessairement influentes et déterminantes pour les modes d'intervention de l'avenir.

“La planification des politiques de transport et d’usage du sol sont fortement influencées par les poids des décisions du passé, lesquelles peuvent empêcher les stratégies locales de devenir immédiatement des directions de changements.” (Gallez, et al., 2010)

Si on considère le cas où, spécifiquement, on prévoit d’articuler le développement urbain et territorial à proximité des infrastructures de transport collectif, notamment ferroviaire, à côté du travail de coordination et de coopération pour la mise en œuvre de ces mesures, a également besoin d'une légitimité forte des acteurs et d'un large consensus politique par l'opinion publique. Dans ce contexte, il devient donc nécessaire de mettre en œuvre des pratiques de participation et de concertation avec la population locale ainsi que des incitations au débat politique, de manière à garantir une transparence et une ouverture maximale au débat. Wulfhorst et Hostis (2007), en analysant la faisabilité et la viabilité de la mise en œuvre des interventions en matière de planification urbaine intégrée avec le système ferroviaire, concluent que le processus de coordination doit être abordé en tenant compte de cinq dimensions de développement :

- Une coordination transversale impliquant secteurs multidisciplinaires, acteurs publics et privés et liée à la diversité des pratiques et des modes de transport.
- Une coordination spatiale, qui permet de définir les périmètres d'intervention en fonction de leur pertinence fonctionnelle et cohérence spatiale (Gallez, et al., 2005), au-delà des limites administratives traditionnelles.

« En France, l'idée communément admise est que le morcellement institutionnel, constitue un obstacle à la définition et à l'application de politiques publiques cohérentes. » (Gallez & Kaufmann, 2010).

- Une coordination temporelle accompagnée d'une vision stratégique à long terme qui permette d'intégrer les différentes temporalités liées à la dynamique de l'utilisation des sols et des systèmes de transport et capable « d'anticiper et évaluer l'impact des mesures dans un contexte temporel dynamique » (Wulfhorst, et al., 2007).
- Une coordination organisationnelle qui peut corréler les diverses compétences et intérêts particuliers pour les orienter vers une vision commune de développement : “à la différence de la coopération, l'intégration suppose une réduction de l'autonomie des acteurs en présence” (Wulfhorst, et al., 2007).
- Enfin , une coordination méthodologique qui implique l'adaptation au contexte de référence de chaque outil et des processus de prise de décision utilisés, en particulier en utilisant des méthodes de suivi et d'évaluation dynamique dans le temps, liées à l'analyse des effets et des impacts sur le fonctionnement du territoire.

“Ça signifie que l'observation, l'anticipation et les outils d'évaluation doivent être installés et réalisés.” (Wulfhorst, 2005)

Cette vision peut être complétée en introduisant le concept d'approche incrémentale (Pinson, 2006) qui surpasse le schéma classique, caractérisé d'une phase d'analyse, précédant les étapes de planification et d'action, en proposant, à sa place, une approche dynamique et intégrée qui vise à planifier et à agir progressivement, sans arrêter le processus d'analyse et de contrôle du territoire.

En résumé, R. Morelli (2012) indique les conditions essentielles pour la mise en œuvre des processus de planification qui mettent l'accent sur le principe de la coordination :

- l'adoption de la dynamique de la négociation et de la gestion polycentrique du territoire ;
- la capacité à gérer les flux d'information complexes ;

- la présence de conditions de collaboration entre les acteurs ;
- l'habilité dans la gestion des conflits entre les différents intérêts et compétences.

Dans un rapport présenté par le Département britannique pour le transport, on observe aussi la nécessité d'adopter des politiques spécifiques et des interventions variées selon les multiples spécificités et caractéristiques territoriales présentes à l'intérieur de la même région (Département for Transport, 2006).

Un autre problème important est aussi relatif à la notion de transférabilité des politiques et des méthodes de coordination et d'intégration entre la planification des transports et l'usage des sols. En effet, la reproductibilité des pratiques d'intégration, même référées à des exemples de succès, est incertaine, dans des contextes différents de ceux où ces interventions ont, à l'origine, été conçues et mises en pratique.

À cet égard, comme nous le verrons plus tard dans les chapitres suivants de cette thèse, l'adoption de méthodes de modélisation et de simulation qui peuvent permettre de tester et d'évaluer à l'avance les effets de ces politiques intégrées spécifiques, est d'un intérêt considérable. C'est le cas des modèles de simulation, soi-disant LUTI (Land Use Integrated Model), entre lesquels le logiciel *Tranus*, comme nous le présenterons plus en détail dans la suite, a été choisi pour mettre en œuvre un modèle de simulation intégré d'usage des sols et transport fait référence à la région française du Nord-Pas-de-Calais.

2.2. Les rôles, les fonctions et les interdépendances dans le système d'acteurs

En général, quand on considère le groupe ou le réseau d'acteurs impliqués dans la conception, la mise en œuvre et la gestion des opérations liées à la planification intégrée des transports et d'usages des sols, on se réfère à un ensemble complexe d'entités différentes, généralement caractérisé par sa propre autonomie qui lui est spécifique et, dans le même temps, par une substantielle interdépendance (Morelli, 2012). Dans cette section, nous avons l'intention d'exposer et de clarifier les caractéristiques et les rôles de ces acteurs, en mettant l'accent sur les fonctions et les tâches que chacun d'eux joue dans le processus de planification. En particulier, l'intérêt est de comprendre le mécanisme des acteurs qui tourne autour du processus de coordination et de coopération décrit dans le paragraphe précédent, maintenant essentiel pour mettre en œuvre des pratiques intégrées de gouvernance et de développement territorial.

« Plus que les contours institutionnels, ce sont ces contraintes qui définissent le cadre dans lequel les acteurs locaux agissent et qui influencent les modalités de leur coordination et de leurs capacités à articuler différents champs d'action sectorielle. (Gallez, et al., 2011)»

Fondamentalement, on observe, enfin, un changement d'approche de la part de l'ensemble des différents acteurs impliqués dans le processus de planification. Comme l'a observé R. Morelli (2012), à partir d'un point de vue statique, sectorielle et hiérarchique, on est passé à un modèle d'organisation basé sur l'interaction et l'interdépendance qui se concrétise dans la recherche et la mise en œuvre de processus dynamiques de partenariat et de coopération que l'on peut résumer brièvement dans le concept de gouvernance.

« L'apparition d'acteurs nouveaux : promoteurs privés, services urbains, universités, mouvements sociaux, etc. – et la transformation des rôles d'un certain nombre d'autres acteurs (agences, ports, structures intercommunales, etc.) ont modifié les modes de composition, de fonctionnement et de régulation des processus associés aux politiques urbaines [...]. Ce phénomène, soutenu par un accroissement des pouvoirs locaux, a produit deux types de conséquences : d'une part, l'apparition de réseaux d'échanges caractérisés par des temporalités nouvelles et, d'autre part, la mise en place de formes de partenariat et de concertation, misant sur une approche conjointe d'intérêts différents.» (Morelli, 2012)

En introduisant une classification des différentes fonctions exercées par les différents acteurs impliqués dans le processus de gouvernement territoriale, nous allons prendre comme référence les travaux de R. Morelli (2012). Dans cette étude, a été introduite la figure du promoteur, c'est-à-dire l'acteur qui déclenche le processus de planification et, éventuellement, de coopération avec d'autres acteurs, agissant comme élément de synthèse entre les sensibilités impliquées. Les acteurs appartenant aux sphères politique et institutionnelle, sont ceux qui s'occupent du processus de prise de décision et définissent les orientations stratégiques pour l'action. De toute évidence, en fonction de l'échelle spatiale et du mandat représentatif politique particulier, chacun de ces acteurs de la sphère publique se réfère à un domaine particulier de l'action et, de là, couvre un rôle différent dans le processus de coordination.

De la sphère économique, en font plutôt partie ces acteurs qui permettent la réalisation des choix stratégiques de la planification intégrée. R. Morelli (2012), dans ce cas, se réfère à des entités qui peuvent être publiques ou privées et qui sont ainsi formées, directement, sous forme de partenariat public-privé, lesquelles, entre autre, peuvent, dans certains cas, jouer, en même temps, le rôle de promoteur du projet. Dans la phase de mise en œuvre et donc de planification opérationnelle intégrée, le rôle des acteurs appartenant à la sphère professionnelle est

déterminant et comprend tout ce corps d'experts, techniciens, chercheurs et opérateurs qualifiés, qui fournit des compétences spécifiques au service de la mise en œuvre effective des stratégies définies dans le processus de planification.

Il peut donc arriver que le même acteur couvre plus d'un des rôles et des fonctions décrites précédemment. Mais surtout, dans tous les cas, ce système d'acteurs devrait se rapprocher, de manière continue et transparents, avec des réseaux et groupes des citoyens et d'associations de la région, à travers des dispositifs et pratiques de communication, de participation et de concertation qui peuvent permettre à la population de comprendre les différentes étapes de la mise en œuvre d'un projet et d'avoir une vraie implication ; ce qui contribue, en plus, à augmenter le consensus social général à l'égard des opérations effectuées sur le territoire (Morelli, 2012). Dans le cadre d'une analyse de la complexité des relations entre les différents acteurs engagés dans la gestion du territoire, A. Moine (2005) synthétise trois dimensions ou articulations de la sphère organisationnelle qui les implique. Ce sont les dimensions liées à l'individu, à la politique et à l'ensemble des relations économiques, culturelles et sociales dans une région, lesquels possèdent, à leur tour, une triple fonction. Bien que la combinaison des sensibilités, des spécificités et des compétences différentes, provenant de dimensions distinctes, contribue à renforcer la prise de décision, l'action et la négociation entre les sphères locales et nationales, cette opération se révèle, également, génératrice d'autres complexités mais paradoxalement génératrice d'une relative stabilité, causée par la puissance limitant de la coopération (Moine, 2005) en ce qui concerne l'émergence de diverses singularités.

L'évolution qui a été enregistrée au cours des dernières décennies en ce qui concerne les pratiques de planification et d'organisation du territoire, a comporté, en France et dans autres pays européens, le début d'un phénomène constant de décentralisation et de déconcentration (DGESCO - IGEN, 2010) du système de compétences liées au gouvernement du territoire, également appelé « *institutionnalisation de l'action collective* » (Gallez, et al., 2011).

« L'institutionnalisation de l'action collective correspond à un mode de gestion de l'action publique territoriale dans lequel l'État ne joue plus un rôle central, sans toutefois disparaître, où les territoires deviennent les lieux de définition des problèmes publics et où la nature même de ces problèmes, transversaux par nature, fait de la coordination, entre les acteurs qui agissent sur ces territoires, un enjeu central. » (Gallez, et al., 2011)

Une grande partie des compétences qui étaient auparavant traitées d'une manière unique par les gouvernements centraux, passe, dans cette nouvelle perspective, dans les mains de diverses autorités locales (municipalités, départements ou provinces et régions) qui bien si

théoriquement facilitées par la liaison et présence directe sur le territoire, se trouvent en effet à gérer avec des moyens financiers limités, des phénomènes d'une complexité considérable.

En France par exemple, cette situation a conduit à une prolifération générale des acteurs publics destinés à faire face à la gestion et au développement du territoire et, en particulier, des différentes formes de coopération intercommunale et des institutions publiques (syndicats mixtes, sociétés de d'économie mixte, communautés et agglomérations urbaines, communauté de communes, etc.). On relève donc un phénomène contradictoire spécifiquement français dans lequel le processus de décentralisation des pouvoirs a contribué à renforcer la pression vers des formes de partenariat et de coopération entre les différents acteurs. Mais, en même temps et paradoxalement, a conduit à une multiplication des acteurs et, par conséquent, des documents de plan et des règlements, entraînant parfois un chevauchement des compétences et une difficulté de l'action, porteurs d'une complexité supplémentaire.

2.3. Les outils de la planification intégrée

Dans cette section, nous avons l'intention de présenter les caractéristiques et les principes fondamentaux, à la base des outils de planification, qui fournissent une approche intégrée par rapport aux stratégies orientées vers l'articulation entre les systèmes de transport et d'usage des sols. Cependant, l'objectif n'est pas de fournir une liste complète et exhaustive de tous les outils de planification existants, mais plutôt d'analyser quelques exemples particuliers, dans lesquels il y a une substantielle cohérence et intégration entre la planification urbaine et des transports. En particulier, nous allons nous concentrer sur l'analyse des pratiques intégrées d'aménagement du territoire en France et en Italie, dans le but de mettre en évidence les aspects plus intéressants et les questions critiques rencontrées dans le processus de gouvernement du territoire.

En France, par exemple, ce type d'approche a été encouragé et soutenue au niveau politique, au cours des dernières décennies, en référence à différentes échelles spatiales, c'est-à-dire au niveau national et régional et au niveau urbain et interurbain. Cependant, plusieurs auteurs (Harman, et al., 2008) pensent que le lien entre l'aménagement du territoire et des transports dans les plans en vigueur en France n'est pas encore suffisamment défini, en identifiant comme principales faiblesses : l'absence d'un système de contrôle mutuel entre les différentes autorités concernées et la persistance des systèmes de privilège et de pouvoir locaux, peu enclins à la coordination. En substance, en France, les trois types d'instruments constituant le principal soutien aux politiques d'aménagement du territoire intégré et le transport sont:

- Les *Plans*, habituellement, intègrent soit des aspects de réglementation que des supports de cartographiques.
- Les *Schémas* constituent des documents d'analyses en perspective et stratégique qui ne possèdent pas de caractère normatif mais qui définissent leur champ d'action à travers des cartes d'action et des documents cartographiques.
- Les *Contrats* sont des outils qui définissent et représentent concrètement et stablement des résultats des processus de négociation et de coopération entre la communauté et différents niveaux institutionnels qui régissent le territoire (DGESCO - IGEN, 2010). L'objectif de ce type de document est d'intégrer des perspectives et des objectifs différents et surtout de gérer, avec une approche programmatique, l'allocation des ressources financières sur le territoire.

Le contexte institutionnel français prévoit, en référence à la relation entre les différents outils de planification, un système de type hiérarchique. En fait et généralement, un document de haut niveau définit les lignes directrices, les politiques stratégiques et les règles de conformité à laquelle doivent s'adapter les documents de niveau inférieur. Comme l'a observé Domenach (2009), cependant et dans de nombreux cas, les documents de haut niveau sont conçus suite à ceux qui sont réalisés à un niveau inférieur. C'est une pratique qui peut parfois conduire à une réduction générale des ambitions contenues dans les plans de niveau supérieur en raison de la nécessité de gérer les limites fixées dans les documents précédemment formulés.

« Le système Français de planification fonctionne essentiellement sur la base de la réglementation. La concertation et la négociation restent des pratiques marginales mais qui se développent de plus en plus ». (Domenach, 2009)

Les lois françaises qui, pendant ces dernières décennies, ont défini les pratiques de planification, d'organisation et de gouvernance du territoire, sont la *Loi d'Orientation pour l'Aménagement et le Développement du Territoire* (LOADT) de 1995, la *Loi d'Orientation pour l'Aménagement et le Développement Durable du Territoire* (LOADDT) de 1999 et la *Loi de Solidarité et Renouvellement Urbain* (SRU) votée en 2000 (LOSURU). En particulier, la LOADT présente les *Schémas Régionaux d'Aménagement et de Développement du Territoire* (SRADT), qui sont des documents d'orientation et non réglementaires sur les stratégies de développement des régions, et les *Directives Territoriales d'Aménagement* (DTA), qui sont des documents de planification stratégique locale avec l'objectif de maintenir l'équilibre entre développement et protection (Ministère des Affaires Étrangères, 2006), dans les cas où il y a des processus de forte pression démographique ou foncière. La LOSURU a également représentée un passage de grande

importance dans le cadre des politiques d'aménagement du territoire en France. Cette loi a été introduite en fait pour tenter de réglementer les questions relatives à la périurbanisation et à l'étalement urbain en favorisant la mixité fonctionnelle dans les zones urbaines et l'adoption de politiques de mobilité et de développement urbain durables. La LOSRU introduit le *Schéma de Cohérence Territoriale* (SCOT) qui est un outil de planification promu par les agglomérations de plusieurs communes, avec le *Plan Local d'Urbanisme* (PLU), élaboré par les municipalités. Il définit les lignes directrices pour les politiques d'occupation des sols et les transports.

Le SCOT remplace le Schéma Directeur précédent et il est promu par un *Établissement Public de Coopération Intercommunale* (EPCI) ou un Syndicat Mixte référé à une agglomération de municipalités. Il vise à améliorer le niveau de cohérence territoriale dans la pratique de la planification intégrée, essentiellement liée à la planification urbaine, résidentielle, à la localisation des activités économiques et à la mobilité.

C'est un document qui définit les stratégies générales de développement territorial et qui fixe un juste équilibre entre les mesures de l'urbanisation et la préservation des espaces naturels (Ministère des Affaires Étrangères, 2006). Le PLU est le principal document de planification urbaine au niveau municipal et il est essentiel, par exemple, afin d'expliquer les objectifs contenus dans les *Contrats d'Axe*, c'est-à-dire dans ces instruments qui définissent les orientations opérationnelles à proximité des principaux corridors des transports collectifs.

Si on se réfère, cependant, à l'échelle régionale, le but et le contenu des outils de planification stratégique portent, notamment, sur le développement et la promotion de la cohérence globale de la stratégie de développement d'un territoire spécifique. Le principal document qui renvoie à l'articulation entre l'aménagement du territoire et des transports, à l'échelle régionale, est donc le *Contrat de Projet État-Région*, d'une durée de cinq ans et dans lequel la ligne dominante est, toutefois, de niveau national. Les principaux axes stratégiques de caractère régional, qui se reflètent dans les Contrats entre l'État et les régions, proviennent, en grande partie, des Schémas Régionaux, y compris les *Schémas Régionaux d'Aménagement et de Développement Durable du Territoire* (SRADDT) qui, en intégrant également les *Schémas Régionaux des Transports et des Mobilités* (SRTM), définissent, explicitement et spécifiquement, les possibilités et les stratégies d'interaction entre le système de transport et l'occupation des sols (Harman, et al., 2008).

« La contractualisation est très souple et très variée. Il serait vain de dresser une liste exhaustive des différents types de contrats existants. Chaque région ou département peut mettre en œuvre un ou plusieurs types de contrats à destination de territoires infrarégionaux ou infra départementaux. » (Ministère des Affaires Étrangères, 2006)

Dans un document de 2010 de l'Agence d'urbanisme Bordeaux Métropole Aquitaine, sont recensés plusieurs exemples significatifs d'outils de planification opérationnelle, conçus pour associer des interventions d'urbanisme et des politiques de mobilité. En particulier, les auteurs prennent comme exemples de réussite le cas des *Disques d'Evaluation des Axes de Transport* (DIVAT) de Lille et la *Directive Régionale d'Aménagement* (DRA) de la région Nord-Pas-de-Calais (AURBA, 2010). Les DIVAT sont des disques de rayon de 500 mètres, centrés sur autour des stations de métro, de tramway et des gares ferroviaires. Il s'agit d'un dispositif opérationnel mis en place par la Communauté Urbaine de Lille, dans le but d'identifier les sites possédant le plus grand potentiel de développement et de densification urbaine et où il faut concentrer les interventions visant à améliorer les niveaux d'accessibilité vers les systèmes des transports collectifs. À une autre échelle les objectifs de la DRA sont liés principalement à la limitation de la consommation des sols et de l'étalement urbain, par la promotion des interventions de développement des zones entourant les gares ferroviaires et de développement urbain à proximité des réseaux de transport collectif. Cet outil de planification opérationnelle, promu par le Conseil Régional du Nord-Pas-de-Calais, fournit des lignes directrices que les EPCI (Établissement Public de Coopération Intercommunale) doivent appliquer sur le territoire.

D'autres exemples de réussite sont signalés dans le même document : ce sont le *Contrat d'Axe* de Grenoble et le *Contrat de Pôle* de la Région Île-de-France (AURBA, 2010). Dans le premier cas, il s'agit d'un accord non réglementaire qui énonce les engagements contenus dans l'accord promu par le Syndicat Mixte du transport collectif de l'agglomération de Grenoble. Il implique plusieurs autorités locales et l'autorité organisatrice des transports pour la définition des interventions d'urbanisation, le long d'un axe structurant du transport collectif (précisément le long d'une ligne de tramway) (Domenach, 2009).

Le *Contrat de Pôle* est également un outil opérationnel promu par la Région Ile de France. Il se réfère spécifiquement à une série de centres intermodaux stratégiques et s'occupe de définir les modalités de coordination entre les autorités locales, les opérateurs de transport et les autres acteurs qui y opèrent (AURBA, 2010). L'objectif est de gérer, dans une optique intégrée, un projet de réaménagement urbain autour de ces pôles intermodaux, en commençant par l'acquisition des sols jusqu'à l'allocation des ressources, à l'exploitation et à la gestion des différents services.

Si on déplace le regard vers le contexte italien, nous pouvons identifier trois générations principales de plans d'urbanisme qui ont eu lieu au cours des cinquante dernières années (Campos-Venuti & Oliva, 1993) :

- *Plans d'Organisation/Ordonnance Urbain*³: (datant de la période d'après-guerre) ils étaient principalement destinés à la création de réseaux routiers et à la reconstruction des villes détruites pendant la guerre, à travers des opérations de densification urbaine, par conséquent, sans un accent particulier sur le concept de diversification des usages du sol.
- *Plans d'Expansion Urbaine* (1960' – 1970'): ils avaient comme principal objectif la lutte contre la spéculation, l'étalement urbain et la promotion d'une expansion urbaine plus rationnelle.
- *Plans de Transformation Urbaine* (années 1980'): ils introduisent le thème de la qualité urbaine, visent à limiter la consommation du sol et comportent le principe de l'action différenciée sur le territoire, dans le but d'adapter la ville aux technologies modernes liées à la construction et aux systèmes de transports collectifs.

Par la suite, la complexité croissante dans la gestion des dynamiques liées à l'exploitation du territoire synthétisée par certains chercheurs dans le concept de transition d'une ville industrielle à la ville métropolitaine (Campos-Venuti & Oliva, 1993) a également entraîné une crise générale de l'approche italienne de planification traditionnelle, qui est plus basée sur le principe du zonage et sur une rigidité législative et réglementaire que sur la flexibilité et l'articulation multi-échelle et multidisciplinaire des stratégies d'intervention. Avec la réforme du *Titre V* de la Constitution italienne, qui a transféré de nombreux pouvoirs du niveau national au niveau régional, la notion de *gouvernement du territoire*, en substitution de celle d'urbanisme a été en effet introduite dans la Constitution (art. 117). Le but était précisément d'élargir le champ de compétence dans le processus de planification, en insistant sur l'aspect multidisciplinaire et multifonctionnel et en donnant aux acteurs et aussi aux outils réglementaires une plus grande cohérence et flexibilité d'action. Avec la notion de *gouvernement du territoire* le législateur a voulu souligner le fait qu'il s'agit d'une discipline qui concerne tout le territoire et donc tous les usages et pas seulement le bâti. Même en Italie, le système qui régle la planification est organisé de manière hiérarchique et pyramidale, avec des outils de planification générale qui décrivent la stratégie globale de développement et des plans opérationnels⁴ de mise en œuvre des interventions spécifiques dans des zones limitées du territoire. En outre, les plans de niveau général sont relatifs aux différentes échelles spatiales (municipalité, province, région), alors que les plans opérationnels de mise en œuvre se rapportent exclusivement à l'échelle municipale, bien que ce système pyramidal ne soit pas toujours réalisé dans la pratique, comme nous l'avons déjà indiqué, cependant, dans le cas français:

³ *Piani di Ordinamento Urbano*

⁴ *Piani Attuativi*

“Le principe dit de subsidiarité, les outils de planification placés à une échelle inférieure peuvent désormais modifier celles du niveau supérieure, qui à son tour dictent les règles sur l'usage des sols”. (Francini & Viapiana, 2010)

Au niveau législatif, la planification urbaine en Italie est encore largement régie par la *loi n.1150 du 17 Août 1942*, dite *Loi Nationale d'Urbanisme*, laquelle, malgré de nombreuses adaptations au fil du temps, n'a jamais été remplacée. Elle montre, d'une part, la validité juridique extraordinaire de cette loi mais, d'autre part, le manque de dynamisme politique italien en matière de réformes législatives.

La loi renforce le rôle de l'outil du *Plan Régulateur Générale* (PRG) (introduit pour la première fois avec la loi n.2359 du 1865) et introduit le concept de zonage. Le PRG est alors le principal outil stratégique de développement urbain en Italie, à l'échelle communale, soutenue par de multiples outils pour la mise en œuvre et les détails opérationnels. Cet ensemble est appelé, par certains chercheurs, comme un plan de rationnel-compréhensif (Colavitti & Usai, 2009; Balducci, 1991), donc à la fois stratégique et opérationnel, car il est destiné à rationaliser et à prédéfinir le développement urbain d'une région, compte tenu de tous les aspects fonctionnels et spatiaux présents.

À cet égard, compte tenu de la nécessité et de le besoin de concevoir une méthodologie de planification adéquate pour la gestion des processus de transformation de la ville contemporaine, dans les années 1990', on commence à donner vie à une approche plus réformiste (Colavitti & Usai, 2009) et alternative (Forgione, 2008), qui va promouvoir un modèle de planification caractérisé par une plus grande « cohérence entre les temps et les actions du Plan » (Campos-Venuti & Oliva, 1993) et de type « pas plus contraignant mais d'orientation » (Francini & Viapiana, 2010). Les PRG sont ensuite remplacés par trois outils de planification distincts ou plus exactement de gouvernement du territoire:

- le *Plan Structurel*, de niveau stratégique programmatique et non prescriptif;
- le *Plan Opérationnel*, de niveau exécutif et normatif, et limité dans le temps;
- le *Règlement d'Urbanisme* et du bâti, prescriptif et il se réfère, en particulier, aux bâtiments.

“Les premières lois régionales qu'ont adoptées cette nouvelle philosophie, était dans l'ensemble difficile à se débarrasser en permanence de la culture du Plan et entrer pleinement dans le nouveau modèle structurel opérationnel. Dans certaines lois, [...] alors que le nouveau modèle est souvent aplati sur le vieux binôme Plan Général et Plan Structurel, le contenu du Plan Structurel

ont été disciplinés d'une manière pas très différent de ceux qui étaient le contenu de l'ancien Plan Régulateur Générale (PRG).“ (Francini & Viapiana, 2010)

Concernant seulement la thématique de recherche spécifique de cette thèse, à savoir la planification intégrée des systèmes de transport et d'usage des sols, les outils les plus intéressants, qui rentrent dans les trois typologies qui remplacent le PRG, sont essentiellement ceux qu'on appelle les *Programmes Négociés* et les *Programmes Complexes*.

Il s'agit en fait d'outils qui, ont principalement pour objectif de créer les conditions d'une coordination et de coopération entre les différents types d'acteurs, les échelles, les fonctions et les ressources et de promouvoir des politiques intégrées et durables. Avec ces instruments, est aussi introduite, pour la première fois dans ce domaine en Italie, la notion de concurrence territoriale, grâce à l'introduction de la méthode de l'appel à offre et donc de la compétition entre les différentes autorités locales dans l'attribution des fonds.

La Programmation Négociée a été introduite par la loi 662/1996 et concerne l'ensemble des activités qui promeuvent une action associant les différentes autorités locales, entreprises privées, représentants des citoyens et des acteurs économiques.

C'est un ensemble d'outils qui sont basés sur le principe de la coopération et, en particulier, de la concertation avec la communauté locale, selon une approche qui, à son tour, peut avoir des connotations de type *top-down* ou *bottom-up*, c'est-à-dire à partir d'un niveau plus élevé à un niveau inférieur ou dans le second cas à partir du bas vers le haut (Francini & Viapiana, 2010). Les moyens de mise en œuvre des outils de planification négociés sont divisés en deux niveaux. Les instruments de premier niveau sont les suivantes (Ministero dello Sviluppo Economico, 2011):

- *Accord Institutionnel de Programme* : c'est un accord de coopération entre l'État et les régions sur la stratégie et les règles concernant les différentes politiques de développement régional. L'IIP est mis en œuvre par l'Accord de Programme-Cadre⁵.
- *Accord de Programme-Cadre* : il définit, en détail, la nature des interventions, les acteurs, le mécanisme de financement et les programmes de surveillance et contrôle.

Les outils de programmation négociée de deuxième niveau prévoient une plus grande participation des communautés locales et donc un plus grand niveau de concertation. Ils sont les suivants (Ministero dello Sviluppo Economico, 2011) :

⁵ Cet outil de la planification en Italie présente des importantes similitudes avec les Contrats de Plan État Région (CPER); appelés contrats de projet et qui ont pris la suite des Plans quinquennaux en France, dans les années 1980 (les Plans datent au moins de l'après-guerre).

- *Contrat de Programme* : C'est un accord entre une entité publique et une entité privée, destinée à encourager les investissements économiques productifs dans les zones défavorisées.
- *Pacte territorial* : C'est un accord entre les acteurs publics et privés et des représentants des communautés locales pour la promotion du développement local, favorisant l'intégration entre des secteurs industriels, des services et le réseau d'infrastructure.
- *Contrat de Zone*⁶: il possède un caractère (Francini & Viapiana, 2010). En fait, il est activé dans les zones traversées par des crises sociales et d'emploi sévères, dans le but de réactiver le système économique et productif.

Enfin, on entend également illustrer certains outils qui font partie de ce qu'on appelle la Programmation Complexe (Forgione, 2008; Francini & Viapiana, 2010) :

- *Programmes Intégrés d'Intervention* : gérés par le Ministère des Travaux Publics et par les Régions, destinés à des interventions résidentielles et de réaménagement du tissu urbain dans des zones dégradées, grâce à l'utilisation des ressources, à la fois public et privé.
- *Programmes de Régénération Urbaine* : se réfèrent à de grandes zones géographiques et favorisent la transformation urbaine et l'intégration et la redistribution des ressources et des services dans l'espace (à l'échelle communale ou des quartiers).
- *Programmes de Rénovation Urbaine et de Développement Durable du Territoire*⁷: interventions étendues, destinées à améliorer le système des infrastructures et le système économique-productif-occupationnel et environnemental, ainsi que pour la récupération et la réhabilitation de l'environnement, du tissu social et urbain des zones territoriales concernées (peuvent regarder des systèmes métropolitains, des espaces de transition entre centres urbains et des infrastructures et équipements ponctuels ou en réseau).
- *Programmes Novateurs dans les Zones Urbaines*⁸ : ils sont d'un intérêt particulier car ils sont promus par le Ministère de l'Infrastructure et des Transports et ils visent à la régénération, au réaménagement et à l'intégration urbaine et fonctionnelle dans des zones dégradées environnantes et adjacentes aux gares ferroviaires ou aux ports.

Pour bien comprendre, cependant, la complexité et les contradictions dans le contexte italien, un élément intéressant à considérer est lié au fait que, il y avait encore en 2009 beaucoup de

⁶ *Contratto d'Area*

⁷ *Programmi di Riqualificazione Urbana e di Sviluppo Sostenibile del Territorio* (PRUSST)

⁸ *Programmi Innovativi in Ambito Urbano*

communes qui, en dépit de leurs obligations en vertu de la loi, ne pas sont équipées d'un outil de plan d'urbanisme approuvé.

“En Italie, les municipalités avec le plan municipal approuvés depuis 1998 sont 3983, soit 49,2% du total. Le territoire correspondant à ces villes a une superficie de 151209 kilomètres carrés, égale à un peu plus de la moitié de la surface de l'Italie”. (Colavitti & Usai, 2009)

A. Forgione (2008) identifie également un certain nombre des facteurs limitant dans le processus d'innovation et de changement apporté par l'introduction de ces nouveaux outils de programmation et de négociation complexe qui vient d'être décrit.

Tout d'abord, un premier problème est lié au facteur temps et à la longueur du processus d'approbation de ces documents, qui est en moyenne de pas moins de 10 ans. Cette temporalité peut mettre en péril la réussite du processus de coopération avec le secteur privé et les partenaires financiers. D'autres problèmes sont liés à la présence d'objectifs parfois trop larges et génériques qui donnent lieu à une imprécision importante (Forgione, 2008) au niveau du contenu et donc des difficultés de mise en œuvre, ainsi que dans un chevauchement des plans traditionnels et des programmes de la nouvelle génération dans la même zone, avec des conflits de compétence, de responsabilité et coordination. La question qui semble émerger est donc de mettre au point des schémas territoriaux de référence (Forgione, 2008), précisément similaires à ceux du type du SCOT français, qui puissent donner une référence claire de stratégies territoriales et intégrer chacun des outils précédemment décrits, dans un plan unique et inclusif.

2.4. Les éléments clés dans le processus d'interaction entre urbanisme et transport

Dans la deuxième partie de ce chapitre on entend mettre l'accent sur certains des concepts et des éléments qui influent directement sur la dynamique d'interaction entre le système de transport et l'usage des sols.

En particulier, nous allons tenir compte de quatre facteurs clés de l'interaction: la *mobilité*, l'*adaptabilité*, l'*accessibilité* et la *densité*. Nous considérons en fait que ce n'est qu'à partir d'une compréhension profonde des enjeux associés à ces aspects spécifiques du processus de fonctionnement d'un territoire, qu'il est possible concevoir et de procéder à la mise en œuvre d'interventions, méthodes et principes de planification et de gouvernance territoriale, qui favorisent un développement intégré et durable. Les quatre facteurs d'interaction cités dans ce paragraphe seront brièvement présentés et analysé individuellement plus en détail dans les paragraphes suivants. Nous avons sélectionné ces quatre aspects et facteurs d'interaction, car

représentent les éléments qu'apparaissent les plus influentes et selon les cas des freins ou des moteurs au fonctionnement de l'articulation entre transport et urbanisme. La *mobilité* est l'activité qui suppose le mouvement ou le déplacement d'un individu. Elle se déroule dans le temps, à partir d'un lieu d'origine vers un lieu de destination et pour un motif donné et elle utilise un mode de transport particulier. La configuration du système de transport et de mobilité dépend strictement de l'organisation économique et productive d'un territoire (Bavoux, et al., 2010), y compris les choix liés à la localisation des résidences, des zones d'emploi et à l'organisation du système des services et des ressources. Le sujet de la gestion du système des transports et de la régulation des comportements de mobilité à l'intérieur du milieu urbain est, aujourd'hui, un problème d'importance fondamentale du fait qu'il règle le fonctionnement territoriale et urbain. L'organisation de la mobilité, en effet, est étroitement liée à la définition des niveaux de qualité de la vie et, par conséquent, influent sur les choix politiques, de type stratégiques et gestionnaires du territoire. Les dynamiques liées à la mobilité et aux transports règlent et interviennent, en effet, dans toutes les activités et actions de l'individu, quand il se rapporte à la société dont il fait partie (Urry, 2002).

Avec le concept d'*adaptation* ou *adaptabilité*, associé à la thématique du développement urbain et de l'aménagement des transports et du territoire, on entend la capacité d'évolution et de modification des caractéristiques fonctionnelles, du contexte de base (social, économique et technologique) et des spécificités internes (caractéristiques constructives et urbanistiques, organisation des fonctions et des ressources) d'un territoire. Cette capacité va évoluer en fonction des nécessités effectives et des contingences qui, au cours du temps, viendront se matérialiser et qui intéresseront les utilisateurs (habitants ou utilisateurs temporaires) de tels contextes, toujours dans l'intérêt de respecter, préserver et protéger la survivance du système territorial dans sa totalité. L'adaptabilité consiste donc en la capacité, d'un ou plusieurs de ces éléments, à être en mesure de se modifier, sans devenir une cause des phénomènes de déséquilibre, de perturbation et d'instabilité, vers le fonctionnement général du système urbain et territorial en question (Moine, 2005). Elle sera, plutôt, l'action et l'événement de modification et de mutation du système territoriale, y compris de son environnement naturel, qui permettra d'acquérir une signification d'évolution positive, d'enrichissement, d'amélioration générale, conçue en harmonie et en symbiose avec le changement de la réalité environnante. Pour nous permettre de fixer les éléments clés qui nous permettront de poursuivre la suite de ce travail de thèse, on retient la nécessité d'analyser, en détail aussi, le concept d'*accessibilité*, qu'on considère l'indicateur fondamental pour évaluer par exemple le niveau d'adaptabilité et d'intégration d'un réseau de transport avec les espaces environnantes. Il s'agit d'une notion que nous retrouverons, en effet, en tant qu'élément central et stratégique (Leysens, 2011) dans la

réflexion sur la dynamique et sur les opportunités d'évaluation et d'estimation de la performance et de l'efficacité d'interaction entre les systèmes de transport et le développement urbain et durable du territoire. Ces éléments seront présentés dans les prochains chapitres. L'accessibilité représente la possibilité d'atteindre un lieu ou une activité (L'Hostis & Conesa, 2008), mais sans équivaloir à la notion de distance, laquelle représente seulement un des facteurs (Chiaradia, et al., 2013) qui contribuent à définir l'accessibilité. Dans sa conception la plus générale, la notion d'accessibilité peut aussi servir pour définir essentiellement des problèmes d'accès à l'espace public et aux ressources du territoire (logement, santé, éducation), pour des individus qui ont des difficultés sociales ou déficiences physique particulières et qui ont donc une mobilité réduite. Dans une approche plus opérationnelle et orientée vers l'analyse des dynamiques de fonctionnement du couple territoire-réseaux de transport, grâce à l'accessibilité, il devient aussi possible de définir les conditions d'accès et traversée de l'espace et des lieux, ainsi que les conditions d'utilisation des toutes les fonctions du territoire qui sont connectées par le réseau.

« L'accessibilité est un des concepts privilégiés pour analyser les relations transports-territoires » (L'Hostis, Colloque MSFS, PACTE Grenoble 24 - 25 Mars 2011).

La *densité* enfin peut être définie comme le rapport entre le nombre d'habitants, les emplois, les logements ou les mètres carrés⁹ de surface construite par unité de surface de sol. Cet indicateur peut être lié à différentes échelles spatiales (Litman, 2012a) (local, urbain, régional ou national) et peut accompagner ou compléter de nombreuses stratégies de planification plus complètes, complexes et innovantes comme le *Smarth Growt*, le *New Urbanism* et le *Transit Oriented Development* (TOD) (dans le 3ème chapitre de ce travail de thèse, le sujet du TOD sera traité dans le détail). Densifier ultérieurement les zones urbaines est donc, actuellement, un objectif des planificateurs et les acteurs de l'aménagement du territoire, afin proposer des modèles de croissance urbaine qui limitent les problèmes d'étalement urbain et de consommation excessive des sols. La disponibilité de plus en plus faible de l'espace, accompagnée par un phénomène d'urbanisation continu (une personne sur deux dans le monde vit dans les villes) (Pélegrin-Genel, 2009), comporte, en fait, une augmentation structurelle des prix des sols et des bâtiments dans les zones urbaines, pas toujours compensée par la réduction du prix au m² conséquentes à l'augmentation des densités de logement (selon la règle économique de l'équilibre entre offre et

⁹ Densité humaine : nbre d'habitants au km²; Densité d'emplois: nbre d'emplois au km²; Densité de logements : nbre de logements à l'hectare; Densité du bâti : nbre de m² de surface construite par hectare

demande) et tend, ainsi, à réduire l'accès résidentiel à la population (Bonnefoy, et al., s.d.; Pélegrin-Genel, 2009).

À cette tendance s'ajoute une préférence générale, de la part de la population, à installer leur résidence dans des environnements ruraux, en privilégiant généralement le type de logement de la maison individuelle.

2.5. Mobilité, mouvement et développement urbain

Dans les dernières décennies, on a assisté à un accroissement progressif de la complexité des problèmes liés à la mobilité à cause de plusieurs phénomènes sociaux qui seront analysés ultérieurement et qui ont essentiellement contribué à modifier la perception générale du couple espace-temps et donc, par conséquence, de l'idée de distance.

« La taille croissante de nos grandes métropoles, et la vitesse avec laquelle nous les parcourons, soulèvent beaucoup de problèmes nouveaux pour la perception ». (Lynch, 1976)

Les moyens et les styles de vie et la configuration des territoires urbains sont, en fait, des concepts de base pour déterminer les habitudes de mobilité (Bavoux, et al., 2010). Par conséquent, les nouvelles découvertes, les innovations techno-scientifiques et la nouvelle configuration socio-économique du monde contemporain ont donné vie à une société globalisée (Massot & Orfeuil, 2007) culturellement et économiquement, et caractérisée par une perception générale d'accélération de la vitesse et de réduction des distances. Voyager de manière rapide et, au-delà, refaçonner les limites spatiales perçues et les habitudes de déplacement quotidien, ne permettent pas, cependant, de s'approprier le parcours effectué mais incite à concentrer l'attention essentiellement sur le point d'origine et de destination du déplacement (Bavoux, et al., 2010). Il s'agit des phénomènes de perception spatio-temporel qui sont bien synthétisés dans le concept d'*effet tunnel*, introduit par Plassard, soit par rapport à l'introduction de les infrastructures autoroutiers (1976), que en suit en relation à la diffusion des systèmes ferroviaires à grande vitesse (1991).

“Le réticulaire et le ponctuel prennent le pas sur l'aréolaire. [...]. En fonction de vitesses très diversifiées, nous vivons dans un jeu de territoires correspondant à des espaces-temps à géométrie variable. Chaque mode de transport et donc chaque vitesse dessine, pour chacun d'entre nous, des territoires de vie multi scalaire et emboîtés” (Bavoux, et al., 2010)

Cependant, de nombreuses recherches ont confirmé la théorie de la "*constance du bilan temporel*" soulignée par Zahavi (1974) pour lequel le budget temporel journalier moyen, destiné au transport, reste substantiellement constant, abstraction faite des vitesses de parcours et donc du temps de parcours. Dans ce contexte, un système de transport qui permet de se déplacer sur de grandes distances et dans un moindre temps, n'incite pas à réduire la quantité totale des déplacements quotidiens effectués mais tend plutôt à augmenter les distances moyennes quotidiennement parcourues.

En même temps qu'une augmentation généralisée de la vitesse moyenne de déplacement, on observe, cependant, une augmentation des différences : vulnérabilité et disparité entre lieux, territoires et catégories de population, du fait de l'accès à la mobilité et de l'interaction entre territoires, mais, en même temps aussi paradoxalement, émergence d'une uniformité générale des manières et des styles de vie (Bavoux, et al., 2010). La tendance générale qui se révèle actuellement dans une homogénéisation des styles de vie et donc des habitudes de mobilité, ne se traduit pas cependant dans une réduction effective des inégalités et des phénomènes d'exclusion sociale (Grimal, 2012). Les contrastes les plus grands en fait peuvent être relevés entre les différentes typologies, contextes et configurations spatiales du territoire, c'est-à-dire qu'à l'opposé d'une réduction graduelle de l'usage de la voiture dans les grands centres urbains, on observe une tendance inverse dans les petits centres urbains et dans les zones rurales et peu denses. En substance les habitudes de mobilité ne se différencient pas par les motifs et les fréquences de déplacement, mais plutôt dans le rapport avec les modes de transport utilisés et dans les besoins liés aux conditions professionnelles, à la position sociale et au niveau de revenu des individus (Grimal, 2012). La société contemporaine voit donc cohabiter des dynamiques sociales plus complexes, une perception de l'espace et du temps de plus en plus contractée qui poussent à une remise en cause des idées fondamentales de limite, de frontière, de distance, de mouvement et de choix. Nous vivons dans une société caractérisée par la multiplication des opportunités et, en même temps, des incertitudes, de l'accélération et du changement où la mobilité et la capacité de mouvement sont toujours de plus en plus régulées par des dynamiques de fonctionnement des territoires et par l'insertion de l'individu à l'intérieur d'un tel mécanisme (Massot & Orfeuil, 2007). En substance, l'organisation de la mobilité qui dérive des attributs d'attractivité des territoires et des zones urbaines se réfère aux contextes territoriaux qui ne correspondent plus avec les frontières administratives traditionnelles (Crozet, et al., s.d.) (Commune, Région, État) et concerne des habitudes et des modalités de mouvement et de déplacement qui nécessitent des distances toujours plus grandes (Massot & Orfeuil, 2007) et sont liées aux chaînes de motifs de plus en plus complexes et variables.

Du point de vue des transports, agir sur la mobilité signifie intervenir sur la circulation des flux de transport et sur l'efficacité du système. Un système de transport en effet est constitué de la demande et de l'offre de transport, que représentent respectivement les usagers et donc ceux qui utilisent le système de transport pour accomplir leurs déplacements et les composants matériels (infrastructures) et immatériels (services) qui servent à réaliser et exercer un tel service de transport. On parle en particulier d'offre physique et d'offre opérationnelle de transport, pour différencier tout cet ensemble d'infrastructures physiques qui sont indispensables pour permettre l'interaction spatiale entre lieux et gens, de l'ensemble d'activités organisationnelles, stratégiques et de programmation qui se réfèrent à l'aménagement et à la gestion de la circulation des différents systèmes de transport. Quand en effet on introduit un nouveau système de transport et des nouvelles infrastructures dédiées au fonctionnement de tels systèmes, l'objectif central est essentiellement d'augmenter les opportunités de déplacement et la facilité de mouvement pour les usagers de tel système (Handy, 2002). Le problème fondamental dans ce cadre est dû au phénomène que dans la terminologie des transports on désigne par l'« *effet induit sur les déplacements* » ou la « *demande induit de transport* » qui se vérifie en particulier dans le cas du transport routier. En substance donc, à l'augmentation de la capacité d'un système de transport peut correspondre une augmentation encore plus grande de la demande de transport. Levinson soutient en outre que quand on parle de demande de transport induite, il faut considérer que celle-ci est aussi accompagnée d'une demande résidentielle, induite, additionnelle (Levinson, 2007). Un tel phénomène obéit dans les effets au principe économique du rapport entre demande et offre: une augmentation de la capacité et donc une augmentation de l'offre, correspond à une réduction des coûts de déplacement (temps de parcours, consommations de carburant, etc.) et donc à une augmentation conséquente de la demande de mobilité, en créant un nouveau point d'équilibre, de rencontre, entre les deux courbes (Handy, 2002).

«Les stratégies destinées à améliorer la mobilité visent à accroître le potentiel de déplacement en renforçant la capacité du système et en augmentant la vitesse de déplacement». (Handy, 2002)

L'augmentation de la vitesse moyenne de déplacement et donc l'amélioration de la facilité de déplacement et des opportunités de mobilité (*accessibilité*), est un défi permanent dans l'histoire de l'humanité, tant du point de vue des caractéristiques des infrastructures que du tracé et des types de véhicule. Le train à grande vitesse, par exemple, atteint actuellement des vitesses de 300 km/h grâce à des voies avec peu de dénivelé (même si cet aspect en France ce n'est pas toujours vérifié, comme dans le cas de la ligne TGV Paris-Lyon) et des grands rayons de

courbure et aussi parce que les niveaux de conception et de construction des trains a beaucoup progressé en termes de technologie et d'innovation. Mais, en plus d'intervenir sur les caractéristiques techniques du tracé et des véhicules, une augmentation de la vitesse de circulation peut également être obtenue grâce à des interventions sur le fonctionnement global du système de transport (Bavoux, et al., 2010). En ce qui concerne la circulation à la fois routière et ferroviaire, par exemple, la signalisation est un élément qui peut affecter particulièrement les niveaux de *fluidification* (Bavoux, et al., 2010) du trafic, c'est-à-dire agir sur les niveaux de vitesse commerciale. Un autre aspect fondamental est lié à l'organisation des *séquences nodales* (Bavoux, et al., 2010), c'est-à-dire la position et le type des points d'arrêt, de connexion et d'échange, sur un réseau de transport. Dans le cas des lignes de transport collectif, par exemple, la vitesse commerciale est inversement proportionnelle à la quantité d'arrêts effectués le long du trajet, ce qui entraîne une tendance à contourner ou éliminer les arrêts s'ils ne sont pas strictement nécessaires. L'*interopérabilité* ou *interpénétration modale* (Bavoux, et al., 2010) représente, par contre, la capacité d'un véhicule à rouler sur deux ou plusieurs types d'infrastructure, ce qui élimine les inconvénients dus à la rupture de charge (par exemple, le tram-train). Un réseau de transport s'inscrit cependant dans le territoire en provoquant parfois des changements substantiels et significatifs dans la configuration morphologique, fonctionnelle et qualitative d'un système territorial. Dans cette optique le concept d'adaptabilité, à chaque contexte spécifique, des interventions en infrastructures des transports, mais aussi de configuration urbaine des espaces, prend un caractère central, comme on verra dans le paragraphe suivant.

2.6. Une réflexion sur le concept d'adaptabilité

Un territoire régional, urbain ou rural peut être défini comme adaptable s'il est en permanence capable de survivre dans une situation d'équilibre instable. Un équilibre est instable dans le sens où chacun des composants et des fonctionnalités du système territorial (fonctions, ressources, forme, temps et échelle) s'articule et se régénère en fonction de la modification des autres, en amorçant un processus d'évolution continue et stratégiquement coordonné. Le sens de mouvement permanent est lié essentiellement donc à l'idée de temporalité et de continuité de la fonction d'adaptabilité. La ville ou le territoire s'adapte aujourd'hui, du fait de ses fonctions et de ses caractéristiques passées, présentes et en fonction des perspectives et des projections souhaitées et prévues pour l'avenir. Bien que tous les éléments et les composants caractéristiques d'un système territorial puissent être modifiables, tous les instruments générateurs d'évolution, les dynamiques temporelles et les propriétés fonctionnelles de cette

mutation ne progressent pas en suivant des trajectoires toujours semblables et équivalentes. La capacité d'adaptation et la prédisposition à la mutabilité, peuvent être traduites au travers de la



Figure 4: Les bidonvilles ou villes autonomes de Caracas (Venezuela, 2013). Un exemple d'adaptabilité ou de mauvaise planification?

notion de ductilité qui est, en fait, une caractéristique physique qui, appliquée aux composants du contexte urbain, se décline suivant différents rythmes ou échelles temporelles, souvent de manière superposée et contrastée. La ville ou, en général, un système territorial peut rencontrer des limites et

des obstacles à sa nécessaire obligation de mutation, en raison des difficultés techniques, réglementaires, sociales ou symboliques. Dans le même temps, il existe des éléments ou des dynamiques qui peuvent se révéler des moteurs, des accélérateurs ou des catalyseurs du changement et de l'adaptation. Les grands changements et les phénomènes d'émancipation et d'évolution sociale et culturelle, comme les simples actions individuelles sont des exemples de ces phénomènes accélérateurs, liés, en particulier, à l'intervention humaine. Dans le même temps, d'autres éléments facilitateurs des dynamiques d'adaptation sont liés à la dotation technique et technologique disponible, à l'évolution législative et réglementaire, ainsi qu'à la disponibilité des ressources et au contexte économique, social et politique.

Comme nous l'avons déjà rappelé, l'évolution et l'adaptabilité se profilent selon un mouvement constant et continu, qui peut être induit et provoqué par des phénomènes de mutations externes ou internes, endogènes ou exogènes. Ces phénomènes et ces interventions ont, cependant, pour fonction d'harmoniser l'offre territoriale aux besoins réels et aux besoins de fonctionnement des dynamiques du développement urbain. Pour permettre une telle adaptation, la forme et la conception initiale du système territorial doivent être conçues de manière à ne pas entraver la différenciation des pratiques relatives à l'utilisation et à l'exploitation, et à encourager un caractère polyvalent, multifonctionnel et évolutif.

Un système polyvalent est donc conçu pour remodeler et reconfigurer ses propres limites et ses propres points de repères constitutifs, en raison du fait qu'il est caractérisé par une structure solide, mais pas rigide, non pas univoque mais au contraire diversifiée et adaptable. Dans le cas spécifique des systèmes de transports et de la mobilité, à la place des formes urbaines conçues exclusivement pour l'usage de la voiture, pour adapter la ville aux différents besoins,

temporalités et à la complexité d'usages, l'urbanisme devrait soutenir et promouvoir une approche multimodale, de partage des espaces entre les différentes modes de transports et pratiques de mobilité, en permettant toujours à la voiture de circuler. L'adaptabilité signifie également, comme nous l'avons déjà mentionné, la capacité de lire la réalité et de se synchroniser avec les diverses et multiples temporalités, les rythmes présents et les agents dans une zone donnée. Les dynamiques locales et micro-locales (quartiers, villages, zones rurales) fonctionnent selon un temps et un rythme différent des dynamiques urbaines, métropolitaines et régionales. Mais cela ne veut pas dire qu'il n'est pas possible d'intégrer et de coordonner ces différentes temporalités en constituant un système articulé et cohérent, qui soit capable d'améliorer les caractéristiques et les spécificités de chaque contexte, et en les considérant comme une ressource et un élément d'originalité dans un système territorial global plus complexe et multiforme. L'adaptabilité est aussi la capacité de devenir le moins possible dépendant des intrants externes (énergie, ressources, force de travail, matières brutes), de se régénérer et de se développer de façon indépendante et partagée, en valorisant ses propres potentialités, tout en préservant une prédisposition à la perméabilité envers les mutations externes et une ouverture à la diffusion des innovations. Dans une prospective innovante, orientée pour répondre à la nécessité de redéfinir et d'adapter les pratiques de mobilité et afin de réagir à la complexité et aux besoins actuels de fonctionnalisme multiple et de résilience¹⁰, une nécessaire réflexion est à mener sur les habitudes et les pratiques de déplacements. Dans le contexte de fonctionnement d'un système territorial des déplacements et donc des transports, s'adapter, en termes de mobilité, signifie pouvoir définir des lignes directrices et des principes qui peuvent contribuer à faciliter et à encourager le changement, l'évolution et la diversification des habitudes et des opportunités de mobilité, en suivant un principe de base de non dépendance à la voiture. Au niveau opérationnel, cela se traduit par un effort de valorisation des différentes alternatives de mobilité, ainsi que par une transformation de la gestion des systèmes de transports en une économie des services, adaptée, accessible et mutable, en fonction des différents besoins de mouvement. Favoriser l'accès aux réseaux des transports en commun, multiplier les connexions piétonnes et cyclables et rééquilibrer les rapports entre les différents utilisateurs des rues urbaines sont des principes à suivre dans cette direction.

¹⁰ Définie dans le dictionnaire Larousse comme la « *Caractéristique mécanique définissant la résistance aux chocs d'un matériau* », dans le cadre de l'urbanisme le concept de résilience « *peut être défini comme la capacité d'un système urbain à absorber une perturbation et à retrouver ses fonctions à la suite de cette perturbation.* » (Toubin, et al., 2012)

2.7. Rôle et signification d'accessibilité

L'accessibilité représente donc la facilité de connexion entre des lieux et sa mesure augmente en fonction de l'amélioration de cette connexion. Le niveau de l'accessibilité est inversement proportionnel aux coûts temporels et monétaires de déplacement (Giuliano, 1995). Cet indicateur peut, en effet, influencer la distribution des résidences et des activités économiques, à l'intérieur d'un système territorial régional. Le niveau d'accessibilité est aussi directement proportionnel au nombre de déplacements produits et attirés par une zone spécifique, et il constitue un facteur accélérateur dans des processus de développement économiques.

« La croissance de la mobilité résulte donc en grande partie de l'amélioration de l'accessibilité aux ressources ». (Bavoux, et al., 2010)

En particulier, le concept d'accessibilité occupe une place significative dans les processus qui dirigent le fonctionnement d'un système territorial et peut contribuer à déterminer et influencer sur les conditions d'inclusion ou d'exclusion sociale dans certains lieux ou pour certaines parties de la population, face aux opportunités fournies par un territoire (Bavoux, et al., 2010). Dans une première approche, nous pouvons distinguer synthétiquement trois sous-systèmes : le sous-système des résidences, le sous-système des activités économiques et le sous-système des terrains disponible dans chaque zone, par type et selon le prix relatif de vente (Tucciarelli, 2009). Le nombre et les types de résidences présentes dans une zone donnée dépendent du sous-système d'activité économique qui dépend, à son tour, de la distribution du sous-système des résidences. Ces deux systèmes dépendent de la disponibilité en terrain et aussi de la facilité d'accès et d'utilisation des activités et des fonctions dans la zone; c'est là qu'intervient l'accessibilité de ces sites. L'accessibilité est donc liée aux besoins de mobilité, avec les niveaux de service et les opportunités créées par les systèmes de transport, mais elle est liée aussi au système des activités.

« Les usages du sol affectent l'accessibilité, la capacité des personnes à accéder aux services et activités souhaités, ce qui affecte la mobilité, la quantité et le type de déplacement. » (Litman, October 2003)

En particulier, entre toutes les définitions d'accessibilité que l'on peut trouver dans la littérature (Reggiani, 1998), nous nous référons, ici, à l'accessibilité comme la plus ou moins grande facilité avec laquelle on peut rejoindre un lieu pour y effectuer une activité (L'Hostis, Colloque MSFS,

PACTE Grenoble 24 - 25 Mars 2011) et plus précisément à une action qui peut se décliner en deux connotations différentes ¹¹: actif et passive (Cascetta, et al., s.d.).

L'accessibilité active est une mesure de la facilité avec laquelle, à partir d'une origine précise, on peut atteindre une activité quelconque et donc une destination, pour une raison donnée

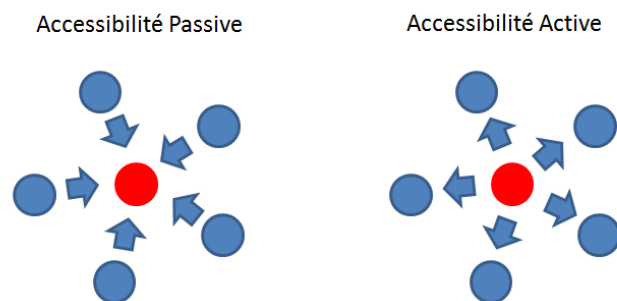


Figure 5: Représentation schématique des concepts d'accessibilité active et passive. (F. Lo Feudo 2014)

(Coppola & Nuzzolo, s.d.).

L'accessibilité passive mesure par contre, la facilité avec laquelle une activité, située dans une destination précise, peut être atteinte, pour une raison donnée, à partir de toutes les autres origines présentes dans la zone de l'étude (Coppola & Nuzzolo,

s.d.). Si on rapproche cette distinction théorique entre accessibilité active et passive, à la réalité et à la complexité des dynamiques territoriales, il faut considérer que, très souvent, certains lieux ou pôles attractifs d'une zone ou d'un territoire sont caractérisés par ces deux approches et donc elles auront besoin d'une double analyse qui puisse tenir compte des deux types d'accessibilité (active et passive). C'est le cas, par exemple, d'une gare ferroviaire qui manifeste son accessibilité passive à travers son niveau d'attractivité et sa connexion vers le territoire urbain environnant, et son accessibilité active par sa prédisposition et sa capacité à effectuer sa fonction de liaison entre la demande de transport qui accède au réseau à travers la gare et tous les autres nœuds connectés au même réseau ferroviaire.

L'accessibilité aux systèmes de transport collectif est, en outre, un indicateur qui fournit une idée sur la qualité des services qui desservent une zone spécifique et, notamment, sur la facilité d'accès à ces services en considérant les différents modes de transport disponibles (à pied, en vélo, en voiture, etc.) (Litman, 2012a).

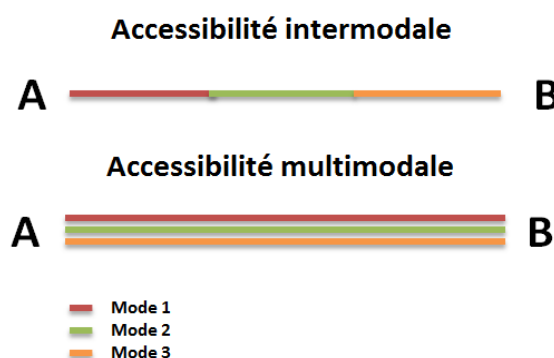


Figure 6: Représentation schématique des concepts d'accessibilité intermodale et multimodale. (F. Lo Feudo 2014)

¹¹Accessibilité Active des résidents de la zone o : $A^{act}(o) = \sum_i E(i)^{\alpha_1} \cdot \exp(\alpha_2 \cdot C(o, i))$; où: $E(i)$ est le nombre d'emplois dans la zone i ; $C(o, i)$ est le coût de transport entre o et i ; α_1, α_2 sont des paramètres à calibrer.

Accessibilité Passive des activités économiques dans la zone d : $A^{pas}(d) = \sum_i Res(i)^{\beta_1} \cdot \exp(\beta_2 \cdot C(i, d))$; où: $Res(i)$ est la population dans la zone i ; $C(i, d)$ est le coût de transport entre i et d ; β_1, β_2 sont des paramètres à calibrer.

On peut également définir d'autres déclinaisons du concept d'accessibilité, comme l'accessibilité *multimodale* et l'accessibilité *intermodale* (L'Hostis & Conesa, 2008). En substance si on considère l'intermodalité comme la condition dans laquelle plusieurs modes des transports différents s'intègrent entre eux, au niveau spatio-temporel, dans l'accomplissement d'un déplacement, alors l'accessibilité intermodale nous donne une mesure de la facilité d'atteindre une destination en utilisant, pendant le trajet, plusieurs modes de transport.

Quand on parle de multimodalité, par contre, on considère un système d'offre de transport qui permet d'accomplir le même trajet en utilisant plusieurs modes de transport différents. En conséquence, l'accessibilité multimodale permet de définir la facilité de se déplacer, sur le même trajet, en considérant tous les modes ou les combinaisons des modes possibles (L'Hostis & Conesa, 2008).

Dans le cadre du projet européen « *Study Program on European Spatial Development (SPESD)* », a été, en outre, effectué un intéressant effort de synthèse des différentes définitions d'accessibilité, retrouvées dans la littérature, qui sont reportées ci-dessous (Joly, 1999) :

« L'accessibilité est le produit principal d'un système de transport. Il détermine l'avantage spatial d'une région par rapport à toutes les autres régions. Les indicateurs d'accessibilité mesurent les ménages et les activités qui, dans une région, sont favorisés par l'existence et l'utilisation de l'infrastructure de transport de leur région. » (Schuermann, C., Spierkermann, K., Wegener, M., 1997).

« Une définition générale d'accessibilité désigne le potentiel d'interaction des opportunités. En d'autres termes, c'est la facilité d'interaction spatiale, la potentialité de contact avec des activités ou l'attractivité d'un nœud dans un réseau, prenant en compte la totalité des autres nœuds et les coûts qui sont employés pour atteindre ces nœuds via le réseau. » (Bruinsma, F., Rietveld, P. 1996).

« La plupart des mesures d'accessibilité prennent typiquement une mesure moyenne, basée sur la distance, qui devient l'unité de base. La structure de base des indicateurs d'accessibilité a ainsi besoin d'une modification, d'abord pour assurer la continuité d'accessibilité à travers l'espace, en tenant compte des points d'accès aux réseaux et, deuxièmement, pour construire une mesure des effets économiques des différentes structures du marché du transport. » (Vickerman, R., 1998).

« Le concept de base de l'accessibilité d'un lieu, tel qu'il est incorporé dans beaucoup d'indicateurs actuellement utilisés, semble contenir deux aspects différents et complémentaires.

N'importe quel emplacement dans l'espace offre des possibilités économiques aux acteurs qui l'ont choisi. Deux agents économiques localisés en deux endroits différents peuvent interagir entre eux par des mouvements physiques. De cette manière, ils doivent cependant aussi faire un peu d'effort, parce que, pour réduire la distance géographique, ils doivent employer du temps, qui certainement comporte un coût, et payer le prix du service. Le temps dépensé dépend à son tour, de la vitesse, de la densité et de la congestion dans le réseau de transport. On doit considérer les deux aspects, opportunités et effort, comme une relation mutuelle et comme un élément de la définition d'accessibilité. » (Martellato, D., Nijkamp, P., 1998).

Il s'agit de différentes approches à la définition du concept d'accessibilité, à travers lesquelles on arrive à ressortir plusieurs aspects et éléments fondamentaux. L'idée qu'un accroissement des niveaux d'accessibilité soit une directe conséquence de la présence d'un système en infrastructure de transport performante, s'accompagne au concept de potentiel d'interaction d'un nœud du réseau en fonction de son attractivité. Enfin on aborde également le sujet de la mesure de l'accessibilité, qui nous porte à considérer les facteurs de distance et temps et à les transformer en coût, c'est-à-dire en gain ou perte d'accessibilité.

2.7.1. Facteurs et effets de l'accessibilité

« Les stratégies destinées à améliorer l'accessibilité ont pour but de faciliter l'accès aux activités nécessaires et voulues, en rapprochant ces activités du domicile, en améliorant les alternatives disponibles pour se rendre là où elles doivent s'exercer et en élargissant les possibilités de choix entre ces activités » (Handy, 2002).

Les facteurs qui influencent le plus le niveau d'accessibilité sont, selon L'Hostis et Conesa (2008), la position dans l'espace et les performances structurelle et opérationnelle du réseau de transport qui desservent cet espace (L'Hostis & Conesa, 2008); la valeur d'accessibilité est à la fois cause et effet des changements d'usage des sols. Le différentiel d'accessibilité qui se mesure entre différents lieux, devient donc régulateur et générateur d'inclusion territoriale et de développement économique, bien que *"l'accessibilité soit une condition nécessaire, mais pas suffisante, au développement économique"* (Bavoux, et al., 2010). Cette affirmation traduit, en effet, l'idée que la présence d'infrastructures ou de services de transport, également de haut niveau, ne suffit pas à déterminer et à faire jaillir de manière automatique des phénomènes de développement du tissu économique sur un territoire, mais demande souvent l'intégration de politiques volontaristes (Bavoux, et al., 2010). En substance l'accessibilité est un concept qui met

en relation les fonctions urbaines et le système de mobilité et des déplacements. C'est-à-dire que modifier les niveaux d'accessibilité provoque soit une modification des habitudes et comportements de mobilité, soit un autre fonctionnement et distribution des fonctions et ressources urbaines (mixité à la place du zonage monofonctionnel ; priorité aux modes actifs et promotion de la multimodalité à la place du *tout voiture* ; qualité urbaine et équilibre entre urbanisation et espaces naturels ; etc.).

Si on veut utiliser le concept d'accessibilité comme facteur d'explication des dynamiques de la mobilité et de l'usage du sol, on peut par exemple considérer l'accessibilité régionale comme le niveau et la facilité d'interrelation et d'interconnexion entre les différents centres urbains ou pôles régionaux stratégiques (industriel, commercial, tourisme, etc.). Cet indicateur tend à avoir plus d'influence sur la longueur totale de déplacement et le choix modal, que sur le nombre total des déplacements générés (SACOG, 2008). En particulier, ceux qui vivent et travaillent à proximité des centres urbains tendent à réduire de manière significative la durée de leur voyage (Ewing & Cervero, 2010). Cependant, du point de vue stratégique, des interventions sur le changement d'usage des sols peuvent influencer de manière décisive soit sur les niveaux d'accessibilité, soit sur les besoins de déplacement et donc sur la demande de transport (Handy, 2002). Le paramètre de l'accessibilité s'inscrit en fait également dans le domaine des choix résidentiels et d'emploi, mais avec de nombreux autres facteurs, qui comprennent, par exemple, la dotation en infrastructures et en services publics et tertiaires (éducation, santé, commerce, etc.), la qualité des services de transports et de l'environnement (Chiaradia, et al., 2013). Ces éléments recouvrent l'ensemble que l'on appelle le design urbain, à savoir ces actions stratégiques qui traitent de la configuration spatiale du réseau de transport, de la composition et de la distribution de l'intensité résidentielle et de l'utilisation des espaces non résidentiels. Les indicateurs d'accessibilité semblent avoir aussi un impact significatif sur la tendance à la hausse des prix de marché des valeurs immobilières et des sols (Chiaradia, et al., 2013). Dans ce contexte, les facteurs spatiaux fondamentaux sont la taille de la propriété, la densité et l'âge des bâtiments, de même pour les zones commerciales et industrielles situées à proximité des grandes artères de circulation et associées à des niveaux élevés de pollution et de congestion. La qualité du point de localisation est un facteur inhibiteur pour accéder à la propriété résidentielle (Chiaradia, et al., 2013). Ce résultat permet de confirmer la perception qui reste encore de règle, mais avec des connotations différentes selon les différents contextes territoriaux et selon lesquelles le centre-ville est plus attrayant que la périphérie ; ceci confirme ainsi les thèses des modèles monocentriques spatiaux (Von Thunen, 1826; Alonso, 1964; Chiaradia, et al., 2013). Litman (2012) observe, en effet, que différentes modalités d'usage et de destination des sols peuvent avoir des effets sur les composantes de l'attractivité et notamment de l'accessibilité. La

mixité fonctionnelle et résidentielle, par exemple, peut être un facteur d'augmentation de l'attractivité d'une région urbaine, contrairement à la pratique du zonage urbain traditionnel qui implique une sectorisation du territoire et donc une augmentation de la distance moyenne entre les zones (Handy, 2002) et donc une diminution de l'accessibilité. Un urbanisme structuré de manière à concentrer la majorité des actifs et des résidences le long des axes ou des couloirs du transport collectif et à proximité des nœuds d'échange (Cervero, et al., 2004; Handy, 2002; Kitamura, et al., 1997), est également bénéfique à une augmentation générale des niveaux d'accessibilité via l'utilisation des services de transport alternatif à la voiture (voir les chapitres suivants). D'autres pratiques urbanistiques de gestion de l'usage des sols peuvent aider à améliorer les niveaux d'accessibilité et donc l'attractivité d'un territoire urbain. Ce sont, par exemple, celles qui vont contenir le développement et l'étalement urbain dans les limites des zones, déjà urbanisées, privilégiant la densification plutôt que la consommation des sols naturels, et favorisant la réutilisation et le réaménagement des friches industrielles (Leysens, 2011) (en particulier celles situées dans les zones urbaines) et le développement des zones et des quartiers traditionnels et historiques conçus pour favoriser l'accessibilité de proximité et des piétons (Lo Feudo & Festa, 2012; Handy, 2002).

En particulier dans le milieu urbain, à une disponibilité (ou accessibilité) et à une plus grande diversité de choix de déplacement et d'usage du sol, correspondent des coûts supérieurs de transports et d'accès à la propriété. En milieu rural, la situation est inversée et, à une diminution de la variété et de l'accessibilité aux différentes opportunités de transport et d'usage du sol, correspond une diminution des coûts généralisés (Litman, 2012a).

"L'accessibilité ne dépendra pas seulement de la position géographique respective des lieux d'origine et de destination mais également du niveau de service offert par le ou les systèmes de transport utilisés pour accomplir le déplacement." (Chapelon, 1996).

Cette citation nous permet enfin de surligner encore plus nettement le lien et surtout l'interdépendance qui existe entre les indicateurs d'accessibilité et la structure et la qualité du fonctionnement des réseaux de transport. La présence de l'infrastructure qui peut permettre d'exploiter le service de transport (routes, autoroutes, chemin de fer, gares, arrêts, etc.), est une condition première si on analyse le potentiel d'accessibilité d'un lieu ou d'un nœud (Chorus & Bertolini, 2011). En effet, si la dotation en infrastructure est faible, on peut s'attendre à un affaiblissement du potentiel d'accessibilité tant spatiale que temporelle. La seule dotation en infrastructure ne suffit pas, par contre, à définir le niveau d'accessibilité d'un lieu ou d'une région parce que c'est le niveau de qualité du service de transport qui exerce et qui réalise

ces fonctions et ces prestations en utilisant cette infrastructure qui transforme le potentiel d'accessibilité en accessibilité réelle. La gestion et l'organisation des services de transport (les horaires, les fréquences, les véhicules, les trajets, les vitesses, etc.) sont les activités stratégiques qui vont influencer les niveaux d'efficacité, d'efficience et donc le fonctionnement d'un réseau de transport et qui se traduit directement par les plus ou moins bonnes conditions d'accès de certains lieux (Meissonnier, 2011).

Il faut enfin considérer aussi l'aspect subjectif et hétérogène qui existe quand on considère la perception des contraintes spatio-temporelles liées à la mobilité et donc des indicateurs d'accessibilité, par les utilisateurs qui accèdent au système de transport. Cette perception varie en fonction des différentes sensibilités des utilisateurs mais aussi en fonction des différents contextes de référence. En substance, l'urbaniste et le développeur urbain, pendant leurs actions de planification et d'organisation stratégique des espaces et des accès aux espaces, doivent nécessairement répondre aux besoins d'amélioration de l'accessibilité spatiale et temporelle, avec des solutions qui soient le plus possible souples (Meissonnier, 2011) et adaptables à l'univers des perceptions des utilisateurs.

2.7.2. Mesurer l'accessibilité

Par mobilité potentielle, on entend l'ensemble des opportunités de déplacement auxquelles on peut accéder en fonction des multiples modes et modalités de transport. Nicolas Stathopoulos observe que les mesures d'accessibilité peuvent être utilisées pour définir et évaluer le potentiel de mobilité ainsi que pour analyser la performance territoriale des réseaux de transport (Stathopoulos, 1994), c'est-à-dire leur capacité à satisfaire la demande de transport en optimisant leur fonctionnement sur le territoire.

À travers l'évaluation et la mesure des niveaux d'accessibilité spatiale et temporelle, il devient également possible de procéder à l'identification et à la définition des niveaux d'inégalité, notamment sociale (Richer & Palmier, 2011), face à la mobilité et à l'accès aux systèmes des services et ressources urbaines, ainsi qu'à l'emploi. Mesurer les indicateurs d'accessibilité et ses aspects spatio-temporels s'avère stratégique pour l'évaluation des systèmes de transport et donc des supports pendant le processus décisionnel de modifications de la structure de l'offre de transport (horaires, fréquences, trajets, etc.) (Chapelon, 1996).

Habituellement, en fait, dans la définition de l'indicateur d'accessibilité, on retrouve soit un facteur de frein, qui se réfère à l'évolution du coût ou du temps, soit un facteur d'attractivité qui se réfère à la qualité et aux caractéristiques du lieu où on entend définir l'accessibilité (Handy, 2002). Les concepts d'accessibilité et de mobilité sont donc étroitement liés et interdépendants,

car, comme explique S. Handy (2002), la mobilité comme capacité de mouvement, entre dans les composants qui constituent le facteur de frein qui caractérise l'accessibilité (Handy, 2002). Toutefois, il faut préciser que «une bonne mobilité est une condition ni suffisante, ni nécessaire pour assurer une bonne accessibilité» (Handy, 2002), car une bonne dotation en infrastructure et donc une bonne capacité de mouvement, n'est pas à elle seule un facteur d'attractivité et donc de meilleure accessibilité pour un territoire.

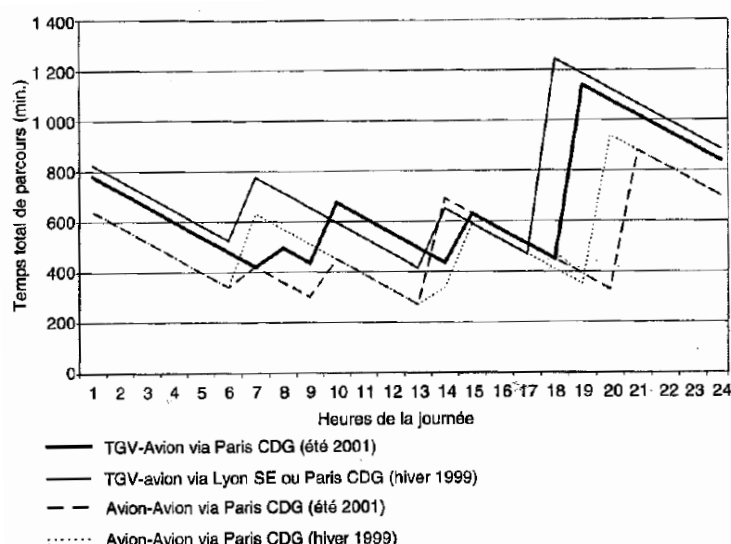


Figure 7: Variation horaires de l'accessibilité entre Montpellier et Madrid en 1999 et 2001. (Bavoux, et al., 2010)

Le problème de la complexité rapportée à la mesure de l'indicateur d'accessibilité est traitée efficacement dans le livre "Géographie des transports" (Bavoux, et al., 2010). En distinguant, en effet, initialement les concepts d'accessibilité vers un lieu et vers une fonction ou service, les auteurs observent que, dans le premier cas, en associant la mesure de l'indicateur

d'accessibilité exclusivement à la somme des distances, on ne prend pas en considération les caractéristiques et les attributs des lieux d'origine et de destination du déplacement effectué (Bavoux, et al., 2010). En considérant, par contre, l'accessibilité vers les fonctions ou services de caractère économique, les points d'origine et de destination du déplacement n'ont pas le même poids et le calcul doit tenir compte donc, au-delà des distances, d'un facteur de pondération du potentiel attractif de chacun des sommets du déplacement (Bavoux, et al., 2010). Cependant, l'introduction du facteur temporel dans l'analyse et dans la mesure de l'indicateur d'accessibilité est fondamentale et permet, en outre, d'évaluer la performance et la qualité des réseaux et des services de transport présents dans un territoire. Bien que, en effet, chaque endroit ou point dans l'espace conserve sa valeur spécifique d'accessibilité, un endroit particulier pourra, de toute façon, voir changer ce facteur dans le temps et donc en fonction du moment de la journée ou d'autres caractéristiques du contexte, spécialement dans le cas des services de transport collectif. D'où la nécessité d'évaluer l'accessibilité en prenant en compte le temps et en considérant donc la durée totale de parcours d'un déplacement, en tâchant, en particulier, de maximiser l'heure de départ depuis l'origine du déplacement ou de minimiser l'heure d'arrivée à destination (selon le motif du déplacement) (Bavoux, et al., 2010). En suivant cette approche,

l'indicateur spatio-temporel du meilleur temps de parcours vient s'associer avec les niveaux optimaux d'accessibilité, bien qu'il ne tienne pas compte des variations d'accessibilité dans le temps comme c'est, par contre, possible en utilisant le facteur du temps moyen de parcours (Bavoux, et al., 2010) pour un parcours temporel donné.

Cyprien Richer, par exemple, a mené une analyse spatio-temporelle de l'accessibilité en transport collectif sur le terrain de la métropole lilloise (Richer & Palmier, 2011) en mesurant la relation entre l'espace nodal central, représenté par les gares Lille Europe et Lille Flandres, et les pôles d'excellence métropolitaine identifiés par le schéma directeur de Lille en 2002. Pour cette étude, l'accessibilité a été approchée selon trois dimensions différentes: le temps, la fréquence et la pénibilité. Le temps moyen correspond à une durée horaire de parcours du plus court chemin mesuré à des instants différents et en fonction de la variabilité des services de transport. La fréquence des relations représente les possibilités d'effectuer le trajet dans une journée et la pénibilité exprime le nombre de correspondances nécessaires pour effectuer les trajets demandés. Dans ce même travail, l'accessibilité a été évaluée en condition « normale » et en condition « particulière », c'est-à-dire en conditions d'interruption des services de transport, pour démontrer l'utilité du paramètre d'accessibilité et, ainsi, étudier la vulnérabilité du réseau de transport (Richer & Palmier, 2011). À l'occasion du même colloque sur les mobilités spatiales et les ressources métropolitaines, qui a eu lieu à Grenoble en 2011¹², A. L'Hostis a aussi présenté une approche complémentaire des indicateurs d'accessibilité, en lien avec l'analyse des lieux du système territorial. En particulier, l'indicateur de *contactabilité* a été défini comme mesure complémentaire de l'accessibilité classique (L'Hostis, Colloque MSFS, PACTE Grenoble 24 - 25 Mars 2011). Il s'agit d'un paramètre qui prend en compte les allers et retours à la journée entre métropoles et qui permet de définir les espaces possibles, ainsi que les maillons manquants de la coopération inter-métropolitaine. Cette approche se base sur la considération que la quantité de liaisons à la journée entre deux destinations ainsi que l'indicateur référé au temps maximal disponible à destination¹³, représentent des indicateurs très utiles pour évaluer l'efficacité des systèmes des transports collectifs (Bavoux, et al., 2010).

Le renouvellement urbain et la reconfiguration des réseaux demandent, au préalable, une observation et des mesures de l'accessibilité et de la mobilité ainsi qu'une observation des dynamiques urbaines et foncières (Leysens, 2011). Suivant ces principes T. Leysens a développé

¹² Mobilités spatiales et ressources métropolitaines: l'accessibilité en questions - Colloque MSFS, PACTE Grenoble 24-25 Mars 2011

¹³ Obtenu par soustraction entre l'heure minimale d'arrivée à destination et l'heure maximale de départ du lieu de destination.

une méthode, dans le cadre du projet franco-allemand *BahnVille 2*¹⁴, qui visait à développer des outils d'aide à la décision pour favoriser un urbanisme orienté vers le rail. Dans le cadre d'une étude des performances d'accessibilité, la mise en place des périmètres d'observation croisée foncier/transport a donc été considéré comme nécessaire. Il s'agit des cercles d'accessibilité théorique, basés sur les gares ferroviaires et sur des isochrones d'accessibilité réelle, pédestre et à travers les transports collectifs qui tiennent compte du réseau ferroviaire (Leysens, 2011). Le but de cette recherche a été de mesurer les différentiels d'accessibilité et de repérer les éventuels obstacles à une bonne accessibilité, afin de repérer, dans le stock de foncier disponible et mutable, celui qui est le plus stratégique du fait d'un potentiel d'accessibilité supérieur (Leysens, 2011).

2.8. La question de la densité

Par densité, on entend une forte concentration de population, des emplois, des bâtiments ou des activités, située dans une unité de surface de sol (Bonnefoy, et al., s.d.).

La densité peut être nette ou brute (Litman, 2012b), selon que le territoire considéré est exclusivement celui qui est urbanisé, en excluant, par exemple, les rues et les espaces naturels, ou l'ensemble du territoire sans restrictions particulières. Le principal défi dans le domaine urbanistique est d'être en mesure de promouvoir une densité qui peut simultanément répondre à la demande résidentielle et lutter contre le phénomène de consommation des sols, mais surtout qu'il soit accepté et perçu positivement par la population. La densité réelle peut, en effet, différer significativement de la densité perçue par la population par le fait qu'au concept de densité sont souvent associés d'autres facteurs tels que l'image du quartier, la qualité et le design des espaces publics et la présence d'espaces verts (Guet, 2011). Pour cette raison, il est nécessaire d'adopter des solutions qui peuvent rendre plus acceptables les interventions de densification. Le CERTU¹⁵ suggère, à cet égard, de prévoir des constructions qui sont, le plus possible, en conformité avec le contexte, avec l'identité locale et le style urbain déjà existant, ainsi que de diversifier les types de logement et les fonctions urbaines et de se préoccuper du niveau de connexion avec les systèmes des transports publics et du design urbain (Guet, 2011). Réunir la qualité et la densité est, essentiellement, le paradigme fondamental à poursuivre. Dans le même document publié par le CERTU, sont exposées également quatre réflexions, qui sont d'un grand intérêt pour mieux comprendre l'enjeu de la densité dans les zones urbaines (Guet, 2011):

¹⁴ Bahn.Ville 2 est un projet de recherche-action franco-allemande qui vise à promouvoir un urbanisme orienté vers le rail (www.bahn-ville2.fr).

¹⁵ Centre d'Études sur les Réseaux les Transports l'Urbanisme

- La densité ne correspond pas à une forme urbaine spécifique.
- Une densité élevée ne correspond pas nécessairement à des bâtiments de hauteur élevée.
- La compacité et la continuité de l'environnement bâti sont des facteurs qui sont liés à la densité.
- Il existe des configurations d'habitat individuel qui peuvent avoir différents niveaux de densité y compris des niveaux élevés.

Pour mesurer et évaluer l'indicateur de densité, il existe plusieurs outils (Pélegrin-Genel, 2009). En particulier, lorsque l'on se réfère à la densité résidentielle (nombre de logements par Km²), on ne considère pas la surface de chaque logement ou le volume total construit, mais le nombre de logements. Dans cette distinction entre nombre de logements et surface ou volume résident de très substantielles différences dans la mesure de la densité.

Le *Coefficient d'Occupation du Sol* (COS) par exemple, est un indicateur qui permet d'évaluer la densité du tissu urbain ou plus précisément : « *permet de déterminer les densités des constructions admises dans les zones urbaines ou à urbaniser des Plans Locaux d'Urbanisme* » (CERTU - CETE Direction générale de l'Urbanisme de l'Habitat et de la Construction, 2006). Cet indicateur donne un aperçu de la quantité de surface construite ou constructible, sans tenir compte, cependant, de la manière dont cette zone est distribuée dans l'espace ou de la hauteur des constructions (Pélegrin-Genel, 2009; Bonnefoy, et al., s.d.). Le COS représente la relation entre la surface hors œuvre nette¹⁶ et le périmètre ou la surface utile du terrain affecté par la construction, donc qui exprime le nombre de mètres carrés de plancher hors œuvre nette susceptibles d'être construits par mètre carré de sol (art. R123-10 CU) (CERTU - CETE Direction générale de l'Urbanisme de l'Habitat et de la Construction, 2006); cette valeur augmente donc avec l'augmentation de la densité. Entre les avantages de l'outil COS il y a la possibilité d'inciter une diversification de l'habitat, notamment de programmes mixtes bureaux-logements, en fixant différentes COS pour différents types de constructions. En plus la réglementation qui autorise le dépassement de COS sous certaines conditions, permet de favoriser la construction de logements sociaux.

Le *Coefficient d'Empreinte au Sol* (CES) représente la relation entre la surface construite sur le sol et la surface totale de la parcelle. Elle est calculée sans y ajouter la totalité des surfaces fonctionnelles du bâtiment, mais en considérant seulement la surface occupée au sol (Pélegrin-Genel, 2009; Bonnefoy, et al., s.d.). Ces indicateurs sont capables de mesurer les niveaux de densité, mais ils ne fournissent pas d'informations sur la forme et le type des bâtiments en question, ni sur la qualité de l'environnement urbain. La hauteur des bâtiments, la relation entre

¹⁶ SHON: Surface Hors Œuvre Nette

la surface d'usage public (routes et espaces publics) et la superficie totale de l'intervention ou de la parcelle, sont d'autres indicateurs également utiles pour évaluer la densité. En outre, la superficie moyenne des espaces touchés par une intervention de densification et la surface de l'intervention, sont des indicateurs qui peuvent influencer la perception de la densité par les habitants.

La définition des niveaux acceptables de densité est, en effet, un sujet très controversé dans la littérature scientifique liée à la planification urbaine et au développement urbain.

Certains rapports suggèrent que, par exemple si on considère l'indicateur de densité correspondant au nombre de logements par surface du sol, on peut parler de zone dense pour une valeur de 15 logements par hectare (Bonnefoy, et al., s.d.). Dans le même document, est considérée comme dense une zone caractérisée par un COS de 0,25, un CES de 25 % et une relation entre surface (y compris les espaces et voies publiques) et la superficie totale de la parcelle, supérieure à 12 % (Bonnefoy, et al., s.d.). En résumé, si on veut mesurer et évaluer le niveau de densité d'une région ou d'une parcelle cadastrale, il faut faire une analyse qui intègre les différents indicateurs et critères, afin d'obtenir une vision qualitative en ce qui concerne la compatibilité des différents aspects tels que, la modalité d'insertion du bâti dans le territoire concerné par l'intervention, les volumes et les surfaces globales et parcellaires ainsi que la forme urbaine (Bonnefoy, et al., s.d.).

2.8.1. Densité et mobilité

Bien que les impacts sur les choix de mobilité liés au seul facteur de densité sont limités, l'association avec d'autres facteurs tels que l'accessibilité, la mixité fonctionnelle, le système de stationnement et la multimodalité peuvent avoir des effets beaucoup plus importants. Toutefois, si on se réfère à la relation entre la densité et les choix de mobilité, T. Litman indique une relation précise entre augmentation de la densité de population et diminution du facteur de VMT¹⁷. En particulier, une augmentation moyenne de 10 % de la densité de population devrait correspondre à une diminution de VMT d'au moins le 0,5 - 1% (Litman, 2012a).

Comme on le verra dans les chapitres suivants, l'idée qu'une augmentation de la densité résidentielle correspond à une diminution de la distance moyenne parcourue par jour malgré reste, malgré tout, assez peu consensuelle. Le débat sur cette corrélation et sur la reproductibilité de cette condition dans des contextes et des situations socio-économiques différents, continue d'être très vivant et très controversé (Litman, 2012a). Dans un résumé des conclusions concernant diverses études et recherches sur la relation entre densité et mobilité, T.

¹⁷ *Vehicle Miles of Travel : kilométrage parcouru en véhicule par habitant.*

Litman (2012), suggère, en conclusion, l'idée qu'une plus grande densité ne se traduit pas automatiquement par une réduction de la demande de mobilité, si elle n'est pas associée à d'autres facteurs tels que l'accessibilité régionale, la connectivité piétonne, cyclable et avec le transport collectif et la mixité des fonctions urbaines (Litman, 2012a). La densité résidentielle et commerciale peut aussi être une incitation pour une plus grande utilisation des services de transport en commun (s'ils sont actifs et surtout efficaces) et pour encourager la mobilité des piétons. Cervero et d'autres ont montré comment, en augmentant la densité dans les zones

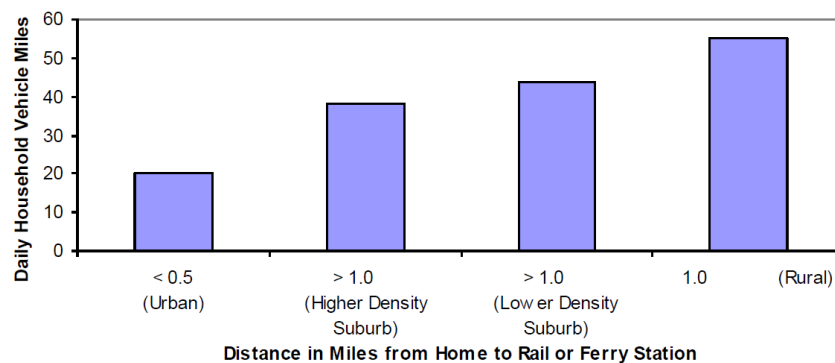


Figure 8: Impact sur les distances moyennes parcourues par la population qui habite à proximité des gares ferroviaires. (Litman, 2012a)

résidentielles adjacentes aux gares ferroviaires, de 25 à 50 logements par hectare, on peut observer une augmentation de la part modale de la demande de transport vers les transports en commun

de 20 à 27% (Cervero, 2004). D'ailleurs Melia, Parkhurst et Barton (2011) montrent le paradoxe de l'intensification urbaine, selon lequel l'augmentation de la densification urbaine peut apporter des flux de transport plus intense et donc plus de trafic automobile.

Cependant, il faut considérer que les interactions entre les interventions de densification et les comportements de mobilité, peuvent être plus complexes à interpréter et à analyser dans le cadre de ce qu'on appelle les théories *utility-based* et *activity-based* (Rayle, 2008). En considérant par exemple, la théorie *utility-based*, le choix de mobilité est effectué non seulement en réduisant les coûts de déplacement, mais aussi en maximisant l'utilité et donc les avantages dus à la réalisation de ces activités. À cet égard, L. Rayle observe que, en considérant cette perspective, une plus grande densité peut aider à réduire la distance moyenne des déplacements pour certains types d'utilisateurs, tandis que, pour d'autres, cela peut induire, au contraire, à augmenter ces distances, en conséquence d'une plus grande utilité perçue, causée par exemple par l'augmentation d'accessibilité et donc par une plus grande facilité de mouvement induite par l'augmentation de la densité. Selon les théories *activity-based*, les utilisateurs qui doivent prendre une décision de déplacement doivent considérer l'ensemble des trajets qui seront effectués par eux pendant toute la journée, prenant ainsi en compte toutes les différentes entraves dues, par exemple, à des horaires de travail ou aux engagements familiaux. Dans ce cas, la quantité et la distance totale du voyage accompli, tous les jours, sont très faiblement influencées par une augmentation des valeurs de densité résidentielle (Rayle, 2008).

Giuliano, en outre, sur la base d'études comparatives et de séries d'entrevues auprès des utilisateurs des transports, menées aux États-Unis, a proposé d'analyser les conséquences possibles de l'application des politiques de densification et de développement multifonctionnel axées sur les transports publics. Il en conclut que seules des augmentations extrêmement élevées des niveaux de densité peuvent induire des changements significatifs de la répartition modale et des distances moyennes de déplacement (Giuliano, 1995).

2.9. Conclusions

En conclusion on entend faire une synthèse des réflexions et questions complexes et parfois controverses que l'on vient d'exposer dans ce chapitre, relatives au jeu d'acteurs, à la conception et mise en œuvre des outils et à la définition et compréhension des éléments moteurs de l'interaction entre transport et urbanisme.

En s'approchant à la question de la coordination dans le processus de la planification intégrée et également du passage entre la planification stratégique et la planification opérationnelle, on ne peut pas faire abstraction des multiples obstacles, barrières et facteurs limitants qui souvent rendent la mise en œuvre de ce type d'action extrêmement laborieux. On observe souvent la présence de conflits et d'une fragmentation des compétences, d'intérêts économiques et politiques divergentes, notamment entre acteurs publics et investisseurs privés mais aussi entre les différentes échelles territoriales concernées, ainsi que des contraintes financières et temporelles très limitatives. Le risque principal est donc d'aboutir à une divergence entre les objectifs établis au début et les résultats effectivement obtenus. De ce fait on peut constater que le passage d'un urbanisme de surface à un urbanisme des réseaux, en introduisant une nouvelle vision d'ensemble des dynamiques de fonctionnement du territoire, implique une coordination effective et une coopération entre les acteurs, ainsi qu'une intégration cohérente entre les outils de la planification et de l'aménagement. On observe également le besoin de créer des structures institutionnelles adaptées, plus ou moins formelles, dotées d'une vision et d'un mandat commun et partagé ainsi que d'un large consensus au sein de l'opinion publique.

L'objectif d'intégrer et d'articuler les politiques de transport et d'urbanisme demande donc une approche stratégique et décisionnelle de type dynamique et progressive, qui inclut une définition claire et précise des différents rôles, compétences et responsabilités. En considérant ensuite plus précisément les caractéristiques des outils de la planification intégrée actuellement en vigueur, on constate indubitablement une profonde évolution de la conception de ces dispositifs, qui a été mise en place dans le sens d'une approche plus inclusive et moins rigide, orientée vers la promotion d'un développement plus cohérent et durable. En même temps il reste encore des points de faiblesse et des problématiques relatives essentiellement à l'absence d'un système consolidé de contrôle mutuel entre les différents acteurs impliqués et au fort risque d'incohérence et de superposition entre outils de différents niveaux. Le regard posé sur le cas italien nous a permis en outre de mettre en évidence des aspects communs ainsi que des différences avec le contexte français. En particulier en Italie on observe également une modification de l'approche de la planification, plus flexible, décentralisée, multi échelle et multidisciplinaire et qui introduit les concepts de concurrence et de compétition territoriale,

explicité aussi à travers l'introduction de la notion de *gouvernement du territoire*, qui souligne l'expression d'une volonté inclusive et intégrée dans l'urbanisme contemporain.

Les concepts de mobilité, d'adaptabilité, d'accessibilité et de densité ont été ensuite considérés comme pertinents pour l'analyse des relations et de l'articulation entre transport et urbanisme. Ils seront surtout mobilisés dans la partie suivante du travail de thèse, ou seront exposés les principes et les caractéristiques fondamentaux du modèle du *Transit Oriented Développement* ou d'urbanisme orienté vers le rail et les transports en commun. La gestion des dynamiques liées aux facteurs d'interaction décrits précédemment, éléments clés de la complexité du fonctionnement des territoires contemporains, est en fait un objectif fondamental du TOD. Il s'agit d'un modèle de développement qui se pose en alternative au paradigme auto-centré actuellement prévalent, surtout en occident. Il repose sur la gestion intégrée et adapté de l'accès aux ressources et services du territoire, ainsi que de la maîtrise de la densité, de l'usage du sol en milieu urbain et vise à orienter les dynamiques de localisation des ménages et des activités, en favorisant l'usage des transports en commun et des modes actifs. Le TOD se situe donc dans une perspective de durabilité, de qualité urbaine et de contre-pied aux problématiques actuelles d'étalement urbain et de dépendance automobile. En outre les éléments clés qui influent sur les dynamiques d'interaction entre le développement urbain et des transports, qu'on a décrits dans ce chapitre, sont aussi ceux sur lesquels doit se fonder le travail de conception et les hypothèses à la base d'une modélisation intégrée d'usage du sol et transport.

Reproduire les rapports de densité, les niveaux d'accessibilité et le système de la mobilité, qui se déploient dans le terrain d'étude, est l'objectif primaire dans l'implémentation d'un modèle de simulation d'usage du sol et transport, et représente donc l'objectif de recherche principale de ce travail de thèse de doctorat.

3. *Le Transit Oriented Development:* un modèle de développement alternatif au paradigme auto-centré

« [...] Il est évident que la crise des budgets des ménages fait redécouvrir ce que nous avons soulevé à maintes reprises, peut-être avec une attention insuffisante, dans le passé: le transport public est la forme la plus économique de déplacement dont on puisse disposer à l'intérieur des communautés locales et nationales. »

Commission Transport Gouvernement Italien – 3 Juillet 2013 – Audition professeur
Marcello Panettoni, président ASSTRA, (Association Transports).

À la suite de l'analyse effectuée dans les deux chapitres précédents, basée sur les enjeux essentiels de la planification et de l'aménagement du territoire, dans ce troisième chapitre nous proposons un regard plus détaillé sur l'évolution des pratiques de mobilité et sur leur influence dans le temps sur la configuration morpho-fonctionnelle des territoires urbains. En particulier on analysera le rôle de la voiture dans l'histoire récente, son usage prépondérant, en lien avec les comportements de mobilité et les choix politiques stratégiques d'urbanisme et transport.

On définira le concept largement traité dans la littérature de la dépendance à la voiture, en exposant les raisons historiques et sociales qui ont amené à cette définition. Seront en outre discutés les risques et les coûts directs et indirects qu'un usage excessif de ce moyen de transport provoque dans une société fondée sur un modèle auto-centré. Le passage à un modèle plus multimodal et équilibré, qui propose de multiplier les choix de mobilité et une accessibilité diversifiée et de nature inclusive aux ressources et aux services présentes dans un territoire, accompagné par la promotion de nouvelles pratiques d'usage de la voiture, dans la perspective de création d'une économie des services liée à la mobilité, représente une vision alternative au modèle auto dépendant que nous exposons dans ce chapitre.

Dans ce contexte on identifie le modèle de développement urbain du Transit Oriented Development (TOD) ou d'urbanisme des transports collectifs, comme une théorie qui se propose de mettre les systèmes de transport en commun, notamment les transports ferroviaires, au centre des dynamiques de fonctionnement des territoires urbains. On traitera dans la suite du chapitre des principes, et des objectifs propres du TOD, en approfondissant leur étude sur les différentes échelles, typologies, et contextes d'applications, ainsi que sur les opportunités envisagées par les promoteurs du TOD pour réduire les externalités dues à l'usage de la voiture et à l'étalement urbain. En montrant des exemples de bonnes pratiques de TOD réalisées dans le monde, on illustrera également les principales critiques de ce modèle présentes dans la littérature et les obstacles et difficultés de sa mise en œuvre, de sa réussite et de sa reproductibilité dans des contextes et des échelles différentes. L'étude des enjeux liés au TOD préfigure l'intérêt particulier du travail de modélisation qui sera traité à partir du quatrième chapitre de cette thèse. Il vise notamment la simulation des impacts et des effets des mesures à partir d'une application d'un plan régional de TOD, structuré sur certains corridors spécifiques du réseau ferroviaire du Nord-Pas-de-Calais en France, sélectionnés pour leur potentiel de TOD. Les détails de ce travail de modélisation seront exposés dans le chapitre suivant de cette thèse.

3.1. Les processus historiques qui ont porté la dépendance à la voiture

L'évolution technologique des systèmes de transport et le changement associé des pratiques de mobilité ont sûrement contribué, au cours de l'histoire, à modifier la manière dans lequel l'homme a modelé la forme urbaine des villes. Une relation qu'on peut associer, en outre, aux concepts de perception des distances et du temps, continuellement en évolution, au cours de l'histoire, en fonction des progrès technologiques et des changements de modes de vie. Ces dynamiques évolutives se répercutent bien évidemment sur la configuration et l'adaptation des territoires urbains.

« L'histoire des villes montre l'interdépendance étroite entre le développement des réseaux de transport et celui de l'espace urbain, en termes d'extension, de densification et d'évolution des activités urbaines. » (AFD, 2010)

Au niveau général, en suivant la classification proposée par A. Bertaud (2010), on peut identifier certaines typologies fondamentales des structures urbaines (AFD, 2010). Une structure *monocentrique* qui prévoit la concentration des activités et des résidences au centre d'un système territorial, desservi par un système de transport de type radial. Une structure *polycentrique*, qui ne prévoit pas la présence d'un pôle dominant mais plusieurs pôles attractifs où est distribuée la localisation des résidences, des activités et des services. Un *modèle composite* qui présente « un centre dominant et différents sous centres avec un modèle de déplacement radial et orbital ». Si on avance dans l'analyse d'A. Bertaud (2010), au niveau urbain les différents niveaux de densité et de polycentrisme peuvent donner lieu à trois principales catégories de configuration urbaine. Des formes monocentriques et à forte densité, structurées principalement sur les transports en commun; des formes polycentriques à densité moyenne et desservies par un système de transport de type mixte (transport collectif et voiture particulier) et enfin une configuration polycentrique et dispersée, caractérisée par des faibles densités et basée sur les déplacements en voiture (typique des villes nord-américaines) (AFD, 2010). En particulier si on analyse rapidement l'évolution des formes urbaines dans l'histoire, on peut tout d'abord définir la typologie de *ville traditionnelle* qui, depuis l'antiquité et jusqu'au début du XIX^e siècle (Scheurer, 2001), s'est développée autour d'un noyau central (une place, un temple, une forteresse, etc.) en s'étendant en direction radiale vers la banlieue et en suivant essentiellement un schéma monocentrique. À la suite de l'avènement de l'industrialisation et donc de l'introduction des systèmes de transport sur rail, le long des marges urbaines, de nouveaux noyaux se sont progressivement formés, connexes au centre traditionnel, à travers

des systèmes de transport collectifs et en suivant, de plus en plus, un schéma polycentrique (T. Stojanovski, 2012). Puis, avec le passage à la *ville préindustrielle* (Scheurer, 2001) fondamentalement conçue pour être parcourue à pied (*Walking city*) et structuralement développée par cercles concentriques, denses, réunis par un réseau routier caractérisé par une faible hiérarchisation et souvent protégé par des fortifications, on a, graduellement, évolué vers des formes urbaines projetées et organisées pour s'adapter aux différentes typologies de transports collectifs en usage. Si on regarde les systèmes des transports collectifs traditionnels, les tramways étaient étendus

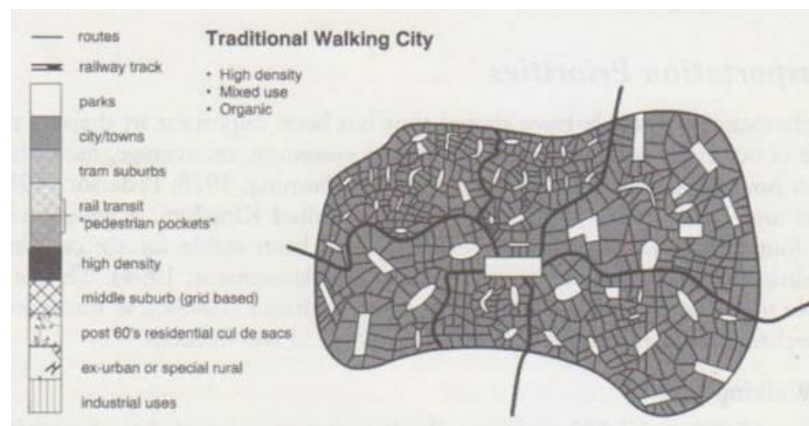


Figure 9: La ville piétonnière traditionnelle. (Newman et Kenworthy, 1999)

au début du XIX^e siècle et conçus pour circuler en surface (T. Stojanovski, 2012), peuvent être considérés comme porteurs de formes urbaines linéaires ou structurées, le long des corridors ou des axes principaux de transport. Ensuite, le développement du chemin de fer au milieu du XIX^e siècle, situé en surface ou en élévation, mais toujours séparé du reste de la circulation a, par contre, permis aux villes de s'étaler (Scheurer, 2001) de manière plus rapide. C'est de cette manière que se sont créées les conditions pour la naissance des nouveaux centres périphériques, des villes satellites et périurbaines plus structurées et peuplées. C'est donc une tendance à la fragmentation du territoire et à la diffusion des formes urbaines du type du *city of pearl*. Il s'agit d'un schéma de *ville dispersée* où les gares (*pearls*) représentent les nœuds et les nouveaux noyaux (T. Stojanovski, 2012) ou pôles urbains, situés le long d'un réseau qui dépasse les frontières urbaines et devient métropolitain, puis régional, en devenant aussi souvent, une barrière infranchissable. Les métros souterrains, dont le premier fut construit à Londres en 1854, au désavantage de leur coût très élevé par rapport aux autres systèmes de transport de masse, permettent de préserver la ville située en surface et de renforcer le lien entre les pôles urbains et les agglomérations périphériques, en contribuant à consolider un schéma urbain plus polycentrique et multipolaire (T. Stojanovski, 2012). Une autre typologie, de forme urbaine qui peut être considérée comme un hybride des trois autres formes précédemment décrites (T. Stojanovski, 2012), est celle de la *ville compacte* et dense, des courtes distances, qui tente de maximiser l'exploitation de l'espace (Scheurer, 2001) et à travers laquelle se développe une mobilité des systèmes de transports métropolitains appelés "*légers*" (métro léger, tramway, bus, etc.) et intégrés dans un système multimodale et vivement connexe.

Quand, par contre, depuis 1930, la voiture devient le mode de transport préféré aux États-Unis, le lien qui, jusqu'alors, avait existé entre le développement urbain et les systèmes de transports collectifs

s'interrompt brusquement (Dittmar & Ohland, 2004).

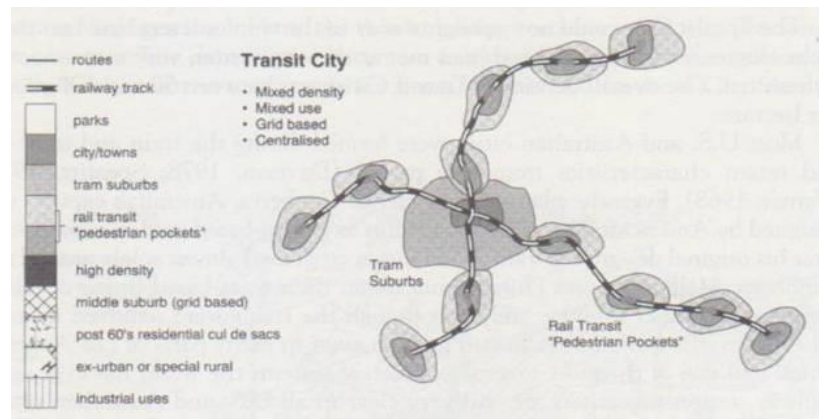


Figure 10: La ville basée sur les transports collectifs. (Newman et Kenworthy, 1999)

La grande disponibilité d'espace et de terrains vacants et à bon marché, surtout dans le cas des États-Unis ou de l'Australie et l'apparition de la voiture ont donc créé les conditions pour la diffusion de la forme urbaine de la ville, que l'on peut définir par l'*auto dépendante* (Newman & Kenworthy, 2010). On assiste ensuite progressivement à un accroissement substantiel de la vitesse moyenne de déplacement qui, à partir de ce moment-là, aura une grande influence sur le développement urbain et sur les choix de mobilité. La *ville pédestre*, basée sur l'accessibilité spatiale, laisse la place à la *ville automobile*, qui favorise l'étalement urbain et la consommation d'énergies (Crozet, et al., s.d.).

« La plupart du développement entre 1950 et 2000 a été dépendant de la voiture, conçu principalement pour l'accès en voiture avec peu de considération pour les autres modes ». (Litman, 2012a)

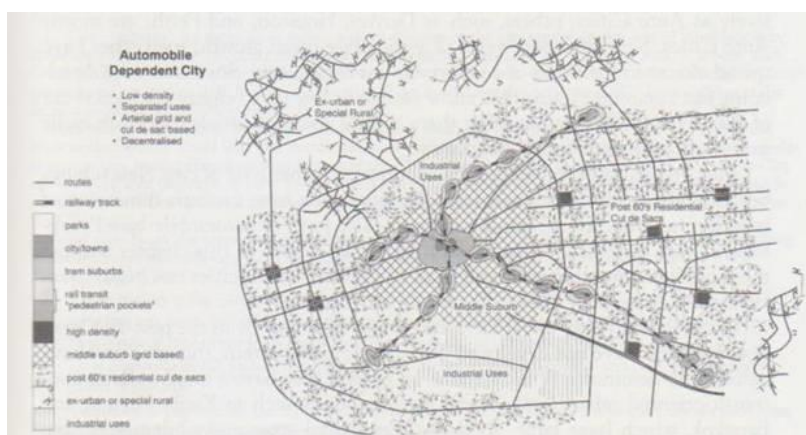


Figure 11: La ville automobile (Newman et Kenworthy, 1999)

l'automobile à représenter le principal volant économique pour presque tous les plus grands pays industrialisés occidentaux.

Après la fin de la Seconde Guerre mondiale, en effet, l'utilisation des systèmes de transports collectifs a enregistré un fort déclin, avec une explosion du marché automobile qui a, en outre, porté l'industrie de

Telles industries fournissaient du travail à la population et permettaient de mettre en marche le mécanisme d'économie d'échelle en contribuant à augmenter la richesse *per-capita* et ensuite la consommation. Par conséquent, l'économie américaine et celles de tous les autres pays occidentaux, à partir du siècle dernier, vient, du coup, à être vivement influencée par le marché et l'industrie automobile (Handy, 2002). Ce processus a, pour conséquences, induit les différents gouvernements nationaux à soutenir intensément la filière industrielle automobile avec des incitations, des financements et, surtout, des politiques d'infrastructure nationales amenant à la construction de réseaux routiers et autoroutiers imposants, aptes à joindre, de manière capillaire, les villes et zones rurales plus petites à travers la voiture. Un tel comportement déséquilibré s'est révélé aussi dans l'aménagement urbain où, en favorisant et en encourageant les formes de développement urbain à basse densité et fragmenté, ont été favorisé des modèles urbains fortement auto-dépendants (VTPI, 2010). Dans beaucoup de banlieues américaines, par exemple, construites après la Seconde Guerre Mondiale, on ne prévoyait pas de desserte en transport collectif et la mobilité était assurée seulement par les réseaux routier et autoroutier. Il s'agissait de quartiers entiers, de dimensions considérables, exclusivement projetés pour être servis par les voitures (Porter, 2004).

« Les villes américaines sont organisées par leur rapport à l'automobile et notamment par les autoroutes (highways). L'idée qui a prévalu jusqu'à présent était que l'étalement urbain était une conséquence de l'accroissement des revenus et de la réduction des coûts de transports. On interprétait alors le développement des autoroutes comme une réponse à cet étalement et non comme une cause. » (M. Boarnet, 2010)¹⁸

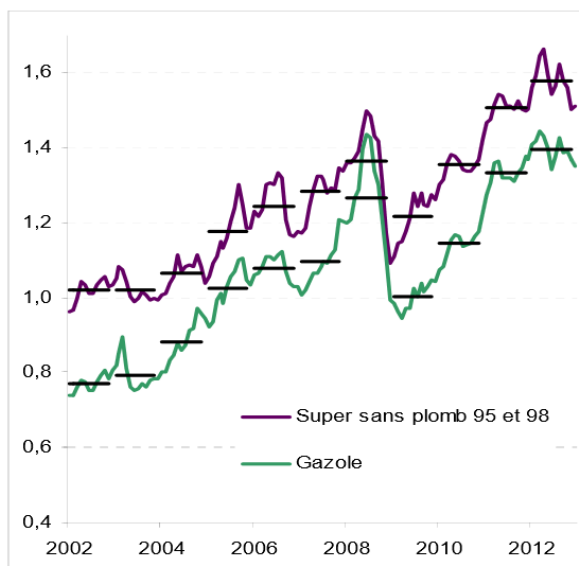
Les États-Unis de l'après-guerre ont donc constamment pratiqué une politique extrêmement libérale, pour respecter le marché de la voiture, en permettant une diffusion large vers toutes les couches de population. La voiture représentait, du coup, pour chaque Américain, un symbole d'émancipation, de richesse, d'indépendance et de liberté (Dupuy, 2011) et, à ce propos, Litman (2010) affirme qu'une distorsion constante du marché américain a contribué à propager, de manière croissante, l'utilisation de la voiture privée. Ceci s'est, en particulier, vérifié à travers un système de prix réduits du carburant et des péages autoroutiers, ainsi que des financements publics déséquilibrés vers l'industrie automobile, au désavantage d'autres alternatives de mobilité et des pratiques d'aménagement urbain plus favorables à la mobilité douce (Litman, 2010). Une telle tendance s'est révélée, de la même façon, de l'autre côté de l'Atlantique. En

¹⁸ Actes de la Table ronde « *Les interactions entre formes urbaines et transport dans la perspective d'un développement urbain soutenable* » organisée par l'Agence Française de Développement (AFD) le 10 et 11 juin 2010.

effet, en Grande-Bretagne, le nombre de possesseurs de voitures a continué à augmenter, depuis les années 50, jusqu'à nos jours (Melia, 2009). Cette donnée se retrouve inchangée presque dans tout le reste de l'Europe où « *le taux de motorisation moyen de l'UE-27 en 2009 était estimé à 473 voitures particulières pour 1 000 habitants* » (EUROSTAT, 2013). Par rapport à l'équipement automobile des ménages en France, l'INSEE dans ses statistiques atteste un taux des ménages motorisés du 83,3% en 2012, en très légère réduction par rapport au 2011 (83,5%) (INSEE, 2012). Dans les pays du G8, entre 70 et 80 % des déplacements totaux sont accomplis maintenant en voiture (Dupuy, 2011). En France, par exemple 70% des déplacements à longue distance (au-delà des 500 kms), sont effectués en automobile. Toutefois, bien que le kilométrage moyen par ménage augmente en France jusqu'au début des années 2000 (Collet, et al., 2012), actuellement, comme dans le reste des pays européens, on peut supposer que la faible croissance démographique et la crise économique des dernières années avec, en plus, l'augmentation des prix du carburant, aient contribué, en grande partie, à ralentir le rythme total de la mobilité et surtout à stabiliser le taux de motorisation des familles (environ 500-600 véhicules pour mille habitants) (O. P. Dubois-Taine, 2010). La part modale dédiée à l'usage de la voiture reste toujours prédominante et représente 82,7 % du total du transport des voyageurs (Commissariat général au développement durable, 2013). L'organisme, en France, qui s'occupe d'analyser les données agrégées sur le transport : la « *Commission des Comptes des Transports de la Nation* », certifiait, de toute façon, qu'en 2010, la forte augmentation des prix du carburant (commencée en 2004) avait produit une diminution de la circulation routière, d'environ 1,1% dans la période 2002/2008 et une diminution du 2% par rapport au période 1994/2002 (Commissariat général au développement durable, 2011).

Ces valeurs, de toute façon, ne sont pas significatives mais reflètent plus une tendance à l'épargne de la part des familles, du fait plus de l'augmentation des prix du carburant qu'un changement réel des habitudes et des pratiques de mobilité. En outre, cette réduction de la circulation automobile a été remarquée dans une plus grande mesure dans les grandes zones urbaines, mais caractérise peu les zones rurales (Collet, et al., 2012).

« Lorsque le carburant s'est fortement renchéri entre 2001 et 2006, les ménages les plus modestes semblent avoir rencontré davantage de difficultés que les plus aisés à réduire leur usage de la voiture. Les premiers résidant moins souvent en zone urbaine que les seconds, ils ne disposent pas d'autant d'alternatives en transports en commun et ont moins la possibilité d'ajuster leur kilométrage, déjà plus faible, aux variations du prix du carburant. » (Collet, et al., 2012)



Source : SOeS, d'après Direm, CPDP
En trait noir horizontal, la moyenne annuelle

Figure 12: Prix des carburants à la pompe en euros par litre.

En 2012, en effet, la circulation des voitures privées a déjà recommencé à croître légèrement, de +0,1% (tendance à la stagnation), accompagnée par une réduction du parcours annuel moyen total de -0,4%, contre -0,6% enregistré en 2011 (Commissariat général au développement durable, 2013).

Quant à l'Italie, par contre, entre 2008 et 2012, les déplacements totaux ont diminué de 23,9% et dans ce scénario de réduction de la demande totale de transport, les

transports collectifs ont, cependant, légèrement gagné sur l'automobile, en particulier dans les grandes zones urbaines. De 2007 à 2012 dans les grandes villes italiennes les passagers des transports en commun ont augmenté de 8,2%, tandis que la voiture a connu une baisse des passagers de 19,3%. En gardant, dans tous les cas, une répartition modale dominée par la voiture, qui représente environ 80% du trafic total. Dans le contexte périurbain italien la dominance de la voiture dans les choix de mobilité est cependant encore plus claire et concerne l'84% du trafic total.

Le taux de motorisation italien est le plus élevé d'Europe, avec 600 véhicules par million d'habitants, (500 pour la France, 490 pour l'Allemagne, 478 pour le Royaume-Uni) (Serio, et al., 2011). La crise financière actuelle représente donc une grande opportunité pour les systèmes des transports collectifs, pour changer les habitudes de mobilité de la population, de plus en plus attentive aux coûts consacrés au transport (Panettoni, 2013). Pour soutenir cette tendance et profiter de ce changement forcé dans la façon de concevoir les choix de mobilité, les entreprises de transport public, ont certainement besoin d'accroître et de renforcer les investissements mais la rareté des ressources et des mesures lourdes d'austérité récentes contrarient cette volonté, notamment dans le cas italien. En particulier, dans la période 2010-2012, en Italie, les subventions gouvernementales pour le transport collectif ont été réduites d'environ 12%, c'est-à-dire de près de 600 millions d'euros. Les entreprises de transports publics italiennes ont réagi à cette réduction du financement de l'État par le biais des mesures importantes d'amélioration de l'efficacité, bloquant les salaires de leurs employés en augmentant la contribution des tarifs toutefois diminuer les services (Panettoni, 2013).

Poursuivant cette réflexion générale sur la fonction et l'impact social et économique du transport en lien avec l'utilisation massive de la voiture particulière, le travail de P.O. Dubois-

Taine, dans le rapport sur la *Nouvelle Mobilité* commandé par le *Centre d'Analyse Stratégique* (CAS), présent un intérêt particulier en s'interrogeant sur le rôle historique, économique et sociale de la voiture, notant l'omniprésence de la voiture dans les contextes territoriaux actuels (O. P. Dubois-Taine, 2010).

À l'exception, en effet, des grandes métropoles mondiales caractérisées par des densités résidentielles élevées (Paris, Londres, Tokyo, Hong-Kong, etc.), dans la plus grande partie des zones urbaines moyennes et petites des pays occidentaux, l'accès à la mobilité est résolument structuré selon «*Modèle de société automobile*» (O. P. Dubois-Taine, 2010), promoteur du phénomène de «*dépendance à la voiture*» (Newman & Kenworthy, 1999; Newman & Kenworthy, 2006).

Dans son rapport, il souligne, en effet, que c'est seulement dans les secteurs dans des grandes agglomérations urbaines que la mobilité alternative joue un rôle fort: entre 40 et 80% des déplacements totaux. Dans les villes moyennes et petites et dans les territoires périurbains et ruraux où les services de transports collectifs sont moins compétitifs et moins performants, l'utilisation de la voiture devient, par contre, largement prépondérante, entre 70 et 90% du total des déplacements effectués (O. P. Dubois-Taine, 2010). Ces données renforcent l'idée de l'hégémonie et de la suprématie de la voiture dans l'organisation et dans les pratiques de mobilité actuelles. En substance, la voiture est le moyen de transport qui a, sans aucun doute, caractérisé le style de vie occidentale dans le dernier siècle et une telle tendance continue à être nettement prédominante, en se diffusant aussi dans les pays en développement (notamment China, Brésil, Inde, etc.). C'est un style de vie en large expansion au niveau planétaire et qui se base essentiellement sur l'exploitation accélérée et incontrôlée des ressources énergétiques et, en particulier, des hydrocarbures et du pétrole (Robert, 2005; Massot & Orfeuil, 2007). D'autre part, dans le champ de la recherche sur l'aménagement des transports, on trouve la notion assez partagée que le système de mobilité complètement orienté vers l'usage de la voiture et hérité du siècle dernier, n'est plus soutenable et trop énergivore. À la croissance incessante des taux d'utilisation de la voiture privée, a été en effet associée différents effets négatifs dans les domaines urbain et suburbain (Melia, 2009).

Ces conséquences négatives, comme il sera exposé plus amplement par la suite, concernent différents aspects sociaux, économiques, environnementaux et culturels. En effet, la dépendance excessive de l'utilisation de la voiture peut contribuer à augmenter les phénomènes d'inégalité et d'exclusion sociale (personnes âgées, handicapées, pauvres, etc.), à favoriser l'artificialisation du sol agricole ou naturel et à augmenter la pollution due aux émissions de CO² (O. P. Dubois-Taine, 2010), qui se matérialise dans une réduction générale du niveau de qualité de la vie. D'autres spécialistes comme Melia (2009) observent, en outre, qu'un usage excessif de

la voiture peut produire une réduction de la productivité et du développement économique et ils en montrent l'évidence, tant du point de vue théorique qu'empirique. Du point de vue théorique, en effet, en suivant les principes de la diminution des bénéfices marginaux, à une augmentation des taux de motorisation correspond un bénéfice économique incrémentiel de plus en plus petit. Du point de vue empirique, par contre, T. Litman et F. Laube (2002) affirment que les bénéfices économiques tendent à croître jusqu'à ce qu'un territoire devienne complètement auto-dépendant pour, ensuite, diminuer progressivement. En substance, une fois qu'un système territorial arrive à atteindre des niveaux limités de dépendance vis-à-vis de la voiture, correspondant donc à des phénomènes de saturation des réseaux, alors toute augmentation progressive de la circulation correspond à une aggravation des désavantages économiques.

« Un usage du sol plus accessible qui réduit l'usage des voitures et la consommation des carburants, tend à incrémenter l'emploi régional et l'activité économique ». (Litman, 2012b)

L'économiste Héran (2001) montre, en outre, comment les nombreux effets négatifs, provoqués par l'usage excessif de la voiture, rentrent dans un cercle vicieux dont on peut difficilement s'affranchir: une sorte de *"spirale de la dépendance de la voiture"* (O. P. Dubois-Taine, 2010) ou *"cycle de l'auto-dépendance"*, (VTPI, 2010) dans lequel la voiture engendre des problèmes qui comportent le besoin d'utiliser la voiture pour réussir à les éviter (Héran, 2001).

Un tel schéma est bien clair, évidemment, pour l'industrie automobile et les pétroliers. Comme l'explique G. Dupuy (2011), une augmentation du trafic automobile comporte un besoin d'infrastructures routières et, donc, un

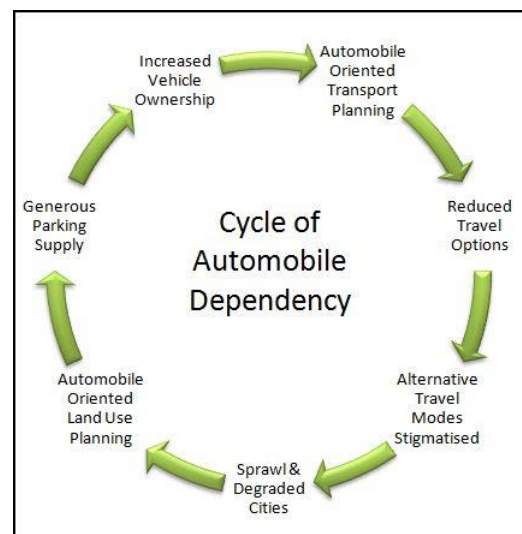


Figure 13: Le cycle de l'auto dépendance (Héran, 2001; O.P. Dubois-Taine, 2010)

accroissement du nombre de voitures et de leur usage qui comporte encore une augmentation du trafic et de sa congestion. Il s'agit d'un schéma que l'on peut répéter à l'infini en produisant les effets négatifs typiques de pollution, congestion, exclusion sociale et diminution de la qualité de la vie (Leysens, 2011).

3.2. Le modèle urbain orienté vers la voiture

Un système de transport auto-dépendant signifie que presque chaque utilisateur du système possède ou utilise une voiture pour y accéder et l'utiliser. En ce cas, les personnes qui ne conduisent pas auront, comme seule possibilité pour accomplir leurs déplacements, celle d'être transportées par un utilisateur possesseur d'une voiture privée.

Il est, dans ce contexte, important introduire la définition de deux nouvelles typologies d'espèce humaine: celle de l'*homo automobilis* et celle de l'*homo transportatis*, comme Gabriel Dupuy (2011) a efficacement observé. Une large partie de la population, constituée par les jeunes qui n'ont pas l'âge pour conduire une voiture (O. P. Dubois-Taine, 2010), les personnes âgées, les retraités, les handicapés, ceux qui vivent en conditions de pauvreté ou d'indigence ou simplement les non-conducteurs par choix, se retrouvent à devoir vivre avec des possibilités limitées de mobilité en respectant ceux qui possèdent et qui peuvent conduire une voiture privée.

“L'automobility domine soit les usagers que le non usagers de la voiture, organise leur vie à travers l'espace-temps.” (Urry, 2003)

En substance, la dépendance à la voiture réduit les alternatives de mobilité et l'indépendance personnelle d'une partie de la population, en augmentant les inégalités et les phénomènes d'exclusion et de marginalisation sociale. Cette condition d'écart est, en outre, encore plus sensible dans les territoires à basse densité c'est-à-dire dans les zones suburbaines et rurales ou dans les grandes périphéries urbaines (O. P. Dubois-Taine, 2010). En outre, ce modèle de transport auto-dépendant comporte une intensification et un enracinement de problèmes tels que la congestion, la pollution, les accidents et donc des coûts environnementaux et sanitaires considérables ainsi qu'une réduction essentielle des niveaux de qualité de la vie. Urry (2003) dans son analyse sociologique sur les habitudes de mobilité des sociétés modernes, introduit en outre le terme *automobility* pour définir le bouleversement apporté par la diffusion massive de la voiture dans les pratiques et dans la perception même du concept de déplacement. Le sociologue britannique observe en fait comment l'usage de la voiture conduit à multiplier et à accroître les besoins de déplacements, en alimentant par conséquence le caractère dominant de la voiture sur les dynamiques de mobilité (Urry, 2003). À ce propos, il est intéressant cependant d'observer, en appui à la théorie de l'insoutenabilité d'un modèle exclusivement "*auto oriented*", que l'auto-dépendance ne cause pas seulement des coûts mais procure aussi des bénéfices (Litman, 2002) ; mais pendant que les coûts se répercutent en substance sur toute la communauté, les bénéfices concernent exclusivement les utilisateurs directs de la voiture.

Certaines études montrent que les facteurs qui influencent le plus les comportements de choix liés à l'achat et à l'utilisation de la voiture, sont liés en particulier au lieu de résidence principale, alors que le nombre d'adultes présents dans une famille influe sur le taux de multi-motorisation (c'est-à-dire sur le nombre de voitures appartenant à un seul ménage (Collet, et al., 2012)).

Parler de *dépendance*, à propos de l'usage de la voiture, contient une connotation fortement psychologique et sociologique du phénomène, qui mérite d'être approfondie. En parlant, en fait, de « *motorisation des modes de vie* », J. Messonnier (2011) observe que la voiture est, à la fois, un symbole d'autonomie et de liberté « chèrement acquise » et aussi l'emblème d'une « affirmation identitaire », dérivant et témoignant d'une particulière condition économique et/ou sociale du propriétaire, qui peut, bien évidemment, être soit réelle soit simulée.

Certains auteurs en effet remarquent que les types ou marques de voitures particulières, sont perçus comme un symbole et signe distinctif d'appartenance à un statut social privilégié (par exemple les voitures de marque allemande) (Coulangeon & Petev, 2012). Cette dynamique comporte en conséquence le fait que, pour certaines catégories de population le choix d'acheter une ou plusieurs voitures n'est pas faite selon les besoins réels de mobilité (Coulangeon & Petev, 2012), mais plutôt en fonction de leur situation économique et sociale, et bien sûr par la localisation du lieu de résidence principale. Le passage à une mobilité automobile est donc une action radicale qui serait fortement caractéristique du style de vie future de celui qui deviendra désormais un « *conducteur* », prêt à voyager à grande vitesse dans le cycle de la dépendance technique, financière et personnelle de la voiture (Meissonnier, 2011). L'accès dans le monde de la voiture arrive fondamentalement en trois étapes distinctes: l'acquisition du permis de conduire, l'acquisition d'une voiture et finalement son utilisation pour effectuer des déplacements à l'intérieur du réseau de transport (Leysens, 2011). L'usage d'un tel moyen de transport, devient cependant obligatoire dans des situations où l'on relève une absence complète de formes alternatives de mobilité comme, par exemple, dans les zones rurales ou dans les espaces suburbains. Les défenseurs d'une société orientée vers la voiture observent donc que tous les inconvénients dus à l'usage de la voiture doivent être considérés comme le prix à « payer » pour le progrès et la liberté individuelle apportée par la voiture elle-même (Robert, 2005). D'autre part, il est incontestable que la voiture est un moyen de transport qui assure des niveaux élevés d'accessibilité et un service de mobilité extrêmement capillaire, du type "*porte à porte*" (O. P. Dubois-Taine, 2010). L'offre fournie par le marché de l'automobile est également très hétérogène (Collet, et al., 2012) et en mesure d'offrir plusieurs types de voitures, adaptables aux différents besoins et habitudes de la vie quotidienne, atteignant ainsi les segments les plus fines de la demande.

« L'automobility est une source de liberté, la « liberté de la route ». Sa flexibilité permet aux usagers de la voiture de voyager rapidement à tout moment, dans n'importe quelle direction le long des réseaux routiers complexes des sociétés occidentales qui relient la plupart des maisons, des lieux de travail et de loisirs. Par conséquent la voiture définit où les gens peuvent aller et donc ce que les humains sont capables de faire. Une grande partie de ce que beaucoup de gens conçoivent aujourd'hui comme la «vie sociale» ne pourrait pas être entrepris sans les flexibilités de la voiture et sa disponibilité 24 heures par jour.» (Urry, 2003)

L'alternative à un système des transports orienté vers la voiture est un système de transport *équilibré et multimodale*, qui présente de hauts niveaux d'accessibilité et qui est orienté vers les systèmes de transport collectif et la mobilité active (VTPI, 2010). L'utilisateur a dans ce cas à sa disposition une alternative vaste de choix de mobilité et il est encouragé à utiliser le moyen de transport de plus en plus apte à sa propre nécessité de déplacement (Litman, 2002).

Thomas Leysens observe aussi qu'il est important de ne pas cacher les avantages liés à la voiture mais, plutôt, de les mettre en perspective et en relation avec les effets positifs pour les individus, apportés par une utilisation plus large des transports collectifs (Leysens, 2011). La voiture permet de se déplacer sans accomplir de ruptures de charge et, ensuite, d'effectuer des trajets dirigés vers n'importe quelle destination et sans restriction dues aux horaires de départ et d'arrivée. Cet aspect de souplesse extrême représente, en effet, le véritable surplus qualitatif que la voiture peut assurer par rapport aux systèmes de transports collectifs.

Leysens (2011) continue sa réflexion en observant que la voiture apparaît, à l'utilisateur, comme un moyen de transport plus flexible, plus pratique, plus confortable et plus sûr par rapport aux transports collectifs. Finalement, il affirme qu'il est inutile et contre-productif de montrer du doigt les automobilistes, car il n'y a pas lieu de condamner des gens qui utilisent un moyen de transport autour duquel les villes actuelles ont été conçues et construites. Le but du planificateur urbain et des transports doit être plutôt d'encourager une offre de mobilité plus équilibrée et diversifiée, sans retomber dans la rhétorique exclusivement "*anti-voiture*" mais plutôt en permettant des alternatives de mobilité.

3.3. Facteurs, attributs et coûts de la dépendance de la voiture

Il existe différents facteurs et attributs qui peuvent être utilisés pour évaluer et définir si un système territorial (usage du sol et système de transport) favorise ou pas la dépendance à la voiture (VTPI, 2010). Les facteurs clés sont sûrement: le pourcentage des propriétaires d'une voiture en relation à la population totale, la distance moyenne parcourue annuellement en

voiture par personne et le pourcentage des déplacements effectués avec la voiture privée par rapport à l'ensemble des déplacements. D'autres attributs fondamentaux sont rapportés à l'éventuelle existence, au niveau des services, à la compétitivité et à la qualité de l'offre des systèmes de transports collectifs alternatifs à la voiture privée.

En outre, pour évaluer le niveau de multimodalité d'un système de transport, il est nécessaire d'analyser les niveaux d'accessibilité, au-delà de la dotation en infrastructure et des caractéristiques urbanistiques de ces espaces publics (par exemple: km de rues et surface de parking *per-capita*, accessibilité par les modes actifs des arrêts des transports collectifs, etc.) (VTPI, 2010). La configuration territoriale et l'usage du sol influent, en effet, de manière décisive sur les comportements de mobilité, en fonction des densités (résidentiels et d'emplois) et de la consommation du sol. La dispersion et la fragmentation du tissu urbain sont des phénomènes qui favorisent la dépendance vis-à-vis de la voiture, au contraire des formes urbaines compactes favorisent la mixité fonctionnelle et l'accessibilité aux transports collectifs.

Par ailleurs, il peut y avoir des phénomènes d'encouragement fiscal au niveau national et de distorsion du marché au service de l'industrie automobile, ou bien des orientations politiques plus ou moins favorables à l'investissement des ressources publiques visant à stimuler l'usage de formes de mobilités alternatives à la voiture.

Une communauté qui habite dans un système de transport et d'usage du sol qui favorise des phénomènes de dépendance à la voiture, doit forcément faire front à des coûts que l'on peut définir comme *directs* ou *indirects*. Les coûts *directs* sont ceux qui se réfèrent au pourcentage du *budget* que chaque ménage doit investir pour ses déplacements, en particulier pour l'achat et l'entretien d'une ou de plusieurs voitures (coût du carburant et de maintenance, assurance, coût des parkings etc.). Comme l'indique le rapport sur les dépenses des familles américaines en 2011¹⁹, "*les Américains dépensent une grande partie de leur budget familial dans les transports*" (Hawk, 2011). Environ 15-20 % des dépenses totales d'une famille américaine sont, en effet, destinés, en moyenne, aux transports c'est-à-dire environ le double de ce que dépense, en moyenne, une famille suisse (Litman, 2010).

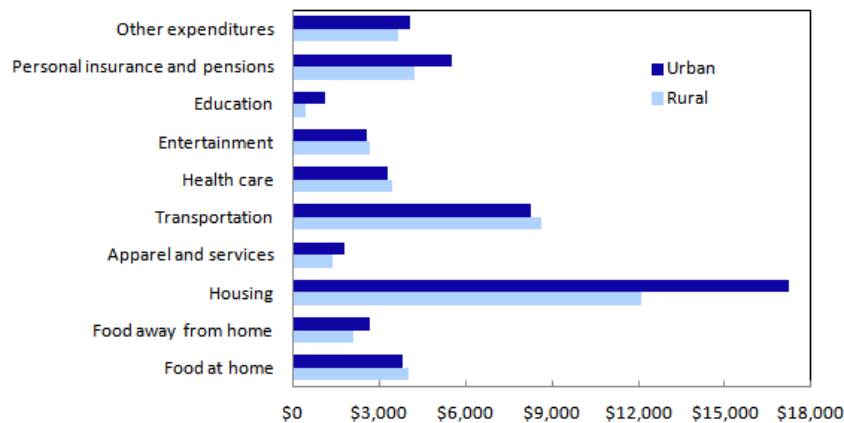
Les coûts *indirects* par contre sont dus au poids fiscal et aux impôts que payent les contribuables et aux coûts supportés par l'État pour ses investissements et interventions sur les infrastructures (construction ou maintenance des routes, des parkings, ou interventions de sécurité routière). D'autres coûts indirects sont attribuables aux coûts sanitaires, énergétiques et environnementaux dus, en partie, aux accidents routiers mais, également, aux effets négatifs pour la santé causés par la pollution (émissions de CO²) et la congestion (Litman, 2002).

¹⁹ William Hawk, Beyond the Numbers report - Expenditures of urban and rural households in 2011, Office of Prices and Living Conditions, Consumer Expenditure Survey division - 2011

Indicator	Description	Low	Medium	High
Popular Name		Carfree	Multi-modal	Automobile Dependent
Vehicle Ownership	Per capita motor vehicle ownership (usually measured per 1,000 population)	Less than 250 per 1,000 pop.	250-450	450+
Vehicle Travel	Per capita annual motor vehicle mileage	Less than 4,000 miles (6,500 km)	4,000-8,000 miles (6,500-13,000 kms)	8,000+ (13,000 km plus)
Vehicle Trips	Automobile trips as a portion of total personal trips	Less than 50%	50-80%	80%+
Quality of Transportation Alternatives	Convenience, speed, comfort, affordability and prestige of walking, cycling and public transit relative to driving.	Alternative modes are of competitive quality.	Alternative modes are somewhat inferior.	Alternative modes are very inferior.
Relative Mobility Of Non-Drivers	Mobility of personal travel by non-drivers compared with drivers.	Non-drivers are not severely disadvantaged.	Non-drivers are moderately disadvantaged.	Non-drivers are severely disadvantaged.
Land use patterns	Land use density (residents and jobs per acre) and mix (proximity of different land use types).	Very compact and mixed.	Moderately compact and mixed	Dispersed and homogenous
Transport system	Type of transportation facilities and services available.	Mainly nonmotorized and public transit	Very mixed: nonmotorized, public transit and automobile.	Mainly automobile (roads and parking facilities).
Roadway design	Design features of public roads.	Highly pedestrian oriented	Mixed.	Designed to maximize auto traffic speeds and volumes.
Shopping Options	Where retail and other public services are located	Along public streets	Mainly along public streets near transit areas	In private malls, located along major highways
Market Distortions Favoring Automobile Use	Relative advantage provided to automobile transportation over other modes in planning, funding, tax policy, etc.	Minimal bias favoring automobile travel.	Moderate bias favoring automobile travel.	Significant bias favoring automobile travel.
Automobile commute mode split	How people travel to work and school.	Less than 35%	35-65%	More than 65%
Errand travel	How people normally travel to stores, professional appointments, recreation activities, etc.	Mostly walking, cycling and public transit.	Walking, cycling, public transit and automobile.	Mostly automobile.
Performance Indicators	How transport system performance is evaluated	Quality of walking, cycling and public transit	Multi-modal	Automobile-oriented

Tableau 1: Facteurs et attributs de la dépendance automobile. (Victoria Transport Policy Institute, 2010)

Average annual expenditures of urban and rural households, 2011



Source: U.S. Bureau of Labor Statistics, Consumer Expenditure Survey.

Figure 14: Dépense annuel des ménages en milieu urbain et rurale, dans le 2011 aux États Unis.

Environ le 22% des émissions totales de CO² enregistrées, par exemple, en Grande-Bretagne proviennent du transport routier (DEFRA, 2007). Un phénomène qui devient de plus en

plus accentué à cause de la congestion, car les

voitures qui circulent dans une situation de congestion routière, sont moins efficaces par rapport à la consommation de carburant et donc plus polluantes.

Par rapport aux ménages, ceux qui habitent dans des quartiers ou zones *auto-orientées* enregistrent généralement un taux de possession des véhicules plus important que celui des zones caractérisées par des configurations urbaines orientées vers les transports en commun et donc avec une possibilité d'accéder à plusieurs options de mobilité. En outre, les ménages installés dans des zones auto-orientées tendent à conduire et généralement à se déplacer

beaucoup plus: au moins 45 % de plus que les ménages qui habitent dans des quartiers orientés vers les transports en commun (Bailey, 2007), avec comme conséquence, une plus grande consommation d'énergie, une dépense économique et un taux de pollution significativement plus élevés (Litman, 2012a).

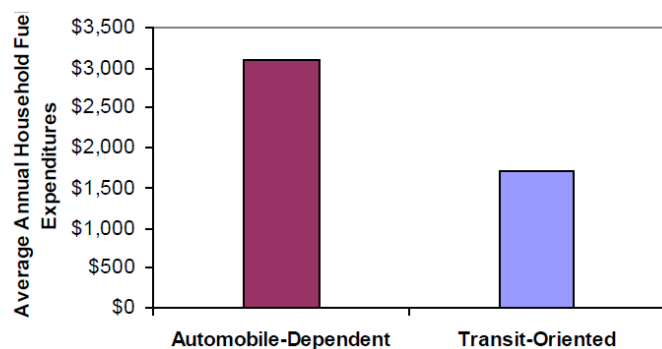


Figure 15: Dépense moyen de carburant par les ménages dans les États Unis. (Bailey, 2007 ; Litman, 2012a)

“Les ménages dans les quartiers orientés aux transports en commun, ont tendance à posséder moins de voitures et conduire moins que les ménages qui vivent dans des lieux orientés vers la voiture. En permettant d'économiser du point de vue énergétique et financière.” (Litman, 2012a)

La localisation et le choix des résidences par les ménages jouent aussi un rôle fondamental pour la formation du bilan de consommation énergétique. Les habitants des zones denses, bien

desservies et équipées, consomment trois fois moins que ceux qui habitent dans des zones peu denses et dépendantes de la voiture, parce qu'il y a plus de facilités dans les déplacements à pied et dans les transports en commun (Massot & Orfeuil, 2007). Ce phénomène qui devient très clair si on considère la comparaison faite par l'ADEME²⁰: avec un kilo équivalent de pétrole, un voyageur peut parcourir 18 km en voiture, 31 km en deux-roues motorisés, 37 km en bus de province, 64 km en métro de province et 140 km en métro parisien (Massot & Orfeuil, 2007; Ademe, 2007). Le problème de la pollution due aux gaz d'échappement des voitures n'est pas, cependant, la seule menace sur la santé publique qui dérive d'un usage excessif de ce moyen de transport. Le taux de mortalité dû à la pollution atmosphérique s'accompagne, en effet, d'une augmentation des cas d'obésité et d'une progression des problèmes cardio-vasculaire du fait de l'usage de la voiture, principalement, mais également du fait du style de vie sédentaire (RCEP - Royal Commission on Environmental Pollution, 2007). Mais la donnée la plus impressionnante est celle des décès dus aux accidents routiers : L'*Organisation Mondiale de la Santé* estime, en effet, à 1,24 millions par an les morts dus à l'insécurité routière et entre 20 et 50 millions de blessés (Organisation mondiale de la Santé, 2013), alors que autres études (Litman, 2004) démontrent que le taux d'accidents routiers diminue en fonction de l'augmentation de l'utilisation des transports collectifs.

De façon plus générale, tous ces coûts indirects se transforment dans une réduction générale des niveaux de qualité de la vie et il suffit seulement de quelques dizaines d'années d'application d'une politique complètement *auto-oriented*, pour en percevoir les limites et

les effets controversés. Pour le Gouvernement britannique, par exemple, les deux causes principales qui ont poussé à considérer la dépendance de la voiture privée comme un problème politique sont : la constante croissance de consommation des sols agricoles et l'augmentation des problèmes d'exclusion sociale, par la population des non-conducteurs et des classes sociales plus défavorisées résidant en quartiers conçus et construits autour de l'idée de la voiture comme moyen de transport de masse (ODPM, 2003). Les niveaux insuffisants d'accessibilité et de respect du droit à la mobilité qui se révèlent dans le cas des systèmes de transport orienté vers

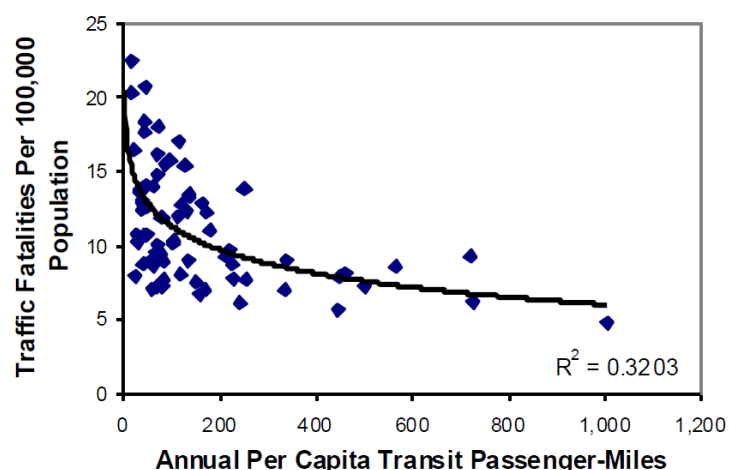


Figure 16: Accident routiers per capita en fonction de l'utilisation des transports collectifs (Litman, 2004)

²⁰ Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie

la voiture incluent, en fait, l'aggravation des phénomènes d'exclusion et de désagrégation sociale et spatiale. Les classes sociales les plus pauvres et les plus désavantagées, en ayant moins de possibilité d'acheter une voiture personnelle, subissent le plus nettement les effets d'une pénurie de l'efficacité de l'offre de transport public. Ces phénomènes d'exclusion et d'inégalité sociale sont aussi évidents dans les zones rurales que dans les banlieues ou dans les quartiers les plus pauvres et dégradés des principales villes et métropoles modernes. En effet, l'accès à la mobilité représente un facteur fondamental pour permettre l'entrée dans le marché du travail ou, plus généralement, pour permettre la participation à la vie économique, sociale et culturelle des sociétés contemporaines. Le fait que l'exercice de ces droits soit subordonné à la possession d'une voiture, comporte donc un accroissement de telles inégalités.

Gabriel Dupuy (2011), sous ce prisme, observe la tragédie de l'inondation arrivée à la Nouvelle Orléans en 2005 et met en évidence la vulnérabilité de la population et des familles les plus pauvres de la ville qui, en ne possédant pas de voiture, n'ont pas réussi à s'échapper et à se mettre à l'abri des inondations. De même, la vie communautaire et l'interaction sociale subissent un impact négatif dans les milieux caractérisés principalement par des modèles urbains *auto-oriented*. Comme l'observait Donal Appleyard (1981), la congestion et le trafic automobile ont progressivement pris possession de la rue en contribuant à bloquer cette fonction sociale d'agrégation qui caractérise, typiquement, les espaces publics.

En substance, l'organisation actuelle du territoire est vivement orientée vers l'utilisation de la voiture personnelle et caractérisée par la dépendance à ce moyen de transport. La dépendance à la voiture, au-delà d'être une conséquence devient même une cause de dispersion et de fragmentation du tissu urbain. L'usage excessif de la voiture a, en effet, un impact fort sur les dynamiques de consommation et usages du sol (Litman, 2002), un '*auto sprawl syndrome*' (Urry, 2003) qui favorise la dispersion urbaine et comporte une consommation d'espace plus élevée par rapport aux transports collectifs (Leysens, 2011). Comme l'a écrit D. Porter (2004), le paradigme dominant du développement urbain, vers la moitié du siècle dernier, a autorisé, en particulier aux États-Unis, à avoir une conception des zones urbaines comme des lieux où substantiellement l'unique manière de se déplacer convenablement était associée à la voiture particulière. Ainsi aux États-Unis plus du tiers de la surface des villes est occupée par des rues ou des parkings: une proportion qui dépasse largement l'espace total dédié aux habitations (Stewart, 2000). La décentralisation et la dispersion du tissu urbain des villes ont en même temps, été cause et effet de la croissance de l'usage et du nombre de propriétaires de voitures (Melia, 2009). En particulier, environ 35% du territoire urbain des États-Unis est constitué par des rues, contre 25% du territoire urbain européen et 10% pour les pays émergents (Cervero, 1998).

“Environ un quart de la surface de Londres et près de la moitié de LA est consacrée à des environnements dédiés à les voitures” (Urry, 2003)

La plus grande partie du sol est utilisée dans un système territorial qui présente de hauts niveaux de dépendance à la voiture, dédiée à la construction de rues et de parkings (VTPI, 2010). Si on compare les alternatives typiques de la mobilité, telles que la à pied, la bicyclette, la voiture ou les systèmes de transports collectifs, la consommation moyenne d'espace d'une voiture est la plus élevée. Une voiture utilise, en moyenne, de 4 à 10 m² d'espace au sol qui deviennent de 15 aux 20 m² dans un parking et entre 50 et 250 m² en tenant compte de la circulation (O. P. Dubois-Taine, 2010). Litman (2002) affirme en fait: « *Les voitures requièrent plus que le double du sol occupé en moyen par habitant (logement, emploi et activités commerciales)* ».

En particulier, la quantité de surface qui est dédiée aux infrastructures routières se définit en fonction de la demande prévue de transport, des standards constructifs relatifs à la typologie routière spécifique et à la quantité des parkings et des équipements additionnels prévus (Litman, 2012b). Bien évidemment, le fait de posséder une voiture permet donc d'accomplir des

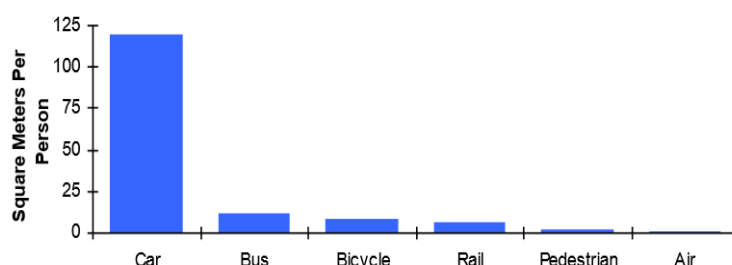


Figure 17: Occupation de surface routière par mode de transport (Litman, 2002)

déplacements journaliers plus longs vers son lieu de travail (théoriquement, en moins de temps qu'en transports publics, mais ceci parfois n'arrive pas, à cause des phénomènes de congestion) et encourage donc des phénomènes de migration résidentielle depuis les centres urbains vers les banlieues et surtout les zones rurales. Il est intéressant, en outre, d'observer comment la voiture joue un rôle important dans les dynamiques du marché immobilier (Leysens, 2011) parce que, paradoxalement, elle représente un levier pour *déformer* et *perturber* ce marché. Dans un contexte de dispersion et de fragmentation de l'espace urbain, la voiture devient en effet un moyen qui permet aux ménages d'échapper aux prix élevés du foncier en milieu urbain et aux taux excessifs de congestion routière, causés par la voiture dans les zones denses. Le problème de l'énorme espace public dédié à la circulation des voitures s'accompagne, de surcroît, de taux d'occupation des voitures très bas. Par exemple, en France cette valeur ne dépasse pas 1,3 personnes par voiture (Robert, 2005). Cette valeur influe bien évidemment de manière considérable sur les niveaux de congestion, comme le montre une étude effectuée par le Ministère des Transports américain selon lequel, par exemple, le conducteur américain passe environ une heure par jour dans le trafic (Handy, 2002).

En conclusion, la dispersion urbaine comporte différents coûts additionnels auxquels la communauté doit faire face et qui peuvent donc être attribuables, indirectement, au phénomène de dépendance de la voiture. La consommation du sol agricole et des espaces naturels est l'un des coûts les plus considérables parce que, parfois, il comporte des dommages irréversibles à l'environnement et au contexte naturel d'un territoire. Les espaces verts et les zones rurales sont, en effet, une ressource limitée et donc à préserver. Un tissu urbain très fragmenté comporte, par conséquent, des coûts supérieurs pour les administrations locales qui s'occupent de fournir à la population les services publics essentiels (notamment pour les réseaux urbains: eau, gaz, électricité, assainissement, etc.) et en particulier dans les services de transport en commun (Porter, 2004). Les distances augmentent et les coûts de gestion et les difficultés logistiques et d'organisation croissent. Ceci implique une réduction générale des niveaux d'accessibilité et d'interaction sociale et des investissements dédiés à l'amélioration des services de transport public. On peut donc relever une correspondance biunivoque entre *sprawl* urbain et usage de la voiture étant donné que, en absence d'interventions spécifiques aptes à réduire ce phénomène, ces hauts niveaux de dépendance de la voiture, évoluent de manière proportionnelle à l'étalement, à la fragmentation urbaine et à la basse densité de population (Dragutescu, 2009; Litman, 2010; Litman, 2002).

3.4. Comment réduire la dépendance de la voiture

La croissance incessante du nombre de voitures en circulation comporte de nombreux problèmes dans les milieux urbain et suburbain de manière largement acceptée; les différentes politiques et solutions proposées, pour tenter de résoudre ce problème, ne reçoivent pas le même agrément (Melia, 2009). Le débat entre défenseurs du modèle urbain orienté vers la voiture et les promoteurs des politiques d'encouragement de l'offre et de la qualité des services de transports collectifs, reste vif. On peut, en effet, affirmer que les partisans des systèmes de transports collectifs surestiment, parfois à tort, les potentiels bénéfiques (environnementaux, sociaux et économiques) des politiques *transit-oriented*, sans se confronter, effectivement, à la complexité et aux nombreuses spécificités inhérentes à ce type d'interventions. De la même manière, les partisans de la voiture refusent les politiques orientées vers le développement des transports collectifs parce qu'ils les jugent inefficaces, sans considérer le fait que ces politiques portent des résultats satisfaisants seulement si elles sont accompagnées et intégrées aux autres stratégies de développement (Dittmar & Ohland, 2004). D'autres auteurs, comme M.H. Massot et J.P. Orfeuill, donnent une lecture intéressante de ce débat en focalisant leur attention vers la problématique énergétique. En donnant pour acquise l'idée que le problème majeur dans la

gestion des systèmes de transport actuels, est la dépendance pétrolière et la contribution aux émissions de gaz à effets serre des véhicules de transport traditionnels, notamment la voiture. La solution donc, ne passe pas simplement par une conception de la ville avec de courtes distances et de grandes densités, mais plutôt par une amélioration de la conception technologique des véhicules, qui puisse contribuer à faire baisser les émissions de CO² et à améliorer les prestations (Massot & Orfeuil, 2007).

Le problème, cependant, n'est pas celui de supprimer la voiture du paysage urbain mais surtout de modifier et de rénover les pratiques d'usage et de rendre les transports collectifs plus attractifs, de manière à réduire l'usage de la voiture individuelle et par conséquent réduire ses impacts négatifs (Leysens, 2011). Cette action suppose, en outre, une redécouverte et une relance du rôle de la mobilité des piétons (Feriel, 2013) en milieu urbain, où la voiture dans les dernières décennies a largement dominé. Un autre aspect fondamental de cette problématique est que, malgré les nombreux investissements en infrastructures routières, effectués dans les derniers 60 ans, la croissance du réseau toujours évolué à un rythme inférieur à la croissance du trafic automobile (Handy, 2002).

Les questions que se posent traditionnellement les urbanistes et les planificateurs des systèmes de transports concernent la réflexion sur quelle capacité et donc quelle ampleur d'investissement il faut poursuivre pour pouvoir rendre le réseau routier capable de contenir la croissance du trafic automobile. Il s'agit pourtant d'une question sans réponse qui comporte plutôt au cercle vicieux ou la spirale de la dépendance à la voiture que nous avons déjà présent, antérieurement.

« Augmenter la capacité routière encourage les usagers des voitures, stimulant la demande pour un ultérieur incrément de capacité ». (Litman, 2003)

D'autre part, il est curieux d'observer que beaucoup de modèles urbains, moins centrés sur l'usage de la voiture, que l'on tente de réintroduire actuellement, se ressemblent à ceux qui étaient présents dans les villes avant l'avènement de la voiture (Dittmar & Ohland, 2004). Il existe, à ce sujet, différentes recommandations utiles pour rendre un système de transport plus soutenable et moins dépendant de la voiture privée comme moyen principal de déplacement. L'objectif central, dans ce cadre stratégique, consiste à interrompre le cercle vicieux de l'*auto-dépendance*, à augmenter les choix de mobilité des utilisateurs et à concevoir, également, de nouvelles pratiques de mobilité par rapport à l'utilisation de la voiture elle-même (O. P. Dubois-Taine, 2010). Chacune des interventions possibles pour poursuivre ce but doit cependant supposer, préalablement, une acceptation générale, un partage tant au niveau social que

politique d'un ensemble de valeurs, il faut reconnaître les bénéfices en termes économiques, sociaux et environnementaux qu'un système de transport plus diversifié et multimodal peut apporter à une communauté (VTPI, 2010). Stratégiquement, par conséquent, afin d'atteindre le double objectif de réduire l'utilisation des voitures et, en même temps, de réduire la demande globale de déplacements, en optimisant l'attractivité des territoires urbains, devraient être promues des stratégies de développement urbain le plus possible multifonctionnelles et multipolaires, caractérisées par des niveaux élevés d'accessibilité aux réseaux des transports en commun.

«Les stratégies qui ont pour but de limiter la mobilité, enfin, visent à réduire le potentiel de déplacement en renchérissant le coût monétaire d'un déplacement ou en en allongeant la durée » (Handy, 2002).

Quand il s'agit de limiter la demande de mobilité, nous nous référons, en particulier, aux différentes stratégies de tarification de la circulation, du stationnement et du transit dans les zones urbaines qui peuvent être prises, avec des fonctions et effets différents, afin de réduire la congestion et la demande totale de déplacements. En particulier, certains auteurs identifient trois stratégies possibles de tarification: correspondant à l'utilisation de l'infrastructure (péage, à la distance réelle parcourue et au stationnement) (Handy, 2002). Dans le premier cas, péage pour utiliser l'infrastructure, très utilisé, certaines évolutions sont à considérer comme le concept de modulation du taux d'utilisation de l'infrastructure en fonction du trafic réel et donc de la saturation et de la congestion qui se produit dans certaines périodes de temps (prix plus chers aux heures de pointe) ou du taux d'emploi du véhicule (nombre de passagers), prévoyant des voies et des réductions des péages pour les voitures transportant au moins trois personnes (Handy, 2002). Le coût du carburant est également considéré comme inversement proportionnel à la distance moyenne parcourue et peut donc être pris en compte et utilisé comme levier potentiel pour réduire l'utilisation de la voiture et la diminution du taux moyen de mobilité (Handy, 2002); cependant, ce raisonnement est limitatif et négatif pour les citoyens car, à l'augmentation du prix du carburant correspond généralement un effet d'entraînement sur l'économie réelle qui se reflète par exemple sur le prix des aliments de base ainsi que sur les prix et donc sur la performance des services publics (transports publics, santé, déchets, etc.), augmentant ainsi le coût global de la vie. En outre, les coûts liés au stationnement sont également jugés très influents en ce qui concerne la demande de transport, car ils représentent un élément qui agit directement sur le coût généralisé d'un déplacement. Litman (2003) suggère par exemple que le système tarifaire rapporté aux assurances automobiles, qui prévoit un coût

fixe qui ne tient pas compte de la distance effectif parcourue habituellement, est inefficace et surtout inique. Une re-modulation des tarifs des assurances automobiles, proportionnel à la distance parcourue pourrait être une méthode qui, au contraire du système actuel, soit capable de stimuler une plus grande parcimonie et circonspection dans l'usage de la voiture, en tirant en outre des bénéfices économiques pour les utilisateurs et probablement aussi pour la collectivité, grâce à une réduction des externalités dues au trafic automobile (Litman, 2003).

Le concept de densification est utilisé également comme un outil potentiellement apte à influencer, de manière significative sur, le nombre, la durée et la distance moyenne des déplacements effectués quotidiennement dans les zones urbaines. À ce propos, une des objections qui vient face à une telle affirmation est qu'en augmentant les niveaux de densité résidentielles, on est amené à augmenter la concentration de voitures qui circulent dans ces zones (Melia, 2009), ou bien que ce n'est pas la forme urbaine (dense ou étalée) le sujet d'intérêt mais plutôt la recherche technologique sur la motorisation et sur la consommation énergétique des voitures (Crozet, et al., s.d.).

Cette objection est confirmée, entre autre, dans une étude britannique qui indique que face à une augmentation de 50 % de la densité résidentielle réalisée dans différentes zones urbaines, la réduction des km parcourus et donc de l'énergie utilisée, n'était que du 7 % (Gordon, 1997).

Effectivement, en France comme dans le reste de l'Europe, le renouvellement et la recomposition urbaine se réalisent, de manière très lente, au rythme de 1 % par an (O. P. Dubois-Taine, 2010), ce qui rend difficile l'influence immédiate de ces phénomènes de densification sur les habitudes de mobilité. Même en présence de politiques d'aménagements volontaristes, qu'elles limitent les développements urbain et suburbain, en les canalisant à travers des mesures urbanistiques appropriées ou qu'elles poussent à redensifier quelques zones urbaines, les effets de ces mesures ne portent leurs fruits qu'après beaucoup de temps (O. P. Dubois-Taine, 2010). Intensifier et augmenter l'offre et la qualité des transports collectifs est sûrement une action à envisager et indispensable pour favoriser un transfert de la demande des déplacements depuis la voiture vers les transports en commun.

Mais il faut considérer que la réalité peut effectivement se révéler très différente comme, en effet, on peut l'observer dans une étude comparative des dynamiques de mobilité dans la région du Grand Lyon et de la zone francilienne (Massot, et al., 2002). L'étude montre des résultats assez décourageants sur les effets possibles des améliorations de l'offre de transport collectif en milieu métropolitain, en arrivant à la constatation que la souplesse et la vitesse de la voiture est difficilement reproductible par les transports en commun et surtout que les conducteurs, qui voudraient changer leurs habitudes de mobilité en faveur des modes alternatifs à la voiture,

doivent prendre en compte une augmentation substantielle de leur temps de déplacement, d'environ 10% (Massot, et al., 2002).

La gestion de l'offre des parkings est aussi une thématique centrale dans le cadre de la construction d'une stratégie générale de réduction du trafic automobile. La gestion des parkings est l'activité qui vise à organiser l'offre, le prix, les règles et les caractéristiques des systèmes de parkings (Litman, 2012a). Le prix mensuel des parkings est un indicateur qui influence significativement la propension à l'achat d'une voiture par le chef de ménages et plusieurs études ont aussi démontré comment une simple variation de prix journaliers des parkings a un effet immédiat sur la quantité de trafic pendulaire effectué en voiture (VTPI, 2008).

Il est, de toute façon, important de remarquer le fait qu'au cours des dernières années, ont été introduits de nombreux nouveaux services et méthodes qui ont contribué à modifier, parfois de manière substantielle, l'usage de la voiture. En même temps, les progrès technologiques et industriels ont permis de faire évoluer, de manière remarquable, les prestations des véhicules et de réduire les niveaux de consommation et donc d'émissions.

En particulier sur cette question, M.H. Massot et J.P. Orfeuil (2007) observent qu'avec une meilleure adéquation des voitures aux contraintes énergétiques, des millions de tonnes d'émissions de CO² seront évitables. Il s'agit donc d'un développement des technologies et surtout des nouvelles manières d'utiliser de la voiture (Mathieux & Heddebaut, 2012) comme les voitures électriques, hybrides, *low-cost*, en libre-service, à location brève et des services différents de copartage, comme le *car-pooling* (covoiturage) et le *car-sharing*.

Un ensemble de pratiques de mobilité innovantes qui pourront contribuer à faire avancer une transition depuis une perception de la voiture comme méthode pour atteindre la liberté, à celle d'un simple outil pour se déplacer (O. P. Dubois-Taine, 2010).

Les voitures électriques et à bas coût souffrent encore du problème d'une autonomie réduite dans les déplacements (environ 150 km). Les voitures à location rapide et pour un temps limité sont par contre intéressantes du point de vue conceptuel, car elles ne sont plus considérées comme un bien à posséder, mais comme un bien à utiliser quand il y a un besoin spécifique de déplacement dans le cas d'une économie de la fonctionnalité. Ce type d'usage de la voiture est, par contre, considéré comme peu écologique, parce qu'il ne permet pas de résoudre le problème des faibles taux d'occupation moyens des voitures en circulation (Mathieux & Heddebaut, 2012). Le *car-sharing* prévoit une utilisation partagée de la même voiture par des utilisateurs multiples. Il s'agit de brefs trajets et cet usage permet, normalement, d'obtenir des taux d'occupation moyens des véhicules plus importants. La difficulté plus grande est due au fait, que la voiture doit être retournée au point de départ de la location. Ceci contribue à réduire significativement les caractéristiques de souplesse de l'automobile.

Le *car-pooling* correspond, par contre, à une pratique de mobilité innovante et plus écologique qui prévoit l'utilisation de la même voiture par plusieurs personnes qui ont l'intention d'effectuer le même trajet. Il s'agit d'une pratique qui peut être pratiquée en milieu professionnel ou privé et c'est une méthode à priori très efficace pour réduire la congestion routière, en augmentant les taux d'occupation des véhicules. En France, il s'agit d'une pratique, par exemple, qui ces dernières années a connu un succès considérable, notamment grâce au site internet "*covoiturage.fr*", en continuelle évolution et expansion et qui peut permettre d'accroître sensiblement le taux de remplissage des voitures (en réduisant les coûts de déplacement) au moins en relation avec les déplacements à longue distance. Dans ce type d'usage partagé d'une même voiture, le support des nouvelles technologies de communication sur le web (Mathieux & Heddebaut, 2012) est fondamental, avec la possibilité de communiquer facilement entre les utilisateurs, de s'accorder et d'effectuer ou recevoir, en toute sécurité, les paiements relatifs aux voyages, mais surtout avec l'opportunité d'avoir un regard constamment à jour sur l'état du trafic et sur les conditions de circulation du réseau de transport. Le covoiturage dynamique est aussi une pratique qui peut être valable pour répondre aux conditions de mobilité quotidienne difficiles des milieux sociaux précaires (Meissonnier, 2011). Traditionnellement, la pratique du covoiturage dans les quartiers caractérisés par des conditions de ségrégations spatiale, se déroule de manière plus informelle, entre proches, voisins et collègues, et sous une forme moins médiatisée et plus solidaire, qui permet de réduire les coûts générés par la voiture. Par covoiturage dynamique, par contre, on entend un covoiturage du quotidien, supporté par les applications des nouvelles technologies de téléphonie portable et couplé avec les services de localisation et de navigation GPS. Le but est donc d'assurer une grande souplesse d'utilisation qui puisse permettre de décider de covoiturer sans une planification préalable et avec un délai rapide (Meissonnier, 2011). Comme l'illustre le rapport du CERTU sur cette forme expérimentale d'autopartage, le covoiturage dynamique peut être aussi intégré à des systèmes de transport à la demande (TAD)²¹ et fournir une fonction de rabattement vers les lignes des transports en commun réguliers (Robert, 2009).

D'autres auteurs affirment aussi que la «*productivité*» des voitures doit sans doute passer par un renouvellement technologique des véhicules et non pas par une réduction de leur usage (Crozet, et al., s.d.). Une voiture plus propre qui roule sur une route intelligente (Crozet, et al., s.d.), donc capable d'informer en temps réel le conducteur sur une quelconque problématique présente sur

²¹ « *Le transport à la demande (TAD) est un service public de transport collectif qui [...] ne fonctionne que sur demande expresse de ceux qui l'utilisent et se distingue des transports réguliers qui fonctionnent selon des itinéraires définis et en fonction d'horaires fixés annuellement. Par son mode de fonctionnement, le transport à la demande fournit une offre de transport se situant entre les transports publics réguliers et les taxis.* » (CERTU, 2007)

la route²², pourrait déjà contribuer, de manière importante, à la réduction de la congestion et des phénomènes de pollution.

Dans l'optique de donner une place à de nouveaux modèles de mobilité et surtout de faire naître une nouvelle conception culturelle des pratiques liées à l'usage de la voiture et des autres modalités de transport, O. P. Dubois-Taine (2010) indique quelques possibilités et opportunités d'innovation. Le but est de convaincre l'utilisateur moyen que la voiture doit être considérée non pas comme une nécessité et un symbole de liberté et d'autonomie individuelle, mais plutôt comme une commodité, un instrument de mobilité, apte aux situations spécifiques et utilisable de manière diversifiée et plus dynamique par rapport aux modalités traditionnelles. En particulier, il est possible de déterminer plusieurs champs d'actions qui pourront être développés pour renouveler la figure et le rôle de la voiture dans le système général de la mobilité. L'encouragement à l'usage de véhicules motorisés légers et moins énergivores, particulièrement performants dans les zones urbaines denses, accompagné par une réévaluation massive de la mobilité cyclable, représente la première des filières à considérer pour un renouvellement des pratiques de mobilités actuelles (O. P. Dubois-Taine, 2010).

En même temps, il est fondamental qu'il y ait une adaptation progressive de la mobilité et de l'accessibilité aux nouvelles possibilités fournies par la technologie. Grâce au web, aujourd'hui, il existe une multitude de services innovants pour développer la mobilité qui peuvent permettre de programmer, gérer et accomplir de manière plus efficace ses propres déplacements, en les optimisant soit temporellement, soit spatialement. La possibilité d'effectuer des paiements, des réservations et d'accéder aux renseignements sur le trafic et sur la mobilité, en temps réel, ouvre sûrement de nouveaux horizons conformes à l'utilisation des systèmes de transport qu'ils soient collectifs ou individuels. O. P. Dubois-Taine (2010) observe, enfin, qu'à ces actions, doit être intégré le développement d'une *économie des services* dédiés à toutes les pratiques de mobilités alternatives à l'usage traditionnel de la voiture.

Il existe, aujourd'hui, de nombreux types de véhicules innovants comme les bicyclettes à coups de pédales assistés, les voitures électriques, les véhicules hybrides et les véhicules soi-disant "*low cost*" (véhicules de basse cylindrée et de dimensions et prix réduits) (O. P. Dubois-Taine, 2010), qui présentent des potentialités considérables, bien qu'améliorables du point de vue des performances. D'autre part, vont se diffuser, de manière toujours plus importante, des pratiques

²² À cet égard, le projet de *Smart Highway*, présenté par le studio de design néerlandais *Studio Roosegaarde*, semble être d'intérêt considérable. Il offre un concept innovant d'infrastructure routière, durable et surtout interactif. Grâce à l'introduction de lumières interactifs, de peinture routière dynamique, des systèmes pour réduire la consommation énergétique et des signaux avec la capacité de s'adapter à différentes situations de circulation, le projet se poursuit d'améliorer la sécurité routière et le confort de conduite, en utilisant pleinement le potentiel offert par les nouvelles technologies. (Studio Roosegaarde, 2012)

innovantes de mobilité et d'usage partagé de la voiture. Comme, par exemple, l'*auto sociale*, dispositif appliqué en France, qui prévoit le prêt d'une voiture pour un temps déterminé, en moyenne quelques mois, de la part d'associations et d'organismes qui se consacrent aux problématiques d'accès au travail des catégories de population défavorisée (O. P. Dubois-Taine, 2010). Dans le rapport sur les *Nouvelles mobilités* du Centre d'Analyses Stratégiques (CAS), est proposée une réflexion intéressante sur les innovations possibles concernant les systèmes économique et commercial liés à l'usage de la voiture.

L'intérêt est de passer d'une économie des biens à une économie des services où l'utilisateur sera encouragé à acheter des services et des performances de mobilité, associés aux propres besoins spécifiques plutôt qu'à acheter un véhicule personnel.

Dans le cas des véhicules électriques, il s'agit de proposer des méthodes de vente différenciées à travers, par exemple, des systèmes de recharge prépayés de kilomètres électriques (O. P. Dubois-Taine, 2010). Pour les petits véhicules urbains, l'idée est, par contre, d'optimiser les modalités de location en les rendant plus rapides et aussi plus aptes aux brèves périodes d'utilisation. Ces services de location de voitures pourraient être associés aux systèmes tarifaires classiques fournis par les opérateurs du transport public en intégrant, par exemple, des services de *car-sharing* et de *car-pooling*, avec des abonnements ferroviaires ou avec les réseaux de transport public urbain. C'est un secteur qui pourrait créer aussi de nouvelles opportunités économiques pour les entreprises dans le champ de la mobilité et avec des conséquences sur l'emploi, surtout dans les contextes de territoires caractérisés par une dotation en infrastructure insuffisante où les services de transport public sont actuellement limités.

3.4.1. Cohabitation et partage de la route et développement urbain sans voiture

À partir des années 50', le problème du copartage de l'espace urbain entre les différents moyens de transport a commencé à être d'actualité. Comme l'observe C. Feriel (2013), en effet, si, aujourd'hui, par « piéton », on considère un axe routier urbain fermé au trafic et équipé pour assurer le confort du piéton, en 1950, les rues piétonnes n'existaient ni en Europe ni aux États-Unis. Bien qu'à cette époque les volumes de trafic automobile et les niveaux d'urbanisation et de consommation du territoire soient significativement inférieurs à ceux d'aujourd'hui l'idée de concevoir un centre urbain où sont concentrées toutes les fonctions et qu'elles soient accessibles seulement à pied, se développe cependant. Cette logique évolue dans les années 70' avec une séparation, de plus en plus marquée, des places dédiées aux différents moyens de transport (Feriel, 2013), en créant un milieu urbain principalement caractérisé par l'exclusivité et

la séparation entre fonctions et pratiques de mobilité. Grâce aux expériences hollandaises des *woonerf*, se diffuse, par contre, à partir des années 80', l'idée que l'espace urbain doit être partagé entre piétons et voitures. Il naît, en fait, la notion de la rue urbaine avec priorité pour les piétons et les cyclistes et avec une circulation autorisée pour les voitures, mais avec des vitesses très réduites (Ferial, 2013). Il s'agit d'une idée que l'on peut retrouver aussi en Grande-Bretagne, avec les *Home Zones*, et aux États-Unis, à travers la notion de *Complet Street*, où est valorisée la pratique de la cohabitation entre les différents moyens de transport (Ferial, 2013) et dont le but est de donner, à chaque pratique de mobilité, sa propre place en essayant de réduire, le plus possible, la prédominance de la voiture. En France, ce concept a été décliné avec l'institution des *Aires piétonnes*²³, *Zones 30*²⁴ et des *Zones de Rencontre*²⁵, avec des effets controversés et variés, mais limitées surtout à la réduction de la vitesse et des accidents de circulation plutôt qu'à une réduction effective du trafic routier et de l'utilisation de la voiture. Le concept de *woonerf* naît donc en 1960 avec l'architecte hollandais Niek De Boer qui voulait corriger deux problèmes fondamentaux : la congestion et la décomposition du paysage urbain (Reichert, 2011; Appleyard & Cox, 2006). En substance, un *woonerf* est un quartier où l'espace est utilisé pour différentes



Figure 18: Panneau d'entrée d'un *woonerf* hollandais. (wikipedia.org)

fonctions et où l'aspect du copartage est souligné. La priorité est donc donnée à la mobilité des piétons. Un *woonerf* fonctionne sans feux rouges, sans couloirs préférentiels et sans trottoirs. Il tente d'encourager, le plus possible, l'interaction des différents utilisateurs de la rue. Il fait en sorte que ceux qui utilisent ces espaces

soient obligés de prêter attention aux autres utilisateurs autour d'eux, à travers un contact visuel et une interaction directe (Hockenos, 2013). Il y a, actuellement, environ 6000 zones ou quartiers du type *woonerf* présents en Hollande (Appleyard & Cox, 2006). Ils sont reconnaissables au fait que les voitures et les piétons sont mis au même niveau. A l'entrée du quartier, a été positionnée une signalisation routière représentant, dans un rectangle bleu, des illustrations d'un enfant qui joue à la balle, des parents, d'une auto et d'une maison.

²³ « Une section ou ensemble de sections de voies en agglomération affectée à la circulation des piétons de façon temporaire ou permanente » (art. R. 110-21 du Code de la route) (CERTU, 2009)

²⁴ « Section ou ensemble de sections de voies constituant une zone affectée à la circulation de tous les usagers. Dans cette zone, la vitesse des véhicules est limitée à 30km/h. Toutes les chaussées sont à double sens pour les cyclistes, sauf dispositions différentes prises par l'autorité investie du pouvoir de police. Les entrées et sorties de cette zone sont annoncées par une signalisation et l'ensemble de la zone est aménagé de façon cohérente avec la limitation de vitesse applicable. » Code de la route - Article R110-2 (CERTU, 2008)

²⁵ Code de la route (décret 2008-754 du 30 juillet 2008) (CERTU, 2009)

La notion de *Woonerf* a été traduite en Grande-Bretagne avec le terme de *Home Zones*, introduit au niveau législatif à la fin des années 90'. C'est en 1999, en effet, qu'en Angleterre et en Écosse, naissent les 9 premiers projets pilotes de *Home Zones*, encouragés en 2001 avec un autre investissement du gouvernement britannique, de plus de 30 millions de livres (DT, 2005). En réalité, l'inspiration pour une telle approche vient d'un important rapport sur l'environnement et sur les problèmes résultant du trafic automobile²⁶, publié en Grande-Bretagne en 1963. Il reconnaissait, déjà, le risque d'un conflit causé par une approche exclusivement orientée vers la fluidification du trafic automobile et peu attentive aux dangers de « destruction du tissu résidentiel et architectural de la route » (DT, 2005). Bien que les principes fondant, à la base, l'idée des *Home Zones* soient substantiellement identiques à ceux du *Woonerf* hollandais, il existe des différences (Appleyard & Cox, 2006). La version Britannique est, en effet, principalement concentrée sur l'idée de réduction de la vitesse de circulation et de la sécurité. L'objectif principal est de réduire les accidents routiers, sans trop souligner l'idée de création de copartage de l'espace, typique par contre de la version hollandaise. La rue est, en ce cas, repensée de façon à enlever la priorité à la voiture, en construisant des parcours avec beaucoup de courbes, avec des obstacles à la circulation automobile (arbres ou meuble urbain), aptes à empêcher la circulation aux vitesses élevées et avec des parkings réduits en nombre et en surface.

La rue urbaine se transforme avec la plantation de végétaux et une organisation des espaces publics plus attractive et polyvalente, équipés pour permettre aux résidents de s'en servir pour des usages multiples. Cependant, dans le rapport du Département des Transports Britanniques intitulé "*Home Zones, Challenging the futur of our streets*", publié en 2005, on souligne que le facteur le plus important pour la réussite de ces projets est dans la capacité d'impliquer la communauté et de stimuler le processus participatif dans les différentes phases de création, de définition et de mise en œuvre du projet (DT, 2005). En substance, il ne s'agit pas d'interventions de simples *traffic calming*, mais d'une conception de la rue publique comme un endroit d'interaction et de cohabitation entre les multiples fonctions urbaines et pratiques de mobilité. Le but est donc de rendre à l'espace public sa dimension inclusive et non exclusive, calibré en fonction de la circulation des véhicules, piétons et cyclistes. En se servant de ces interactions, l'utilisateur, en particulier l'automobiliste, devra prendre ses responsabilités et circulera donc à une vitesse réduite, en respectant les autres utilisateurs de la rue. Il est intéressant de remarquer que l'expérience des *Home Zones* Britanniques a contribué à confirmer la thèse que, en présence d'interventions de requalification et régénération urbaine des espaces publics de ce type, on note des effets évidents d'augmentation des valeurs immobilières dans les zones

²⁶ The Buchanan Report, *Traffic in Towns* (1963)

intéressées. Ce phénomène se retrouve aussi dans les pratiques de commercialisation des agences immobilières pour lesquelles un immeuble situé à l'intérieur ou à proximité d'un *Home Zones* est décrit comme étant plus attractif en termes de qualité de vie, de durabilité au sens large et de sécurité (DT, 2005).

Un autre concept va au-delà de ces questions et touche à l'expérience des quartiers ou des villes sans voiture (*car free*) (Scheurer, 2001). C'est un modèle de développement urbain qui commence à se propager dans quelques villes modernes à partir du début des années 90'.

“Le développement sans voiture est une pratique récente, en réponse aux préoccupations de longue date concernant les effets des voitures sur l'environnement urbain.” (Melia, 2010)

Fondamentalement les quartiers sans voitures sont des zones urbaines « *des courtes distances* » (Robert, 2005), qui assurent la diversité sociale et dans la plupart des cas impliquent l'utilisation de matériaux durables et de systèmes d'économie d'énergie. A l'intérieur de ces quartiers l'utilisation de véhicules à moteur est considérablement limitée ou exclue. Les résidents sont encouragés à vivre sans posséder une voiture, grâce à diverses mesures, telles que : une proximité des services et des commerces, une configuration de l'espace qui favorise la mobilité active ou non motorisée (à pied ou en vélo), une accessibilité prioritaire aux arrêts de transports en commun.

L'idée est de concevoir un aménagement urbain qui *protège* la zone en question de la circulation des véhicules et, lorsque cela est autorisé, limite la vitesse de déplacement à l'intérieur, pour permettre aux résidents de profiter des espaces externes pour les loisirs et pour diverses activités, ainsi que de se déplacer librement et en sécurité à pied et en vélo.

En particulier, Heller (2008) définit quatre types ou plutôt niveaux progressifs de développement urbain sans voiture :

- *Zones sans voiture (car free)* : où le rapport entre aires de stationnement et nombre des résidents est comprise entre 0 et 0,3, et où les parkings se trouvent aux limites extérieures de la zone et avec l'interdiction de circuler en voiture dans les aires résidentielles (sauf pour les véhicules d'urgence et le chargement et le déchargement).
- *Les zones à faible trafic (reduced car)* : où la relation entre les aires de stationnement et la population est comprise entre 0,3 et 0,7, avec la présence de certaines aires de stationnement dans le quartier, avec autorisation de circulation à une vitesse réduite et conditionnée par de mesures de *traffic calming*.

- *Zones sans parking*: dans lesquelles sur demande, les habitants peuvent choisir l'option de ne pas profiter d'une aire de stationnement, en échange d'avoir des incitations fiscales et économiques pour l'achat de logement, la circulation y est réduite et limitée.
- *Les zones visuellement sans voiture*: où le système d'attribution de places de stationnement en fonction du nombre des résidents est de type classique, mais les aires de stationnement sont situées dans le sous-sol, donc non visibles, ou dans les limites extérieures de la zone.

Existent donc plusieurs exemples de zones ou quartiers sans voitures en Europe, largement cités dans la littérature spécialisée et qui sont maintenant amplement reconnu comme un exemple d'organisation et développement résidentiel, durable et alternatif au modèle orienté vers la voiture. En particulier, certains des cas les plus importants en Europe sont les suivants (Melia, 2010; Scheurer, 2001; Heller, 2008; Robert, 2005) :

- Amsterdam, *Westerpark GWL-terrein*: Achevé en 1998, comprend plus de 500 unités d'habitation, d'activités et de commerces, s'étend sur une superficie d'environ 6 ha (Bouvier, s.d.) et compte un ratio de 0,2 aires de stationnement par habitant. Les habitants de ce quartier ont signé une déclaration (de caractère purement formel et non juridique) dans laquelle ils s'engagent à "*accepter le caractère du quartier sans voiture et ne pas avoir une voiture.*"
- Fribourg, *Vauban*: Terminé en 2008, comprend environ 2000 unités de logements dans lesquels résident environ 5000 personnes. A l'intérieur du quartier il n'est pas permis de stationner et la circulation interne n'est autorisée que dans certaines zones, mais à vitesse limitée.
- Vienne, *Floridsdorf Nordmannngasse*: construit dans la fin des années 90', comprend 244 unités d'habitations avec un ratio de 0,1 aire de stationnement par habitant.
- Cologne - Nippes, *Stellwerk 60 (MAE)*: Terminé en 2011, comprend 425 unités d'habitations pour un ratio de 0,2 / 0,4 aire de stationnement par habitant.
- Berlin - Mitte, *Mauerprojekt Bernauer Straße*: Achevé en 2010, pour une superficie totale de 3000 m² qui comprend 12 unités résidentielles et ne prévoit pas d'aires de stationnement.
- Hambourg - Eppendorf, *Falkenried - Terrassen*: terminé d'être rénové en 1999, comprend 324 unités d'habitations et ne prévoit pas d'aires de stationnement. Ce projet se distingue par des autres, parce que promu en manière autonome par un groupe de citoyennes et d'activistes de la ville qui ont créé une association (« Wohnwarft ») qui s'est occupée de la planification du projet et de la construction des logements (Scheurer, 2001)

En ce qui concerne les avantages du concept de quartier sans voiture, la réduction de la congestion est certainement le plus évident (Melia & Field, s.d.). En outre, une réduction systématique de l'utilisation quotidienne de la voiture, induit une modification substantielle des modes de vie des habitants, qui ayant la possibilité de profiter d'espaces externes au sein de leurs quartiers pour des activités de loisirs, augmentent dans la plupart des cas leur sens de la communauté et d'appartenance au quartier (à travers des activités de jardinage, avec les enfants, des brocantes, etc.). Le fait qu'est encouragée l'utilisation des modes non motorisés, affecte également les conditions psychologiques et physiques des habitants, qui sont enclins, par conséquent, à développer un mode de vie plus sain.

Les principaux problèmes à l'égard de ce modèle de développement sans voiture sont plutôt liées à la possible de reproductibilité de ces interventions dans différents contextes locaux et sociaux, en particulier dans des quartiers dégradés et caractérisés par des situations de désavantage social, ainsi que la possibilité de proposer ces configurations urbaines à une échelle plus grande que celle du quartier, soit urbaine ou métropolitaine. D'autres problèmes de nature



Figure 19: Images du quartier sans voiture Westerpark GWL- terrein dans la ville d'Amsterdam (Pays-Bas). (F. Lo Feudo, 2014)

pratique sont liés à l'acceptabilité par la communauté des habitants des sévères limitations aux aires de stationnement disponibles et des conditions de circulation (Melia, 2010), ce qui implique sans aucun doute un changement dans les habitudes de mobilité et une *logistique* de la vie quotidienne, pas toujours facilement partagée et acceptée .

"Paradoxically, car free developments which provide some limited peripheral parking with charges as a disincentive may have a greater potential to change behaviour, and reduce overall car use, than developments where no parking is possible, which may only attract the most committed Car free Choosers. The importance of proximity to services for the car free Choosers would imply that successful car free developments would need to be built at relatively high

densities, as were all the European developments visited. This would be consistent with the housing and location preferences of most of the car free choosers.

Paradoxalement, le développement sans voiture, qui fournit les parkings périphériques limités et payants comme dissuasion, peut avoir un plus grand potentiel de changement des comportements et de réduction de l'usage globale de la voiture, que le développement où le stationnement n'est pas possible. [...] L'importance de la proximité des services pour ceux qui décident de vivre dans les zones sans-voiture impliquerait la création de densités relativement élevées. " (Melia, 2010)

3.5. Définition du « Transit Oriented Development »

Les principes du modèle urbain du *Transit Oriented Development* (Calthorpe, 1993) naissent aux États-Unis, dans le but de promouvoir un développement urbain et régional qui encourage l'utilisation des systèmes de transports collectifs (Cervero, 2011) et, par conséquent, dans le but de l'intégration des politiques de planification des systèmes des transports et d'usage du sol.

Calthorpe (1993) définit le *Transit Oriented Development* (TOD) comme :

«Une communauté multifonctionnelle au sein d'une zone située dans un rayon, en moyenne, de 2000 mètres de distance à pied d'un arrêt des transports collectifs et de la zone commerciale de référence. Le TOD incorpore un mélange de résidences, commerces, bureaux et espaces publics à une distance de marche, ce qui permet, aux résidents et aux employés, de voyager en utilisant des systèmes de transports collectifs, le vélo, la à pied ou la voiture.» (Calthorpe, 1993) ²⁷.

Le terme *oriented* est une clé importante, selon Cervero (2011), pour souligner que nous ne nous référons pas à une simple notion de proximité géographique mais à une idée d'organisation et de planification plus large et complète de la zone d'intervention.

"Physiquement orienté et non juste à côté du transport public."²⁸

27 "A mixed use community, within an average 2000 foot walking distance of a transit stop and core commercial area. TODs mix residential, retail, office, open space, and public uses in a walkable distance, making it convenient for residents and employees to travel by transit, bicycle, foot, or car."

28 R. Cervero, intervention à la Conférence Scientifique Internationale BUFTOD 2012 "Building the urban future and Transit Oriented Development / rail and other modes, connecting with urban and regional development", Paris – Marne-la-Vallée, April 16- 17 2012.

Quand on parle de TOD, il s'agit en fait d'un modèle urbain principalement orienté vers le développement des formes urbaines denses et compactes, avec une diversité fonctionnelle élevée, un accès prioritaire pour les piétons (Nuzzolo, 2012) et en vélo, désigné pour donner priorité à l'accès aux services de transports collectifs (Litman, 2012a) et développé également dans le but de lutter contre l'étalement et la fragmentation urbaine, la pollution et la dépendance automobile (Dupuy, 2011; Nuzzolo, 2012; Dittmar & Ohland, 2004; Cervero, 2006; Conesa, 2012; Zooneveld & Ortuno Padilla, 2012).

Le TOD est un concept qui dérive essentiellement des réflexions stimulées par le mouvement du "New Urbanism" (CNU, 2013), et qui développe ses principes de *Smart Growth*²⁹ (croissance intelligente), dans une optique plus concentrée et orientée vers les transports collectifs et vers un aménagement de type plus opérationnel. À la doctrine du *New Urbanism* qui met l'accent sur l'idée de concevoir le développement d'espaces urbains « *re-humanisés* » et avec une attention particulière à l'esthétique et au confort, à la fois du point de vue de l'architecture et de l'urbanisme (Conesa, 2012), le TOD ajoute l'intérêt prioritaire de promouvoir l'utilisation des réseaux de transports collectifs et un développement urbain qui ne nécessite pas une consommation supplémentaire des sols et qui puisse donc contribuer à ralentir sinon arrêter le phénomène d'étalement urbain. D'autre part, ces thématiques qui visent à la reconstruction de la « ville » selon de principes de compacité, mixité sociale et fonctionnelle, de priorité aux modes doux et de partage de la voirie ainsi que de cohérence et coordination entre urbanisme et transport, sont parti désormais d'une culture et d'une action de politique publique commune, à

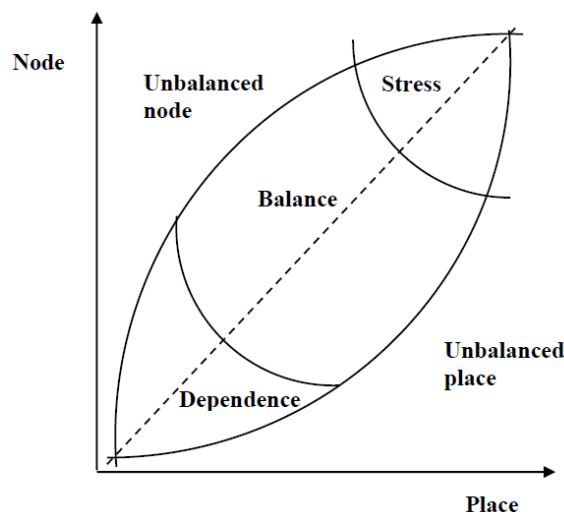


Figure 20: Le model Nœud- Lieu. (Chorus et Bertolini, 2011)

l'Europe, aux États-Unis et aux pays émergents (Massot & Orfeuill, 2007).

Litman (2012) pour définir le TOD utilise aussi l'interprétation de *Développement Multi-modal*, pour mettre l'accent sur l'aspect multiplicateur des opportunités de déplacements et d'accessibilité lié aux différents modes de transport alternatifs à la voiture. Le modèle propose donc de stimuler un développement urbain mixte, dense et intégré (Nuzzolo, 2012; Bartolini, et al., 2009) situé à proximité des gares ferroviaires, des

²⁹ Le site internet *smartgrowthamerica.org* synthétise la définition de Smarth Growth dans six principes: sécurité, convenance, attractivité, accès à l'emploi, multiplication des choix de déplacement, durabilité.

pôles d'échange ou des accès aux systèmes de transports collectifs. Le but est également de promouvoir des politiques qui encouragent et favorisent l'utilisation de systèmes de transports collectifs et une mobilité douce (à pied et vélo), qui tentent de maîtriser les impacts négatifs sur l'environnement et sur la société dus aux modèles de dispersion urbaine et de croissance fragmentée (Niles & Nelson, 1999). Il s'agit en même temps de contribuer à améliorer la qualité de vie dans les zones urbaines. Ce n'est pas, cependant, un simple développement de proximité limité à des points isolés (Wulforth, 2011) ; il est réparti et différencié dans un corridor du réseau des transports en commun, conçu de manière stratégique par rapport à la structure spatiale régionale (Cervero, 2011). En substance, le *Transit Oriented Development* consiste à concentrer le développement urbain autour des gares ou des pôles d'échange, afin d'encourager l'utilisation des transports en commun (Bartolini, et al., 2009) et, en même temps, pour aider à développer un système de mobilité collectif qui puisse connecter des zones déjà urbanisées avec de zones destinataires de projets de développement urbain. La notion de TOD est née, ainsi, en vue de souligner l'importance fonctionnelle de l'élément stratégique de la gare ferroviaire urbaine (Cervero, 2011) et d'envisager les réseaux d'infrastructures ferroviaires tels que les véritables bases et épine dorsales de la planification intégrée des transports et de l'usage du sol.

A. Nuzzolo (2012) définit le TOD comme un «*outil pour augmenter l'utilisation du réseau ferroviaire*» et pour réaménager et régénérer les zones urbaines qui entourent les gares, notamment, à travers l'introduction de «*nouveaux ensembles compacts, multifonctionnels et orientés vers les transports collectifs*». La gare n'est donc pas limitée à être un lieu avec une fonction logistique et de passage, mais est conçue comme un lieu qui peut relier un quartier, un village ou une ville avec le reste du territoire connecté au même réseau de transport. Pour développer ce concept de centralité de la gare ferroviaire et sa forte relation avec le fonctionnement urbain environnant, L. Bertolini (2011) a développé le modèle «*node-place*» (nœud et lieu), avec l'objectif de déterminer les facteurs liés aux transports et à l'usage du sol qui influencent les dynamiques de renouvellement et de réaménagement des zones environnantes une gare ferroviaire (Chorus & Bertolini, 2011). Il s'agit d'une méthode qui peut être utilisée pour évaluer et déterminer les potentialités et les dynamiques des transformations des zones environnant les gares ferroviaires et donc pour analyser les perspectives de Transit Oriented Development (Chorus & Bertolini, 2011). Dans les détails le modèle «*node-place*» sert à définir les potentialités de développement d'une gare ferroviaire, en indiquant cinq différentes conditions dans lesquelles peut se trouver la gare par rapport à sa fonction de *nœud* et *lieu* (Chorus & Bertolini, 2011).

- *Équilibrée*: zone située dans part médiane du graphe qui correspond à une situation d'équilibre entre les fonctions de *nœud* et de *lieu* et donc d'interaction entre transport et usage du sol.
- *Stressée*: zone déjà intéressée par un développement fort des deux fonctions de *nœud* et *lieu* et avec une possibilité d'extension problématique à cause d'une disponibilité foncière insuffisante et des risques des situations de conflit entre *nœud* et *lieu*.
- *Dépendent*: zone où interviennent des facteurs extérieurs pour permettre de faciliter les dynamiques internes à l'ensemble *nœud-lieu*.
- *Nœud déséquilibré* : structure déséquilibrée au détriment de la fonction de nœud de transport.
- *Lieu déséquilibré* : situation déséquilibrée au détriment des activités urbaines.

L. Bertolini quand il se réfère à des types de zones de gare en condition " *déséquilibrée*" entend, en accord avec la notion de cycle de feedback entre transport et usage du sol, des situations au grand potentiel de développement qui peuvent tendre dans le temps vers un état plus équilibré (Chorus & Bertolini, 2011). Une situation de " *Nœud déséquilibré* " peut développer sa fonction de *lieu* en attirant des nouveaux développements urbains, mais peut également diminuer sa fonction de *nœud* dans le cas d'une diminution des services de transport. Une situation de " *Lieu déséquilibré* " peut développer ses fonctions de *nœud* grâce à des améliorations de connectivité et d'accessibilité ou réduire sa fonction de *lieu* si intéressée par des phénomènes de de-densification (Chorus & Bertolini, 2011). La résolution de cette tension entre le rôle de *lieu* ou *nœud* d'une gare, représente chez Dittmar et Ohland (2004) un des cinq facteurs essentiels pour le succès d'un projet de TOD (avec une localisation efficiente des logements; une large mixité des fonctions; la capacité de produire de la valeur ajoutée pour les municipalités, les entrepreneurs, les propriétaires et les résidentes; les effets sur l'environnement urbain « *place making effet* »).

La combinaison entre accroissement et encouragement de l'offre ferroviaire au niveau régional et le modèle urbain du TOD exerce une influence positive sur le développement et à la consolidation des économies régionales, en favorisant un développement territorial polycentrique ainsi que l'amélioration des niveaux de productivité, d'occupation et donc d'efficacité territoriale :

“Les systèmes régionaux de transport ferroviaire, avec du développement urbain autour des gares, ont tendance à soutenir le développement économique régional en encourageant un usage du sol polycentrique et efficace.” (Litman, 2012b)

Chatman (2012) cependant affirme que dans les interventions de type TOD, la proximité et l'accessibilité aux services ferroviaires n'est pas suffisante pour réduire significativement l'utilisation de la voiture particulière, sauf si les facteurs se combinent avec d'autres facteurs liés à l'offre de parkings, aux typologies d'habitat et à la qualité de l'offre en transports en commun. Dans son analyse Chatman réduit donc l'importance du facteur *T* (qui représente le Transit, signifiant les transports en commun) dans les interventions de TOD.

L'effet réseau par contre peut être représenté dans l'idée de *Transit Oriented Corridor* (TOC) (Cervero, 2011), c'est-à-dire dans la diffusion et la multiplication des plusieurs interventions de TOD proposées en série, tout à long d'un axe de transport en commun (de train, de tramway ou de bus) urbain, suburbain ou régional. Cette vision vise à la création d'une combinaison entre développement urbain et transport, qui conduit à former des axes structurants de transports collectifs avec des nœuds (correspondants aux gares ou aux arrêts) très attractifs pour la demande localisée dans leurs alentours. L'objectif est cependant de créer un réseau équilibré, avec des flux de transport équilibrés et bidirectionnels, et avec un développement urbain concentré le long de l'infrastructure et en vue de limiter l'étalement urbain et la consommation d'espace.

"La planification des corridors peut stimuler des investisseurs, en stimulant des processus de planification rentables, et en identifiant où le long de l'ancien ou nouveau ligne de transport collectif le marché foncier serait plus attractive. [...] Une région comprend de nombreux corridors de transports en commun, chaque corridor comprend de nombreuses stations, et chaque station comprend de nombreuses parcelles de sol. La planification TOD peut commencer de l'échelle plus petite échelle et agrandir le spectre, ou d'une plus grande échelle et après descendre. Mais la planification à tous les échelles doit être coordonnée." (Thorne-Lyman & Wampler, 2013)

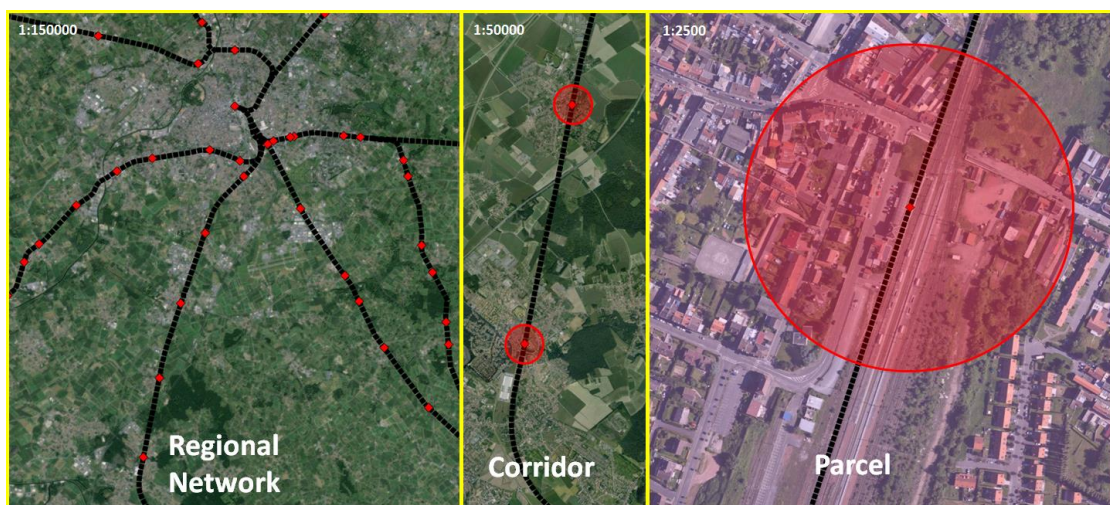


Figure 21: Les échelles du TOD. (Thorne-Lyman & Wampler, 2013)

Il est intéressant de tout façon de voir comment les concepts et les principes théoriques qui sous-tendent le modèle urbain du TOD ne sont pas tout à fait innovants et récents (Leysens, 2011). L'idée d'une ville compacte, développée le long des axes des transports en commun soutenue par une mobilité douce et de proximité, peut être trouvée déjà dans les principes de la planification urbaine du XIX siècle (Leysens, 2011). Même H. Dittmar et G. Ohland (2004) affirment en fait que TOD se réfère essentiellement à des principes de planification non entièrement nouveaux. Notamment les origines et les références les plus importantes de la théorie du TOD peuvent se retrouver dans le concept de *Cité Jardin* (*Garden City*) (Howard, 1898) et de *Cité Linéaire* (Soria y Mata, 1894). Le premier a été introduit par E. Howard (1898) et s'agit d'une modèle urbain, conçu en opposition à la cité industrielle et métropolitaine et promoteur d'une condition *hybride* d'urbanité tournée vers la campagne et la nature. Howard décrit, toujours encouragé par son sentiment *urbaphobe* (Cavin, 2007), une ville auto-suffisante et accessible, limitée par rapport au nombre d'habitants et à l'extension en surface, qui présente en même temps les avantages de la vie en ville et de la vie en campagne. Elle est connectée dans un système polycentrique avec autres villes jardins, séparées entre elles par des ceintures vertes (la *Cité Sociale* ou *Social City*) (Howard, 1902). Une telle notion a certainement fasciné plusieurs urbanistes et architectes dont Le Corbusier³⁰ qui développe à son tour le concept de *cité jardin verticale* (Antoni, s.d.), que n'a pas manqué de susciter plusieurs critiques par son caractère utopique (Cavin, 2007). Une autre référence importance est celle de la *Cité Linéaire*, conçue par l'espagnol Arturo Soria y Mata (1844 - 1920), comme une alternative radicale au modèle traditionnel de ville compacte et qui se développe autour du centre historique originaire (Coudroy, s.d.). Dans la "*Ciudad lineal*" de Soria y Mata l'infrastructure de transport (ferroviaire ou de tramway) devient la «*matrice*» de la structure urbaine, caractérisée par un haut niveau d'accessibilité piéton grâce à des promenades transversales et un habitat pavillonnaire, construit à proximité de l'axe de transport et organisé en îlots de densité moyenne. On peut cependant conclure que les apports et les nouveautés significatives introduites par le modèle du TOD se trouvent principalement dans le but d'adapter ces principes à la complexité et à la «*vitesse*» des villes contemporaines, en essayent de créer une alternative au modèle urbain *auto-centré*, qui a fortement caractérisé les choix en terme de planification et aménagement du territoire dans les dernières décennies. L'augmentation de la vitesse des systèmes de transport modernes permet de réduire la relation espace-temps et donc d'allonger les distances moyennes et de faciliter la liberté de mouvement. Le TOD tente donc d'intervenir dans une telle complexité en agissant sur la conception urbaine, la planification stratégique et opérationnelle des transports, le gouvernement du territoire et, en particulier, sur l'effet culturel de promotion d'un style de vie

³⁰ Cité-jardin aux Crétets, La Chaux-de-Fonds, Suisse, 1914 ; La Cité Frugès à Pessac, France 1926

plus ouvert à la socialité et au partage et caractérisé par des pratiques quotidiennes plus durables.

La théorie du TOD a par contre également inspiré plusieurs chercheurs, dans leur proposition de modèles de développement spécifiques, basés sur des principes communs avec le TOD. C'est le cas par exemple de la *Ville Creuse* de J.L. Maupu (2006), modèle de *ville durable*, construit avec l'idée de densifier selon un principe de mixité fonctionnelle, et fondées sur une boucle de transport en commun, connectée à d'autres boucles. D. Mangin (2005) reprend et réinterprète aussi le concept d'urbanisme des transports en commun pour faire face à la *victoire de l'automobile et à son impact sur l'urbanisation*, et propose *l'utopie concrète de la ville passante et métisse* :

« Une ville où on cesse de juxtaposer des environnements fermés, sécurisés, mais très dépendants de l'automobile, et qui doivent continuellement être contournés pour se rendre d'un lieu à l'autre, et où on limite la vitesse des voies rapides pour les rendre traversables et permettre un accès plus facile à l'école, à la supérette, à l'arrêt de transport en commun ». (Mangin, 2005)

Enfin il est intéressant rappeler le concept de *ville cohérente* (M.H.Massot, et al., 2013), en contrepoint de la *ville compacte* et de *courtes distances* qui vise à mettre en place un développement territorial et urbain en cohérence, qui promeut la proximité entre les lieux de travail, les résidences et les services. A la place de connecter tous à tous à travers les modes de transport en commun, l'idée c'est de régler les déséquilibres urbains entre les fonctions et ressources du territoire. Selon T. Leysens (2011), l'innovation dans la thématique du développement urbain orienté vers les transports collectifs se retrouve dans les outils à mettre en œuvre pour venir en aide à la sphère décisionnelle et opérationnelle qui s'occupe de la mise en œuvre opérationnelle de ces principes. Les objectifs du TOD sont, donc, à la fois spatiaux et socio-économiques (Conesa, 2012) et cette perspective d'une intervention aussi large et vaste, se reflète, comme nous le verrons plus tard, dans une complexité et une difficulté de mise en œuvre remarquable et notamment liés à une multiplicité d'acteurs et de facteurs, à la fois «*exogènes*» et «*endogènes*» (Tan, 2012), qui influent sur le succès éventuel et ,souvent, dépendant des différents contextes spécifiques d'application. Il s'agit donc d'une approche de planification intégrée des transports et d'usage du sol qui évolue d'un niveau «*micro*» à un niveau «*macro*» (Nuzzolo, 2012), car amplifié par l'ampleur de l'intervention. Elle n'est pas seulement limitée aux espaces situés autour des gares et se décline dans des multiples objectifs, par rapport au réaménagement, à la régénération du territoire et à l'augmentation de l'accessibilité territoriale (Nuzzolo, 2012).

3.5.1. Les objectifs et principes à la base du TOD

Les objectifs liés spécifiquement à la mobilité, envisagés par la stratégie de planification et développement urbain du TOD, sont substantiellement ceux de limiter l'utilisation de la voiture comme mode de transport principal et de réduire le taux de possession moyen de voiture ainsi que la quantité totale de déplacements effectués. Le principe fondamental est celui d'optimiser et de rationaliser la demande de transport et de transférer la majeure partie du besoin de mobilité vers les services de transports collectif et vers la mobilité douce (à pied et en vélo). Il s'agit des pratiques de mobilité plus durables et porteuses de qualité urbaine et de vie, qui peuvent trouver un développement principalement dans des contextes urbains conçus avec une attention particulière au design urbain, à la mixité fonctionnelle et à l'accessibilité. En lien avec ces aspects plusieurs études comme celui de T. Litman, ont démontré par exemple dans des villes dotées d'un système des services ferroviaires bien structuré et développé, que les habitants conduisent 12% de moins que dans des villes avec des services ferroviaires de plus faible qualité et 20% de moins que les habitants des villes qui ne sont pas desservies par un service de transport urbain (Litman, 2004).

Les principes soutenus par la théorie du TOD sont définis dans les «trois D»: *Densité*, *Diversité* et *Design* (Cervero & Kockelman, 1997). Nous nous référons, en fait, à un développement urbain dense ou moyennement dense (Cervero, 2006) et multifonctionnel («mixte»), qui donne la priorité à la mobilité des piétons et qui fournit un système accessible, de qualité et avec un accès aisé aux arrêts de transports en commun. Le principe est d'améliorer la connectivité des différentes fonctions urbaines et de concentrer la densité résidentielle et l'emploi dans le voisinage des nœuds et des pôles stratégiques d'échange des transports collectifs (Niles & Nelson, 1999).

Une telle recherche de diversité des fonctions et de densité se traduit, du point de vue de la mobilité, par le fait de réduire la distance et la quantité moyenne des déplacements quotidiens, en concentrant, justement, la présence d'activités économiques, commerciales et services le plus possible à proximité des zones résidentielles. Contrairement à la voiture particulière, qui est le mode de transport, le plus adaptable à un environnement urbain dispersé et à faible densité, les transports en commun souffrent d'un manque de flexibilité et sont connus

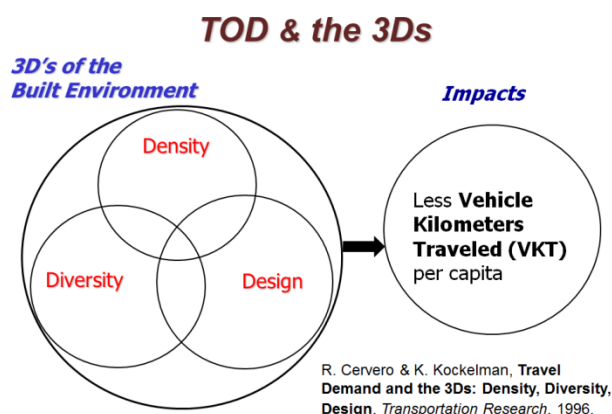


Figure 22: Les trois D du TOD. (Cervero et Kockelman, 2012)

pour être plus efficaces dans les régions de forte densité (Bartolini, et al., 2009) quand ils sont effectivement accessibles à partir des modes de déplacements non motorisés (à pied, vélo).

« Transit Oriented Development (TOD) concerne les aires résidentielles et commerciales conçues pour maximiser l'accès aux transports en commun » (Litman, 2012a).

Par rapport au choix de mobilité, le modèle urbain du TOD se fixe donc l'objectif d'intégrer deux niveaux et échelles de mobilité différents (Conesa, 2012): d'une part, l'échelle métropolitaine et régionale, associée aux systèmes de *transit* de masse (train, métro) et, de l'autre, la mobilité urbaine et de proximité, donnant, le plus possible, la priorité aux piétons et aux cyclistes. Sung, Kim et Shin (2012) observent que les facteurs fondant le modèle TOD sont ceux des *6D*, avec trois facteurs en plus liés à l'accessibilité aux systèmes des transports collectifs : la *Distance*, l'accessibilité à *Destination* (*Destination accessibility*) (Cervero & Murakami, 2008) et la gestion de la *Demande* de transport en voiture (*Demand management*).

Ces facteurs supplémentaires sont proposés car l'expérience a montré que la dépendance de la voiture peut être considérablement réduite quand il y a des niveaux élevés d'accessibilité vers les réseaux du transport en commun et les formes de mobilité non motorisée (SUNG, et al., 2012). Sur le thème de la relation entre les changements de choix modaux et le TOD, le rapport *"The Effect of Smart Growth Policies on Travel Demand"* (2012) cite plusieurs auteurs et recherches qui ont démontré que la proximité entre logements et les gares ferroviaires peut stimuler la demande de transports en commun (Cervero & Kockelman, 2012). Toutefois en France le travail réalisé sur Anse (banlieue lyonnaise), montre plutôt le contraire. En particulier cette tendance est facilitée si de fortes connexions piétonnes vers les accès des gares existent. Ces résultats sont également confirmés dans le cas des employés qui ont leur lieu de travail situé près d'une gare ou pour les achats, quand les centres commerciaux sont situés à proximité des nœuds d'échange ferroviaire ou des transports en commun (Cervero & Kockelman, 2012). L'accessibilité est donc un concept fondamental de la théorie du TOD. Luca Bertolini (2009) note que le TOD facilite l'augmentation des niveaux d'accessibilité car il contribue à créer des structures urbaines qui multiplient les choix de transport, et Alexis Conesa (2012) que les bons niveaux d'accessibilité sont une *«condition sine qua non»* pour une efficacité des interventions de TOD. Ce sont, apparemment, des déclarations contradictoires mais, en réalité, elles montrent comment les deux aspects (accessibilité et TOD) sont étroitement liés, et probablement de manière différente selon les cas. Une étude sur la mesure de l'accessibilité et du lien entre l'accessibilité et les stratégies de gestion de l'usage du sol, visant la mise en œuvre d'un système urbain centré autour des gares et le long des réseaux ferroviaires, a également été développé

dans le cadre du projet de recherche franco-allemande *Bahn.Ville* (Leysens, 2011; L'Hostis, 2009). Ce projet vise précisément à concevoir des principes et des actions qui puissent contribuer à la mise en œuvre d'un "*urbanisme orienté vers le rail*". Le projet *Bahn.Ville* recommande d'aborder le renouvellement urbain et la densification des espaces libres (*«friche»*), situés dans les zones déjà urbanisées car, de cette manière, il est possible de créer des zones à forte densité, tout en préservant la présence d'espaces verts et de maintenir des niveaux élevés de qualité de vie (Leysens, 2011).

En termes d'accessibilité vers les transports collectifs, plusieurs études (Litman, 2012a; Ewing & Cervero, 2010) ont confirmé que les résidents et les employés qui habitent dans des zones caractérisées par des interventions de TOD, grâce à la plus grande proximité et à la facilité d'accès aux arrêts des transports en commun, tendent à utiliser en manière plus élevée ce mode de déplacement à la place de la voiture individuelle. Cette condition de proximité permet donc de multiplier les opportunités de mobilité et l'accessibilité aux transports en commun devient donc une cause de réduction des taux de possession des voitures.

Sur la question de la configuration urbaine la plus adaptée à des interventions de TOD, Armando Ortuno (2012) affirme qu'un système monocentrique urbain ou régional apparaît plus approprié pour créer des conditions de succès pour l'implantation d'une intervention de TOD. La raison vient du fait que la présence d'une ville *leader* (*«ville principale»*) peut aider à simplifier le processus administratif et la coordination entre les différents acteurs intéressés. Les municipalités des communes les plus petites peuvent se joindre et avoir confiance dans les décisions et les directives provenant de l'administration de la ville *leader*, en évitant, de cette manière, des conflits de compétences et de responsabilités.

Cependant sur le rapport entre le modèle du TOD et les formes différentes de développement territorial urbain et régional, la réflexion d'A. Conesa (2012) est intéressante, car il s'interroge sur le rapport entre TOD et polycentrisme, en se demandant si le TOD contribue à favoriser, d'une façon ou d'une autre, la promotion du modèle polycentrique. Bien qu'il y ait des objectifs communs entre le TOD et le paradigme du polycentrisme (politiques alternatives au *«tout voiture»*), l'étude conclut qu'il existe des différences considérables d'échelle entre les deux modèles. Le TOD ne produit des effets significatifs que dans les centres urbains métropolitains, tandis que le polycentrisme vise plutôt à créer une répartition équilibrée des fonctions urbaines, visant à mettre en évidence plusieurs centralités, correctement reliées les unes aux autres. En substance, le polycentrisme s'occupe des hiérarchies urbaines pendant que le TOD se réfère, plus spécifiquement, aux problématiques d'usage du sol. A. Conesa (2012) cite, à cet égard, le cas de villes européennes qui sont généralement équipées d'un centre historique dense et attrayant et donc, territorialement, dominant, à l'égard des interventions des TOD

périphériques. La conclusion est que le TOD peut aider le polycentrisme mais seulement s'il est accompagné par un système de services de transports collectifs intermédiaires à haut niveau de service. Au sujet de la relation bidirectionnelle entre polycentrisme et TOD, T. Leysens (2011) estime également qu'un aménagement polycentrique, organisé autour d'un système de transports collectifs lourds, correspond aux principes du TOD et à une organisation urbaine durable, fondée sur une densification locale et sur un renforcement des pôles secondaires. Il est vrai aussi que si, dans les zones urbaines, le TOD prévoit le remplissage et le réaménagement des vides urbains existants à proximité des axes et des pôles d'échanges ferroviaires et des transports publics, à grande échelle, il est conçu pour promouvoir un développement métropolitain de type polycentrique (Papa, 2009) qui se compose de plusieurs pôles stratégiques et attractifs («*transit village*»), qui sont caractérisés par des niveaux élevés de densité de population et d'emploi et par un intense et compact mélange fonctionnel d'activités. Le TOD est donc devenu un enjeu essentiel dans le débat relatif au développement durable des zones urbaines modernes, qui considère l'importance de concevoir des méthodes et modèles de planification des transports et d'aménagement du territoire, plus efficaces et innovantes et qui maximise le potentiel des zones déjà urbanisées, en réduisant et luttant contre l'excessive consommation du sol. Les principes énoncés dans la conception du modèle urbain du TOD continuent, également, à susciter un intérêt croissant, en partie parce que le TOD est perçu comme une réaction à la planification axée exclusivement sur la voiture (Cervero, 2011). La littérature, cependant, est d'accord sur l'utilité d'associer le développement urbain et la planification des transports collectifs. Les principaux bénéficiaires de ce schéma de développement urbain sont certainement les opérateurs de transport grâce à l'augmentation des utilisateurs et à la meilleure visibilité qu'offre ce type de projet. Les opérateurs et les investisseurs du secteur immobilier bénéficient également de ces opérations qui, comme on le verra plus tard, conduisent souvent à une augmentation considérable de la valeur foncière des terrains. Mais, c'est surtout la population et donc la communauté des résidents et des usagers des services de transport qui sont, potentiellement, les plus touchés par les avantages résultant des interventions du TOD (Porter, 2004).

L'augmentation et la variété d'opportunités et d'attractivité des zones touchées par les phénomènes de *développement urbain axé sur le transport en commun*, sont en fait des valeurs ajoutées pour les résidents, qui reçoivent un avantage tant du point de vue économique (dynamisme économique qui apporte de nouvelles possibilités d'emploi), que du point de vue du niveau général de leur qualité de vie.

3.6. La gestion de la densité et l'impact social du TOD

Le thème de la densité et de la densification est central dans l'étude et l'analyse du modèle du *Transit Oriented Development* (TOD) mais aussi dans le contexte d'analyse des facteurs qui influencent le plus le processus de l'interaction entre les systèmes de transport et l'utilisation du sol. Mais le thème majeur pour le planificateur n'est pas de créer plus ou moins de densité mais de planifier et gérer cette densité. À cet égard, R. Cervero (2011) affirme que : «*L'idée n'est pas seulement la densité mais aussi une densité bien conçue, bien gérée*».

Il est donc nécessaire de préciser que la simple mise en œuvre des politiques de densification ne peut être considérée comme suffisante pour la réussite d'une politique de réduction de l'auto-dépendance, ni pour le succès des interventions de TOD. La question de la densité urbaine, est en fait assez complexe et dépend de nombreux facteurs. Le concept de la densité urbaine est, en effet, généralement associé à l'image de la *bétonisation* sauvage, avec des grands ensembles composés de tours de qualité architecturale douteuse. En fait, si on considère l'exemple d'un terrain d'un hectare, 15 maisons individuelles sont en mesure d'offrir la même densité qu'une tour de six étages. Si on observe en outre que l'empreinte au sol des grands ensembles de logements collectifs, prévoit normalement des larges surface dédiées aux parkings, on peut conclure que l'occupation du sol peut être équivalente à celle des maisons individuelles.

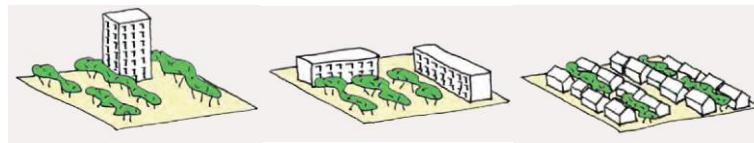


Figure 23: Trois formes urbaines qui ont la même densité à l'îlot. (CERTU, 2010)

La hauteur des bâtiments n'est donc pas un véritable indicateur de densité et en conséquence la présence importante de bâtiments collectifs ne correspond pas obligatoirement à des niveaux élevés de densité (Guet, 2011). De la même façon, la densité ne signifie pas automatiquement une baisse de l'étalement urbain parce que la demande du marché immobilier qui se réfère à des zones denses ou dispersées ne correspond pas aux mêmes types de clientèle (Lo Feudo & Festa, 2012). En particulier, certains chercheurs (Cervero, et al., 2004) ont fourni une indication assez précise des niveaux de densité de population qui peuvent être associés aux différents types de systèmes de transports. Avec une densité de 15 logements par hectare résidentiel net, il est possible de prendre en charge un service de bus de base en milieu urbain, avec des fréquences de 1 ou 2 passages par heure. Pour des fréquences plus élevées, c'est-à-dire des 4 passages l'heure, un service de bus peut être soutenu par une densité de 30 logements par hectare. Si nous nous référons, par contre, à un service de métro léger, les densités d'habitation peuvent partir d'un minimum de 20 unités d'habitation par hectare voire de 25 unités

d'habitations par hectare pour un service de métro souterrain (Cervero, et al., 2004). Cependant, même en tenant compte du fait que dans les grandes zones urbaines, à une plus grande densité de population correspond une diminution du nombre de déplacements de proximité (Newman & Kenworthy, 1999), cela ne se produit pas de la même manière dans les zones rurales et les petites villes. Dans la ville compacte et intense, caractérisée par une forte densité et une urbanisation continue (Leysens, 2011), il peut y avoir des effets secondaires inattendus comme l'augmentation de la congestion ou la substantielle incapacité d'accomplir les déplacements du type "*périphérie - périphérie*" (Pouyanne, 2004). Dans les zones rurales ou suburbaines, en outre, en étant interdépendants des villes voisines (travail, bureaux et services différents), les interventions de densification n'enregistrent pas des impacts significatifs sur la quantité et la distance moyenne des déplacements journaliers (CERTU, 2010). Une autre caractéristique est due au prix des terrains qui, s'ils sont destinés à une plus grande densification, enregistrent, inévitablement, de fortes augmentations de valeurs dont bénéficient surtout les propriétaires fonciers (CERTU, 2010). Les interventions de densification autour des gares ferroviaires suburbaines et périphériques, si elles ne s'insèrent pas dans un plan territorial, peuvent donc amener au développement de quartiers dortoir et à la délocalisation des résidents des centres urbains (Papa, 2009). Il faut en outre prendre en considération qu'existe un problème d'acceptation par une grande partie de la population des interventions de densification et surtout de l'idée d'habiter dans une maison située dans un quartier dense, plutôt que en zone rurale et étalée. Le CERTU sur cette question affirme que 80% des Français préfère habiter dans une maison individuelle mais est aussi intéressé à vivre dans des contextes caractérisés par une meilleure qualité de vie (Guet, 2011). Le CERTU fournit en outre quelques données par rapport aux dynamiques liées à la densité urbaine. En particulier, dans le document "*L'essentiel. La densité urbaine*" est observée que l'urbanisation et la dispersion urbaine sont deux phénomènes qui peuvent se vérifier en même temps si la surface moyenne utilisée par chaque habitant augmente en même temps. Pour rendre plus acceptable pour la population l'idée d'habiter en zones caractérisées par niveaux de densité élevés, existent différentes stratégies et solutions urbanistiques qu'il est possible d'adopter. À cette intention on considère neuf critères à adopter pour rendre les opérations de densification urbain plus acceptable et positivement perçues par les habitants, exposés dans une étude réalisée par l'institut d'Urbanisme de Lyon (Bonnefoy, et al., s.d.). Les neuf critères et les aspects fondamentaux à considérer sont les suivants (Bonnefoy, et al., s.d.):

- *La disposition et la configuration des parcelles*: Il est préférable de différencier la taille et la forme des parcelles adjacentes et des bâtiments (au moins du 20 %), en évitant la monotonie et en privilégiant la variété et l'intégration avec le bâti présent. La disposition

des bâtiments et des parcelles doit être conçue de façon à permettre phénomènes de mutation fonctionnelle, de modularité et d'ultérieure densification (faculté d'adaptation).

- *L'offre de parking:* doit être aménagée suite à une réflexion générale sur le rôle de la voiture dans le cadre du fonctionnement de la zone d'intervention. L'offre de parking en nombre des places ne doit pas être excessive en regard du nombre d'habitations et de la quantité de surface utilisée pour chaque place et doit permettre d'assurer une fluidité suffisante des parcours piéton.
- *La disposition des bâtiments en regard des autres bâtiments:* on doit privilégier l'irrégularité dans le positionnement et dans la distance entre les différents bâtiments et si possible grouper les bâtiments de façon à créer des espaces communs d'accès et appropriation facile par les habitants.
- *La disposition des bâtiments par rapport à la surface disponible:* la surface non bâtie doit être traitée de façon à assurer la présence de zones vertes accessibles aisément et à éviter la création d'espaces inutilisables. Le traitement des espaces de transition entre public et privé peut prévoir un alignement des constructions plus ou moins proche du réseau routier et être conçu de façon à laisser aux habitants une autonomie suffisante pour préparer et organiser de tels espaces.
- *L'ouverture visuelle et la respiration:* la vue panoramique et les espaces ouverts sont habituellement perçus comme des éléments positifs et contribuent à atténuer la perception de densité. Pour ce motif vont prévus des pauses et des vides de transition entre les différents bâtiments.
- *Les espaces communs et collectifs:* ils représentent un élément fondamental à valoriser pour permettre aux habitants de s'approprier du milieu urbain et d'en renforcer l'identité. Ces espaces doivent servir à créer une centralité et à fournir des moments de sociabilité et de convivialité entre les habitants et de distraction pour les enfants. On suggère de prévoir un statut semi-public (es. prévoir la fermeture de telles espaces pendant la nuit et un caractère variable et modulable).
- *Le rapport avec la pente:* il faut chercher de privilégier les faibles pentes et si ce n'est pas possible, d'utiliser les pentes pour créer des espaces d'intimité pour valoriser la vue vers le paysage environnant.
- *Le traitement des limites:* les limites ne doivent pas être trop nettes et continues et donc devenir des instruments d'isolement, mais plutôt contribuer à assurer l'intimité nécessaire et une transition graduelle entre l'espace privé et public. Doit être privilégié

le plus possible l'usage des plantes et des arbres comme éléments de frontière, qui permettent une intégration facile avec la place environnante.

- *La diversité des matériaux et des volumes*: le principe de favoriser la diversité des matériaux pour éviter la répétitivité et la monotonie des typologies constructives et des formes urbaines, est utile pour favoriser la diversité fonctionnelle du bâti.

Du point de vue social et donc de l'impact sur les dynamiques internes à une communauté de citoyens, la densification prévue dans les interventions de TOD, peut selon ses promoteurs permettre d'atteindre potentiellement des degrés d'interaction humaine dans l'espace public qui sont très difficiles, voire impossibles, à réaliser dans les zones caractérisées par un urbanisme principalement orienté vers la voiture (Bartolini, et al., 2009).

Sur cette thématique de la fonction sociale du TOD, plusieurs auteurs affirment que les communautés d'habitants des zones intéressées par des interventions de TOD peuvent aspirer à une condition de vie plus vivable et qualitative (CLC, 1996). Les "*Center for Transit Oriented Development*"³¹ (CTOD) prévoit en fait une augmentation générale de la demande de logements situés à proximité des transports collectifs et des pôles d'échange (CTOD, 2004), et le document intitulé «*Les familles et le Transit Oriented Development*» soutient la thèse que le TOD est attrayant aussi pour les familles, en promouvant la création d'une sorte de "*Communauté Complète*". Il s'agit d'une idée d'organisation sociale à laquelle aspire idéalement le modèle urbain du TOD (CTOD, 2012), caractérisé par un sens du partage et de la solidarité, par la facilité d'accès au logement, à l'éducation, à une santé de qualité, à l'emploi et à la mobilité. Plus généralement de ces considérations idéalistes et triomphalistes, on partage surtout l'idée que le TOD représente une opportunité, grâce notamment au concept de densification autour des gares, pour essayer de recréer au niveau social, les conditions pour la renaissance de *Transit Communities*. Avec ce terme on se réfère aux quartiers résidentiels traditionnels, typiques de la période précédant la seconde guerre mondiale et donc à l'introduction massive de la voiture dans la vie quotidienne et à la naissance des « *auto-communities* » (Cervero, 1998). Dans ces quartiers et communauté de citoyens, la pratique quotidienne d'une mobilité non motorisée ou recourant aux transports en commun, contribuait en même temps à consolider une forme d'équilibre social, stimulée par le contact direct entre les habitants du quartier et donc une dynamique sociale moins individualiste par rapport à aujourd'hui et plus encline à la socialité et

³¹ Le CTOD, « Centre for Transit Oriented Development » est une organisation à but non lucratif Américaine qui s'occupe de recherches sur les outils et méthodes pour l'implantation du TOD, en analysant les *best pratics* et en collaborant avec des organismes publics et privés dans l'optique de concevoir des stratégies pour le développement des communautés de plus en plus orientées vers le transport collectif. Le CTOD travaille pour intégrer l'aménagement local et régional, pour engendrer de nouveaux instruments de développement économique, immobilier et d'entrepreneurs, en suivant les débuts de durabilité et de TOD.

au partage. Les phénomènes de proximité des fonctions et ressources urbaines, de réappropriation des espaces extérieurs par les habitants, notamment de la route par les différents modes de transport, ainsi que de réintroduction d'une esthétique architectonique accompagnée par des méthodes de construction écologiques et durables, encouragés par le TOD, semblent en fait pouvoir conduire à un sorte de recomposition sociale, c'est-à-dire à une réconciliation des habitants des villes avec le rythme de vie moderne.

3.7. Exemples de bonnes pratiques du TOD

Quoique la genèse de la théorie du *Transit Oriented Development* naisse et se développe principalement aux États-Unis et bien qu'il existe, actuellement, une centaine d'exemples de TOD présents aux USA, ce pays reste représentatif, de toute façon, de la société qui, dans le monde, est la plus dépendante de façon structurelle, de la voiture et ne peut pas être considéré comme un modèle et un terrain idéal pour examiner et analyser les effets et l'applicabilité du TOD (Cervero, 2006). Cependant Niles et Nelson (1999) affirment que le TOD est devenu un thème dominant du débat sur les pratiques et les paradigmes de croissance et de développement urbain aux États-Unis. Irvine (2013), en outre, observe que dans plusieurs cas, à cause d'une diversité d'interprétation du concept de TOD, un grand nombre de projet reçoit le *label* de TOD sans effectivement en posséder les caractéristiques : parfois à cause d'un manque



Figure 24: Le *Finger Plan* de Copenhague.

lié à la faible qualité d'accessibilité piétonne ou cyclable, ou d'un problème d'absence de mixité des fonctions, parfois il s'agit d'une excessive dotation en parkings par rapport à la population (Irvine, 2013). Le risque est d'appeler TOD ce qui relève essentiellement du *Transit Adjacent Development* (TAD), donc d'un développement urbain pas forcément coordonné avec les réseaux de transports collectifs et encore *auto-dépendant* (Irvine, 2013).

Robert Cervero (2006) indique, toutefois, qu'au niveau mondial, les exemples de TOD, qui ont le plus de succès, ont été développés en Europe et, particulièrement, en Scandinavie. En particulier, le «*Finger Plan*» de Copenhague et le «*Planetary cluster plan*» de Stockholm sont cités comme des exemples d'excellence dans ce domaine. Dans le cas de Stockholm, on a, par exemple, réussi à créer un équilibre entre les densités résidentielles et d'emploi localisées en

ville et dans les communes périphériques. Ainsi, les flux des passagers le long des axes ferroviaires suburbains sont le plus possible équilibrés dans les deux sens.

Mais l'aspect, le plus intéressant, est que le réseau ferroviaire a été construit avant que les résidences et les activités économiques, qui justifient l'ampleur de l'investissement aient été créés (Cervero, 2011).

A Stockholm, par conséquent, le développement urbain a suivi la direction de corridors ferroviaires spécialement prévus et conçus à cet effet. Actuellement, la ville est l'un des rares endroits au monde où l'utilisation de la voiture est en diminution constante (Cervero, 2006;

Cervero, 2011). Il s'agit d'un cas qui montre, de manière concrète, comment, en présence d'une volonté politique claire et d'une capacité d'organisation opérationnelle forte, les processus d'urbanisation peuvent être structurés en suivant la configuration des réseaux du transport collectif (Leysens, 2011). En Hollande, les gouvernements régionaux et nationaux, l'opérateur ferroviaire national *Dutch Railways* (NS) et le gestionnaire du réseau ferroviaire national *Prorail*, ont implanté, depuis 2006, un ambitieux projet régional de TOD nommé



Figure 25: Extension géographique et liste des acteurs porteurs du projet StedenbaanPlus. (www.stedenbaanplus.nl)

StedenbaanPlus, avec le but de réaliser différentes interventions de densification urbaine et d'accroissement des niveaux de connexion et d'accessibilité vers plus de 30 gares ferroviaires de Randstad. Il s'agit d'un projet de TOD avec un approche à l'échelle régionale, qui prévoit, par exemple, de construire environ 80% des nouveaux logements, sur un total de 40 000

habitations³² à proximité des 36 stations du réseau des trains régionaux (Geurs, et al., 2012). Le cas néerlandais est donc une claire approche de type *top-down*, caractérisé par un instrument de régulation unique au niveau régional, qui définit, avec une certaine souplesse, les hypothèses de développement urbain pour chacune des zones entourant les gares du projet (Papa, 2009). Cependant, quelques difficultés ont été rencontrées dans la démarche de conception et de mise en œuvre du projet *StedenbaanPlus* (Bertolini & Tan, 2010). Ainsi les municipalités ont souvent préféré développer de nouvelles zones résidentielles à la périphérie ou aux limites de la ville, car elles étaient plus rentables au niveau économique qu'autour des gares. Cela est dû à la baisse des coûts du sol et aux moindres difficultés de construction dans ces zones périphériques (Zooneveld & Ortuno Padilla, 2012). En allant plus dans le détail, il est utile de considérer un projet de recherche, sur le TOD, dans la Randstad, développé par trois universités hollandaises (Université de Twente, Université d'Amsterdam et Delft University of Technology), qui a identifié trois causes principales de difficultés dans la mise en œuvre et dans la gestion de cet ambitieux projet (Geurs, et al., 2012). Tout d'abord, la société qui gère le projet (le «StedenbaanPlus») n'a aucun pouvoir juridique et elle est, tout simplement, un lieu de coopération volontaire entre les parties impliquées dans le projet. Cet aspect se traduit par une certaine faiblesse dans la prise de décision et d'intervention de l'acteur principal, porteur du projet. En outre, l'opérateur ferroviaire national, la NS, a fixé comme condition pour pouvoir procéder à l'augmentation des fréquences de ses lignes, que le coût de cette opération soit totalement couvert financièrement. Enfin, la troisième critique est que dans le projet "StedenbaanPlus" les investisseurs privés ne sont pas directement impliqués (Geurs, et al., 2012).

Une autre bonne pratique de TOD signalé par R. Cervero (2006) se situe à Singapour, où dans le cadre d'une stratégie plus large de développement économique national, ont été appliqués les principes de planification qui ont déjà été testés en Scandinavie. Grâce à un plan national appelé «*Constellation Plan*», a été créé un système de corridors ferroviaires radiaux, reliant le centre aux banlieues et aux villes satellites («villes nouvelles»), développées autour de la métropole de l'Asie du Sud-Est. L'aspect le plus intéressant identifié par R. Cervero (2006), dans ce cas, est lié à des leviers réglementaires et législatifs utilisés pour favoriser la réussite du «*Constellation Plan*». Il s'agit des politiques qui donnent la priorité aux systèmes de transport en commun («*transit first*»), à travers une fiscalité très lourde pour les utilisateurs de voitures particulières (le financement du programme est assuré à travers des taxes sur la possession, sur le carburant, sur le stationnement et avec le télépéage). Les recettes sont ensuite réutilisées pour l'entretien de l'infrastructure routière et du système de parking. Le but est de forcer les conducteurs à

³² Dont certains sont compris dans le cadre d'un plan national de bâtiments résidentiels.

internaliser les externalités qu'ils imposent à la société en utilisant la voiture pendant les heures de pointe (Cervero, 2006), et en alimentant ainsi les phénomènes de congestion.

Il existe en outre des études très intéressantes qui tentent d'évaluer les effets et les impacts réels des interventions de TOD ; par exemple le rapport EVALUTOD présenté en 2013 s'est occupé d'évaluer des exemples de « *développement durable des aménagements centres autour des transports collectif* » (Transit Oriented Development), et en particulier des gares situées en



Figure 26: Carte des exemples de TOD dans le monde. (Tan, 2012)

zones périphériques (Beauvais, 2013). La méthode d'évaluation a été menée à partir de quatre dimensions: économique (à travers le poids des dépenses de transport des résidents), sociale (à travers le taux de chômage des résidents), environnementale (à travers la quantité de CO2 émise par les automobiles) et spatiale (calcul de la surface de terrain consommée dans un rayon de 800 mètre autour des gares) (Beauvais, 2013). Dans tous les trois cas qui ont été retenus pour l'évaluation, choisis aux États-Unis³³, ont été relevés des résultats assez positifs sur les effets du TOD. Le poids des dépenses de transport dans les revenus des ménages est inférieur dans les secteurs TOD par rapport à des exemples de référence. Il en est de même pour les taux de chômage, les émissions de carbone et la consommation d'espace par habitant (Beauvais, 2013).

Il s'agit d'une recherche qui ne repose que sur trois cas, a été effectuée avec une méthodologie précise et basée sur des données très fiables, fournies par le CTOD³⁴ (Centre for Transit Oriented Development). Le TOD est évidemment une occasion pour favoriser et inciter à développer des interventions de régénération urbaine. Certaines interventions de ce type ont été effectuées avec succès en Italie, notamment en lien avec le renouvellement de certaines gares urbaines principales du réseau nationale et des espaces publics adjacents. Il s'agit d'une approche

³³ Le corridor Rosslyn-Ballston à Washington, la station Concord à San Francisco, la station Arlington Heights à Chicago et la station Galatyn Park à Dallas.

³⁴ Base qui couvre 4.416 stations dans 54 aires métropolitaines.

principalement de type "*architectural*" (Nuzzolo, 2012) axée sur le réaménagement de l'existant et peu sur la réorganisation du fonctionnement urbain des quartiers.

Des exemples de cette approche peuvent être trouvés dans le "*Progetto Medie Stazioni*", qui a été monté par le gestionnaire du réseau ferroviaire italien (RFI), avec la région Emilie-Romagne et le projet "*Piano delle 100 Stazioni*", parrainé par la ville de Naples (Nuzzolo, 2012; Papa, 2009), et achevé avec le projet du système de métro régional de la région de Campanie.

E. Papa (2007) a tenté d'analyser plus précisément la façon dont les principes du TOD ont été appliqués, dans différents contextes urbains aux États-Unis et en Europe et, surtout, comment il peut être possible «d'exporter» ces méthodes dans le contexte métropolitain italien. Dans son étude, E. Papa (2007) critique le processus de mise en œuvre des interventions de TOD, principalement en raison de la difficulté d'introduire, au sein de la planification urbaine et des transports, près des gares privilégiant des méthodes alternatives à la pratique classique du zonage. Des difficultés stratégiques et opérationnelles, qui se concrétisent essentiellement dans un manque de « courage » et volonté politique (dû aussi à la pénurie de financements destinés au développement des Transports publics), et dans le manque de coordination entre les acteurs (public/privé) et les différents niveaux institutionnels impliqués (État, Régions, Communes) dans la mise en place de ces projets. En regard du cas italien il serait intéressant de proposer un concept de TOD adapté au contexte territorial spécifique des centres urbains historiques des villes, structurellement conçus pour des pratiques de mobilité lent et non motorisée et caractérisés par des densités de bâti élevées. Ainsi, pourrait être développé un modèle de TOD «*adapté*» qui, même s'il est fondé sur les principes fondamentaux du TOD, mettrait l'accent sur certains aspects, tels que la régénération urbaine, les modes actifs, la cohabitation dans l'espace public, plutôt que sur le concept de densification. Les centres historiques italiens peuvent constituer un terrain très intéressant pour pouvoir expérimenter des politiques innovantes et *smart*, basées d'un côté sur la promotion d'une mobilité durable et, de l'autre côté sur des interventions de requalification et de régénération architectonique des bâtiments anciens, en suivant des principes d'efficacité énergétique et en utilisant des matériaux écologiques. Tout ceci en travaillant simplement sur un patrimoine urbain existant et conçu spécialement avant l'avènement de la voiture, donc conceptuellement prédisposés à la mobilité non motorisée. En ce qui concerne le cas de l'Italie, E. Papa (2007) note, également, que des procédures réglementaires et décisionnelles qui intègrent les choix de mobilité ferroviaire et les choix concernant les interventions des transformations urbaines n'ont pas encore été formalisées. En conclusion, de bonnes expériences de TOD montrent que tant l'intégration des politiques qui donnent la priorité aux systèmes de transport collectif et une gestion contrôlée de l'usage du sol,

que la présence d'un solide partenariat entre les secteurs public et privé, sont des éléments essentiels pour un succès des interventions proprement dites de « *transit oriented* ».

3.8. Difficultés de mise en œuvre, barrières et obstacles à la réussite du TOD

Les interventions des TOD sont très sensibles aux différents contextes géographiques, réglementaires, politiques et culturels dans lesquels elles sont appliquées et les approches simplistes qui proposent une démarche du type « *copier-coller* » des outils et des politiques de développement urbain intégré avec les transports, peuvent être souvent contre-productives (Tan, 2012). Un TOD réussi demande une coordination minutieuse entre les choix de planification des transports et d'aménagement du territoire ; l'offre de transport public doit y être combinée avec une organisation précise de l'accessibilité piétonne et cyclable.

“La priorité pour les piétons et la mobilité à l'intérieur du quartier est probablement l'un des facteurs les plus importants pour la réussite d'une intervention de Transit Oriented Development” (Wulfhorst, 2011).

Ce schéma, cependant, ne peut réussir que dans une configuration de ville des courtes distances avec des niveaux élevés de densité de population (Bartolini, et al., 2009). Une zone sur laquelle est réalisé un projet TOD parvient à être attrayante pour le développement urbain recherché, seulement si elle est suffisamment reliée à des services efficaces de transports en commun. Les obstacles institutionnels et la hiérarchie des compétences (Rietveld & Stough, 2004) ainsi que la diversité des cadres juridiques, économiques, culturelles et territoriaux peuvent se révéler des obstacles considérables à la mise en œuvre des interventions (Hine, 2005).

«Le TOD peut être un concept relatif et peut différer entre les sites et les pays». (Geurs, et al., 2012)

Le succès des politiques du TOD dépend aussi du dynamisme du marché foncier et immobilier présent dans les zones touchées par les interventions de transformation urbaine et, surtout, de la capacité à attirer et à impliquer des investisseurs privés (Douglas, 1997). En effet, bien que la présence des interventions du TOD permette de créer une plus grande attractivité vers les zones et les quartiers situés à proximité des gares, l'ampleur exacte de la zone d'influence n'est pas complètement définissable de manière définitive. Elle peut varier en fonction des différents contextes et de sa mise en œuvre. À cet égard, la littérature est assez partagée. Certains

travaux montrent l'existence d'effets de proximité, en raison de la présence d'une gare pour les bureaux et les foyers situés dans une zone d'un rayon d'environ 500 mètres (Geurs, et al., 2012). D'autres auteurs (Sung, Kim et Shin, 2012) ont réalisé une étude pour analyser l'influence réelle des interventions des TOD sur la variation des taux d'utilisation du transport ferroviaire. À cette fin, ils ont développé le concept de «*Station Influence Area*» (SIA), se référant aux surfaces circulaires de 500 mètres de rayon autour des gares, et, grâce à des modèles, ils ont montré que les principaux effets positifs (dans la répartition modale) dus au TOD, se trouvent dans le voisinage immédiat des zones d'intervention et donc à moins de 250 mètres des gares.

Toutefois certaines expériences de TOD se relèvent aussi très décevantes. C'est le cas d'une opération de TOD autour d'une gare ferroviaire de l'Oregon (USA), expérimentée en 1998 et qui neregistrait pas encore les effets attendus au 2003. Dans le rapport qui analyse ce projet on trouve en fait plusieurs critiques relatives surtout au fait que les effets sur la qualité de l'air et sur la diminution du trafic routier ont été faibles, malgré les considérables investissements effectués pour les opérations de densification autour de la gare et l'amélioration de l'offre de transport collectifs (Charles & Barton, 2003). D'autres auteurs signalent que le TOD peut générer des phénomènes de *value capturing* et en conséquence d'augmentation de la valeur des propriétés et des terrains dans les zones d'influence des gares. Il en résulte, au moins en théorie, une augmentation des revenus en termes de taxes sur l'habitat et sur l'occupation du sol par les communes (Papa, 2009) mais cette augmentation peut se révéler un facteur de moindre attractivité pour les investisseurs privés (Zooneveld & Ortuno Padilla, 2012) qu'ont plutôt tendance à être intéressés par des investissements plus rentables à faire sur des terrains périphériques, généralement moins chers et suffisamment auto-connectés.

"Un plan de TOD qui ne comporte pas un engagement par des investisseurs privés n'a pas de sens." (A. Ortuno Padilla, 2013)

Une analyse de certains exemples américains de TOD (Cervero, 2006) a montré que des effets d'accroissement des valeurs du marché immobilier, en raison de la proximité des services de transports en commun, existent mais ne sont pas automatiquement garantis. Dans tous les cas, on peut être d'accord avec l'idée que l'évolution du marché immobilier est un élément qui révèle le niveau de réussite d'une intervention du TOD (Cervero, 2006). Le facteur temps est aussi important dans le contexte des transformations significatives du tissu urbain, comme dans le cas des interventions de TOD. Des opérations de densification, de développement urbain, de régénération et de réaménagement, dans les zones déjà urbanisées, peut-être dégradées et insérées dans une stratégie territoriale désordonnée et non organique, peuvent prendre

beaucoup plus de temps et impliquer des niveaux de difficulté et de complexité de réalisation supérieurs aux interventions sur des lots ou îlots vacants.

«Pour atteindre son plein potentiel, le développement autour de transport en commun prend du temps.» (Cervero, et al., 2004).

Cette dimension temporelle longue est confirmée par une étude comparative réalisée sur trois cas différents de TOD (Tan, 2012), dans lesquels a été enregistrée une durée moyenne de mise en œuvre d'au moins dix à vingt ans, compte tenu de la totalité du processus de conception, de planification et de mise en œuvre des interventions. Dans la même étude (Tan, 2012), on trouve une analyse très intéressante sur les obstacles principaux qu'on retrouve dans la mise en œuvre des interventions du TOD et les solutions à ces obstacles qui ont fait leurs preuves. Outre le problème de la faiblesse des politiques et des outils de coordination, les protestations et l'opposition des résidents des communautés des résidents sont considérées comme très fréquentes, surtout si les interventions sont faites dans des zones déjà urbanisées et avec une forte identité territoriale. Dans ce cas, est considéré comme une stratégie gagnante celle qu'insiste sur la communication aux habitants, en essayant de sensibiliser, autant que possible, le public aux questions de durabilité et d'habitabilité qui peuvent justifier les interventions TOD (Tan, 2012). Du point de vue étroitement lié à la mobilité, l'intérêt principal du TOD est de diminuer la distance moyenne et la quantité de déplacements quotidiens effectués ainsi que de rendre, le plus possible, les systèmes des transports collectifs comme principal mode de déplacement, au détriment de la voiture particulière. Pour cette raison, lorsque l'on doit définir le succès d'une intervention du TOD, nous devons considérer que, si la voiture continue à faire partie de la mobilité quotidienne, même si c'est seulement pour le déplacement d'accès ou de sortie du réseau de transport public, de nombreux avantages se trouvent compromis (Cervero, 2011). Ainsi, la pratique qui tant en Europe qu'aux États-Unis consiste à entourer les gares ferroviaires de parkings, parfois de dimensions démesurées, conduit à considérer que la voiture continue à faire part intégrante de la mobilité journalière. Bien que dans certains cas, cette relation (voiture - transports publics) est inévitable, par exemple dans les zones rurales, l'autre défi est d'encourager la conversion d'une mobilité du type *parketride* à une mobilité plutôt du type *buseetride*, *bikeetride* ou *walketride* (Cervero, 2011), où l'accès au réseau de transport public lourd (train ou métro), est réalisé par des modes de transports alternatifs à la voiture.

En ce sens, le cas des Pays-Bas est, à juste titre, cité par R. Cervero (2011) comme un excellent exemple, où un vaste réseau routier réservé pour la mobilité en vélo, a été intégré et connecté au réseau des gares ferroviaire. En collaboration avec un certain nombre de services

supplémentaires de maintenance, location, stationnement et entretien des vélos, ce système a permis de constater que, dans certains cas, un pourcentage de 30% à 40% des déplacements effectués vers les gares, d'une distance moyenne d'au moins 5 km, est exécuté en vélo.

Pour répondre aux critiques qui accusent le TOD d'être une forme d'ingénierie sociale, R. Cervero (2006) soutient, qu'en réalité, il s'agit d'un modèle basé sur le marché qui cherche à diversifier le paysage urbain et les choix de mobilité. En substance, le marché se nourrit de la variété et de la diversité des possibilités de choix et le TOD contribue à alimenter et à enrichir une telle pluralité. Cependant, il s'agit d'une argumentation critiquable, car le marché ne devrait pas être l'unique point de repère dans les politiques de planification urbaine et des transports.

D'autres spécialistes et chercheurs indiquent un risque d'inefficacité des politiques du TOD lorsqu'elles ne sont pas utilisées pour augmenter les opportunités d'accès à l'emploi et en général à toutes les fonctions urbaines, des catégories de population en difficulté. Le besoin de mettre l'accent sur l'idée d'équité dans le cadre de la mise en place d'interventions de *Transit Oriented Development* est donc ainsi souligné. Ces interventions peuvent être en fait un outil de désenclavement pour les habitants des zones et quartiers isolés et peu connectés au reste du territoire (Rojas, 2012 ; Irvine, 2013).

Utiliser le TOD avec une approche *people-based* (Rojas, 2012) centré principalement sur les besoins des résidents, signifie l'utiliser comme levier pour augmenter les opportunités résidentielles des catégories de population défavorisées, à travers la construction de logements économiquement "*abordables*" (*affordable housing*) (T.Litman, 2013) à proximité des arrêts des transports en commun. Le *gentrification*³⁵ (ou embourgeoisement) est un phénomène qui conduit, à la suite d'une augmentation des valeurs immobilières et des sols due aux interventions urbanistiques de requalification et de renouvellement urbain, à l'éloignement des vieux résidents qui ne sont plus aptes à supporter l'augmentation de la valeur des loyers et qui sont remplacés par des résidents plus riches. Ce phénomène comporte un grave risque d'augmentation des phénomènes de ségrégation et d'exclusion sociale et beaucoup de critiques condamnent le modèle urbain du TOD au nom d'un risque excessif de *gentrification*. Un TOD socialement équitable est, par contre, celui qui réussit à donner lieu à un phénomène de *gentrification* sans comporter, en même temps, un déplacement des vieux résidents (Rojas, 2012). Il s'agit de créer des opportunités économiques pour les gens aux bas revenus en

³⁵ Terme qu'en référence à la « *gentry* » (petite noblesse anglaise), décrit le remplacement, dans les centres historiques des villes, des catégories populaires par des membres des catégories sociales plus riches.

fournissant donc des logements à des prix accessibles, des possibilités d'insertion des petites et moyennes entreprises dans le système économique engendré par le TOD et de prévoir une connexion efficace avec les services de transport public et avec d'autres services comme les écoles et les structures sanitaires (Rojas, 2012). Le *Center for Transit Oriented Development* (CTOD) définit aussi plusieurs outils qui peuvent permettre de préserver et d'augmenter la diversité socio-économique des habitants des quartiers intéressés par des interventions de densification autour des gares et des réseaux de transport en commun. L'institution d'un fond d'acquisitions ou d'aides spéciales au logement, ainsi que des systèmes de corrélation entre les prix des logements et les taux de possession des véhicules et d'occupation des places de stationnement, sont tous des actions qui vont dans cette direction (CTOD, 2009).

Les politiques efficaces de TOD sont donc conditionnées par une volonté politique forte, une situation économique stable et, surtout, par une coordination rigoureuse entre les différents niveaux institutionnels et acteurs impliqués, depuis les aménagements stratégiques jusqu'à l'opérationnel, impliquent la recherche de financement et la réalisation du projet.

Ces politiques doivent également être bien adaptés aux différents contextes locaux, en tenant compte des besoins socio-économiques et culturels de chaque région. Il est donc risqué de reproduire de telles pratiques, même si elles ont montré qu'étaient potentiellement vertueuses dans d'autres contextes.

Enfin d'autres critiques soutiennent que, pour avoir des résultats et des avantages réels et effectifs à la suite de l'application d'une politique du *Transit Oriented Development*, il est nécessaire que soient construits de nombreux quartiers ou zones du TOD, de façon à avoir le plus grand nombre possible de personnes qui y habitent (Schneider, 2012). Il ne suffit donc pas d'accomplir des interventions isolées et sporadiques, mais il faut raisonner sur un effet "réseau" du TOD. À cet égard, J. Schneider indique le concept d'*Extended TOD* (Scheurer, 2001), comme méthode pour dépasser ces difficultés. Il s'agit d'une vision du TOD qui est attentive à la fonction d'intermodalité et de connexion avec les systèmes de transports intermédiaires et secondaires, pour faciliter l'accès à la gare ferroviaire même pour les zones situées à une distance supérieure à celles qui sont, normalement, accessibles à pied et pour encourager l'accès aux réseaux des transports publics sans l'utilisation de la voiture.

La stratégie d'*Extended TOD* devrait être complétée d'un *Feeder-Distributor-Circulator Network* et d'*Urban Oasis* (Warren, 1998), c'est-à-dire d'un système d'interconnexion avec tous les autres modes de transports collectifs qui met en relation des quartiers pas nécessairement situés à proximité des zones proches des gares, mais qui est conçu selon les principes typiques du TOD, c'est-à-dire avec une haute densité, une priorité à la mobilité douce et une diversité des fonctionnalités urbaines.

3.9. Conclusions

L'arrivée de la voiture au début du siècle dernier, a représenté une véritable révolution dans nos pratiques de mobilités et également dans la configuration urbanistique et fonctionnelle des territoires, notamment en milieu urbain. Le passage de la ville préindustrielle, parcourue à pied, à la ville automobile, a été aussi rapide qu'extraordinairement étendue. Grâce également à une stratégie politique précise, surtout en occident, le développement de l'industrie automobile et la diffusion de la voiture comme mode de transport de masse a été considérablement favorisé. L'usage et la diffusion de la voiture est de ce fait en constante progression depuis des décennies, accompagnée par des politiques d'urbanisme et d'aménagement qui ont beaucoup encouragé des formes de développement urbain à basse densité et fragmentées, en cherchant à faciliter le plus possible la circulation routière et en donnant vie à ce qui dans la littérature scientifique est défini comme le modèle de société automobile et le phénomène de la dépendance de la voiture. Seulement, la crise économique commencée en 2008 et la hausse des prix des carburants ont provoqué une stagnation et dans certains cas une légère diminution du nombre des immatriculations et des kilomètres parcourus en voiture, en France comme dans d'autres pays européens. Cependant aujourd'hui il y a un assez large consensus, dans le monde scientifique et aussi dans le milieu politique, sur le fait que le développement urbain auto-centré a désormais largement démontré ses limites et défauts. En considérant en fait le bilan entre coûts et bénéfices dus à l'avènement de l'*automobility*, on peut conclure qu'alors que les bénéfices d'une telle situation ne concernent que les conducteurs, les coûts touchent l'ensemble de la collectivité. Il faut considérer en fait qu'en plus des coûts monétaires directs, payés seulement par les propriétaires des voitures, il existe un ensemble de coûts indirects ou d'externalités, concernant par exemple les accidents, la pollution, la congestion et les investissements en infrastructures. Mais parmi les effets négatifs du modèle auto-centré ou auto-dépendant on observe aussi une augmentation du risque d'inégalité et exclusion sociale, de détérioration de la qualité de vie, d'incitation à la consommation du sol et à la fragmentation et dispersion des tissus urbains. On observe donc une correspondance entre dépendance de la voiture et étalement urbain, qui peut être contrée par l'adoption d'un modèle multimodal et équilibré, qui donne la priorité aux transports en commun et aux modes actifs et qui permet de multiplier les choix et les pratiques de mobilité et de favoriser des conformations urbaines plus denses, compactes, privilégiant les courtes distances et moins consommatrices d'espace. Il apparaît en effet désormais indispensable de promouvoir des pratiques de mobilité plus durables et équilibrées, moins énergivores et moins accidentogènes, pour réduire la dépendance à la voiture et pour favoriser l'Inclusion sociale, l'équité, la solidarité et la diffusion du droit à la mobilité.

Réaliser ce modèle alternatif passe d'abord par une modification des stratégies de gestion de la circulation, du stationnement et de l'accès au réseau routier,. Il suppose ensuite une différenciation des usages de la voiture (voitures électriques, hybrides, *low-cost*, en libre-service, à location brève, *covoiturage* ou *car-pooling*), le *car-sharing*), un renouvellement technologique des véhicules et surtout un changement de la conception de ce mode de transport, passant de celle de bien à celle de service. Dans cette optique, l'idée propre du *Transit Oriented Development*, de concentrer le développement urbain à proximité des réseaux de transports collectifs, notamment ferrés, est vu comme un remède possible à la dépendance automobile et à l'étalement urbain. Il est un modèle qui formalise le concept de développement dense, mixte, multifonctionnelle, accessible et de qualité, avec priorité aux transports en commun et aux modes actifs. Toutefois le TOD requiert pour sa réussite d'être finement adapté à chaque contexte, la mise en place d'une solide coordination des acteurs publics et privés, d'une forte volonté politique, d'une gestion minutieuse des interventions de densification, ainsi que d'une attention sur son impact social et au concept d'équité.

Sur la base des réflexions et des conclusions présentées dans ce chapitre et en s'inspirant aux principes du TOD, ont été définis les objectifs et les hypothèses à la base du travail de modélisation intégrée d'usage du sol et transport effectué sur le terrain de la région Nord Pas-de-Calais. Réduire la dominance de la voiture particulière en faveur des transports collectifs, ainsi que ralentir et retourner la tendance à l'étalement urbain, seront en fait les enjeux principaux à analyser dans le cadre du travail de modélisation qui fait objets de la suite de cette thèse.

Avec le but d'analyser les politiques intégrées d'urbanisme et transport, l'intérêt de la modélisation sera de simuler les effets et impacts au niveau urbain, suburbain et régional, à attendre de l'implémentation d'un plan régional de TOD distribué le long du réseau ferroviaire du Nord Pas-de-Calais. L'objectif qu'on se pose est donc celui de pouvoir arriver à fournir une indication sur l'opportunité d'application de ce type de politiques et sur leur reproductibilité à l'échelle d'une région et dans les différents contextes territoriaux faisant partie de cette région.

4. L'intérêt d'une approche régionale du TOD appliqué au territoire du Nord-Pas-de-Calais

« Une région qui évolue est une région qui débat. »

D. Paris, Université Lille 1

Table ronde : « Construire un territoire pour le futur » - 51^{ème} colloque de l'Association de Science Régionale de Langue Française (ASRDLF 2014) « Métropolisation, cohésion et performances : Quels futurs pour nos territoires ? »

Cette recherche doctorale a pour terrain d'étude la région française du Nord-Pas-de-Calais. En analysant les caractéristiques territoriales, sociales et économiques, ainsi que les points de force et de faiblesse relatives aux dynamiques de fonctionnement régional, on entend dans ce chapitre identifier les stratégies et perspectives de développement futures. À travers l'étude des principaux indicateurs socio-économiques, de la situation actuelle relative aux transports et à l'usage du sol, des objectifs inclus dans les documents de planification et aménagement, émerge un profil assez ambivalent. Des divergences et disparités s'opposent en fait à des potentialités considérables. Les caractéristiques les plus importantes de la région ont trait en fait au caractère transfrontalier, à l'attractivité prévalent de la métropole lilloise, à la tradition industrielle plutôt qu'agricole et à une densité de population importante, surtout dans le département du Nord. La région est en même temps affectée par un taux de chômage et de précarité croissant et par des espaces qui souffrent encore les conséquences de la désindustrialisation des dernières décennies, comme le bassin minier. Les aires urbanisées sont en croissance persistante ce qui provoque une intensification des problématiques liés à la consommation excessive du sol et à l'étalement urbain, qui se reflètent aussi dans les dynamiques liées à la mobilité, avec une prédominance de l'usage de la voiture dans les choix de déplacement. La lutte contre l'étalement urbain et pour la limitation de l'artificialisation du sol constitue donc l'un des enjeux majeurs. Les objectifs précis au niveau régional s'inscrivent dans le sens de la spécialisation fonctionnelle du territoire et de la promotion d'une logique systémique, multifonctionnelle, équilibrée et multipolaire, au lieu d'une consolidation du caractère monocentrique régional actuel, gravitant essentiellement autour de la métropole lilloise. L'importante dotation régionale en infrastructure constitue d'ailleurs une ressource fondamentale pour un fonctionnement du territoire plus cohérent et multacentrique. La position stratégique, entre trois des principales métropoles européennes (Paris, Londres et Bruxelles), pose la région au centre des flux économiques et des transports du nord Europe et en

même temps représente une ressource pour l'appareil productif régional autant qu'un élément problématique, à cause du risque de saturation de plusieurs tronçons autoroutiers. L'usage de la voiture s'avère en général globalement prédominant au niveau régional, pour toutes les types de déplacements, avec des différences significatives dans le cas de la métropole lilloise, mais pas encore au niveau suffisant pour conférer à cette région un caractère multimodal au plan de la mobilité. Les institutions régionales et les collectivités locales sont toutefois en train de proposer un effort stratégique et opérationnel de long terme, mettant en relation le développement urbain avec l'armature du réseau ferroviaire régionale. L'intention est d'utiliser les gares régionales et les quartiers et espaces urbains environnantes les gares, comme point de départ pour construire un territoire plus connecté, plus équilibré du point de vue de la multimodalité, plus intégré au service de transport en commun et plus dense et intense en termes d'usage du sol. Il existe en fait au niveau régional une vision assez partagée qui incite à la promotion des transports en commun, dans le but de réduire l'usage de l'automobile. En même temps l'artificialisation excessive du territoire régional représente un enjeu crucial, qui en vue de la prévision de faible croissance de la population dans les prochaines décennies, peut être géré avec des politiques foncières qui limitent la consommation des sols naturels, en contrôlant les flux résidentiels et de localisation des activités, en défavorisant l'étalement urbain et donc en promouvant le renouvellement, la densification et la requalification du foncier urbain existante ou en friche, en particulier à proximité des gares ferroviaires. En vue de ces considérations et des directions d'évolution qui émergent par l'analyse des stratégies de planification des transports et d'usage du sol régionaux, on entend donc dans la partie finale du chapitre fixer les opportunités et perspectives de développement intégré présentes dans le territoire du Nord Pas-de-Calais, selon des principes de Transit Oriented Development et d'Urbanisme orienté vers le rail. L'opportunité et le sens d'une mise en œuvre de ces modèles de développement territorial dans la région Nord-Pas-de-Calais, en réponse aux enjeux prioritaires de limitation de l'artificialisation du territoire et de la dépendance de la voiture, ont été en fait objet d'un travail de modélisation intégrés d'usage du sol et transport, dont les résultats seront exposés en détail dans le chapitre suivant.

4.1. Le Nord-Pas-de-Calais. Contexte général, points de force et de faiblesse

La région Nord-Pas-de-Calais est située à l'extrême nord du territoire national et représente un carrefour stratégique au cœur de l'Europe entre la France, les pays septentrionaux qui donnent sur la Manche et la mer du Nord (notamment la Belgique et les Pays-Bas) et le Royaume-Uni. Ses frontières donnent au nord vers la Belgique et au sud vers la région Picardie et elle occupe une position centrale entre trois des plus grandes métropoles européennes: Paris, Londres et Bruxelles. Le paysage régional est décrit par la Direction Régionale de l'Environnement, comme un rencontre entre deux grands traits géographiques: « *au Sud l'immense plateau du bassin parisien qui déploie ses longues ondulations de la Normandie à la Champagne, au Nord les grands reculs et les avancées de la mer, qui se prolonge à travers toute l'Europe, sur 3000 km, jusqu'à l'Oural* » (DRA - NPDC, 2005). En particulier en synthétisant de manière générale les paysages les plus représentatifs du territoire régional, l'Atlas Régional du Paysage présente quatre types : le Haut Pays, le Bas Pays, les paysages littoraux et les paysages d'interface (DRA - NPDC, 2005). La description des caractéristiques de ces grandes typologies de paysage est précisée dans le Tableau 2.

Grands paysages du haut pays	Grands paysages du bas pays	Paysage littoral	Paysage d'interface
<i>Boullonnais</i>	<i>de la plaine maritime</i>	<i>de dunes de la mer du Nord</i>	<i>des coteaux calaisiens et du pays de Licques</i>
<i>montreuillois</i>	<i>du Houtland</i>	<i>des falaises d'Opale</i>	<i>audomarois</i>
<i>du Val d'Authie</i>	<i>de la plaine de la Lys</i>	<i>des dunes et estuaires d'Opale</i>	<i>pays d'Aire</i>
<i>des hauts plateaux artésiens</i>	<i>métropolitains</i>		<i>des belvédères d'Artois et des vallées de Scarpe et de Sensée</i>
<i>du Ternois</i>	<i>de la Pévèle et de la plaine de la Scarpe</i>		<i>Miniers</i>
<i>des grandes plaines arrageoise et cambrésiennes</i>			
<i>Hennuyers</i>			
<i>Avesnois</i>			

Tableau 2: Classification des paysages régionaux proposée dans l'Atlas des Paysages. (DRA - NPDC, 2005)

Au niveau institutionnel le territoire régional est réparti entre deux départements: le Nord (59) et le Pas-de-Calais (62), dont les préfectures sont respectivement Lille et Arras. En particulier l'agglomération lilloise représente le centre urbain régional le plus représentatif et le plus influent au niveau économique, culturel, démographique et des services, ainsi que le principal pôle attractif de demande d'emploi et de transport. À ce propos a été créée la Communauté Urbaine de Lille Métropole (LMCU) : un établissement public de coopération intercommunale qui regroupe 85 communes et plus d'un million d'habitants et qui représente la 4^{ème}

agglomération française, après Paris, Lyon et Marseille (INSEE - NPDC, 2012). L'Aire Métropolitaine de Lille (AML) est un espace de coopération franco-belge qui comprend environ 3,8 million d'habitants et une surface de 7200 km², créée en 2007 et caractérisée par une densité de population de 521 hab./km² et une composition urbaine qu'englobe trois grandes villes de plus de 50 000 habitants (Lille, Roubaix et Tourcoing), représentant l'agglomération centrale, qui se prolonge vers les villes belges de Mouscron et Courtrai. Autour des aires urbaines de Béthune, Lens, Douai et Valenciennes se développe la deuxième conurbation la plus peuplée de l'AML, qui se prolonge en Belgique vers Mons Charleroi et Liège (INSEE, 2013). En plus de celle lilloise la région compte onze agglomérations urbaines avec plus de 50 000 habitants³⁶. Elles sont distribuées sur le territoire de manière assez paritaire entre les deux départements, même si la

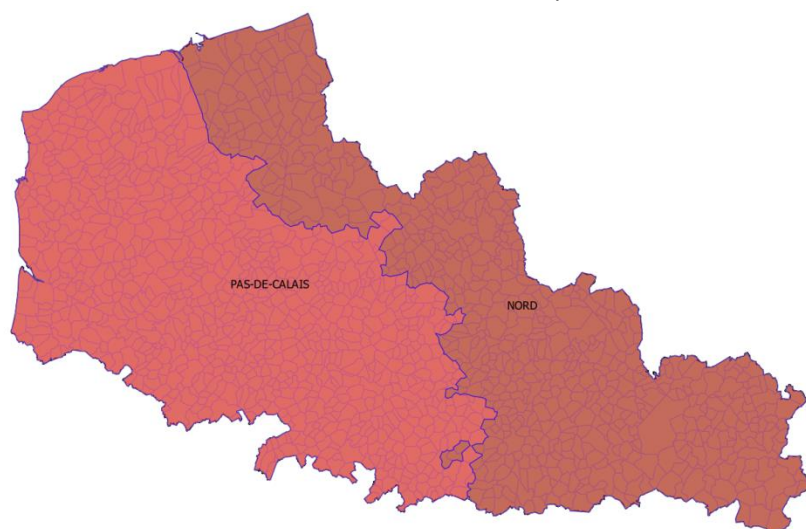


Figure 27: Les Départements du Nord-Pas-de-Calais. (F. Lo Feudo, 2014)

population régionale est distribuée en manière peu homogène sur le territoire : elle est installée pour 64% dans le département du Nord (« le première département français pour sa population » (INSEE - NPDC, 2012)), contre 36% dans le Pas-de-Calais

(Région NPDC, 2012; INSEE - NPDC, 2012). Avec une population d'environ 4 millions d'habitants, le Nord Pas-de Calais est donc la 3^{ème} région de province la plus peuplée (Maquet & Rodriguez, 2012) et la 2^{ème} la plus dense de France (325 habitants/km²) (Région NPDC, 2012). L'INSEE décrit la population de la région comme en moyenne la plus jeune de France, après l'Île-de-France, résidant pour ses trois-quarts en milieu urbain (Région NPDC, 2012) et caractérisée par une composition qui connaît une légère augmentation des couples sans enfants et les personnes seules. En regard de l'évolution de la population régional on peut en outre constater un déficit migratoire vers les autres régions de France (notamment l'Île-de-France) et vers l'étranger (*une perte de 4 personnes pour 1 000 habitants en moyenne chaque année* (INSEE - NPDC, 2012)). Les projections démographiques attestent en fait une croissance stable mais très faibles de la

³⁶ Lille (1 190 900 hab.), Douai-Lens-Liévin (552 682 hab.), Valenciennes (400 000 hab.), Béthune (205 872 hab.), Dunkerque (191 173 hab.), Calais (104 852 hab.), Maubeuge (99 900 hab.), Boulogne-sur-Mer (92 704 hab.), Arras (94 059 hab.), Cambrai (58 828 hab.) et Armentières (58 706 hab.)

population régionale dans les prochaines décennies³⁷ (d'environ l'1‰ annuel) (INSEE - NPDC, 2012), avec une augmentation plus marquée dans la métropole lilloise et plus ou moins stables dans les autres agglomérations (Daubaire & Hublau, 2008).

Commune	Densité de population au 2009 (hab./km ²)
Lille	6512
Roubaix	7183
Tourcoing	6082
Lens	3062
Béthune	2724
Arras	3616
Douai	2516
Cambrai	1789
Valenciennes	3096
Saint-Omer	906
Dunkerque	2217
Calais	2219
Boulogne-sur-Mer	5144
Maubeuge	1696
Hazebrouck	829
Armentières	3995

Tableau 3: Densité de population des principaux communs du Nord-Pas-de-Calais au 2009. (www.statistiques-locales.insee.fr)

Le taux de croissance du nombre de ménages est toutefois plus élevé dans les communes rurales et périurbaines. Par rapport à la composition de ménages, le nombre de personnes par ménage arrive en moyenne au moins à trois dans 38 % des cas, contre 34 % au niveau national et plus de la moitié des ménages a au moins un enfant.

« Concernant le taux de risque de pauvreté et l'espérance de vie, la région Nord-Pas-de-Calais reste parmi les régions françaises les plus défavorisées, au niveau de la moyenne de l'Union européenne. » (INSEE - NPDC, 2012a)

Les données fournies par la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL, 2013) montrent qu'entre 1999 et 2009 la région a connu une augmentation du nombre des ménages et d'emplois, due surtout à un changement dans les *réalités sociales* (décohabitation, monoparentalité, etc.) plutôt qu'à une croissance de la population. Ce phénomène a produit essentiellement une augmentation des territoires artificialisés en tenant toutefois constant la valeur moyenne régionale de densité des ménages et d'emplois par hectare

³⁷ « La croissance de la population serait de 0,7% sur la période 2005-2030. L'évolution serait du même ordre pour les départements du Nord (+0,6%) et du Pas-de-Calais (+0,9%) » (Daubaire & Hublau, 2008).

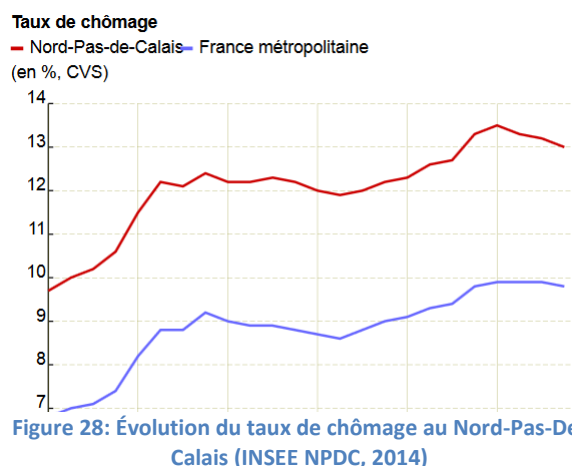
artificialisé (15 men. et empl./ha) (DREAL, 2013). La région du Nord-Pas-de-Calais présente une superficie totale de 12 414 km² et une configuration orographique essentiellement plaine, avec des faibles reliefs et une ligne côtière qui s'étend sur 140 km le long de la Manche et de la mer du Nord. Le territoire présente en même temps des niveaux d'artificialisation du territoire très élevés et une quantité de surface agricole supérieure à la moyenne nationale. Plusieurs facteurs sont explicatifs du phénomène croissant de périurbanisation qui affecte le territoire régional : la progressive expansion et renforcement des aires urbaines principales (Lille, Arras) ; la croissance des communes multipolaires et l'augmentation des distances entre les centres urbains et le lieu de résidence des nouveaux ménages. Entre les périodes 1999 – 2006 et 2006-2009, la distance moyenne régionale entre la résidence et le centre urbain le plus proche pour chaque ménage supplémentaire, a augmenté d'environ 1 km (6 Km en 1999 – 2006 ; 7 km en 2006 – 2009), en soutenant donc un élargissement de la périurbanisation (DREAL, 2013). En particulier 55% du territoire régional est constitué de terres agricoles, mais les sols naturels ne couvrent que environ 10% du territoire (espaces naturels, agricoles et forestiers ensemble occupent l'83% du sol régionale (DREAL, 2013)), c'est-à-dire une quantité bien inférieure à la moyenne nationale égale à 28%. Les sols urbanisés par contre représentent environ le 17% du territoire régional (EPF NPDC, 2005), avec un pourcentage de surface bâtie qui correspond presque au triple de la moyenne nationale (4,3% contre 1,5%) (INSEE - NPDC, 2012) et une densité régionale moyenne de 23 log./ha en 2011 (DREAL, 2013). Il s'agit des grandes caractéristiques qui d'ailleurs rapprochent le NPdC des territoires qui se trouvent au-delà de la frontière avec la Belgique.

« Entre 1992 et 2000, dans la région Nord-Pas-de-Calais, environ 36 km² sont passés de l'agriculture à l'urbanisation : soit une augmentation de la tache urbaine de 2.42 % et une diminution de la surface agricole de 0,36% sur 8 ans ». (Conseil Régional NPDC, 2009)

« La forte extension des espaces urbains durant la décennie 1999-2009 ne s'est pas accompagnée par une dé-densification, ces espaces ayant maintenu stable leur densité en ménages et emplois, mais par une périurbanisation importante de l'habitat et par un étalement des activités le long des axes de transport routier. La tendance pour la décennie 2010-2020 ne peut être infléchie que par un changement de paradigme dans l'aménagement des territoires, dans l'hypothèse où les facteurs démographiques ne seraient pas lourdement modifiés (croissance prévisible du nombre des ménages et croissance sous certaines hypothèses du nombre d'emplois). » (DREAL, 2013)

Avec une tradition essentiellement ouvrière et liée à l'industrie minière et lourde, désormais largement réduite, cette région, qui reste toujours la 4^{ème} région industrielle française³⁸ (avec une spécialisation importante dans l'industrie automobile, ferroviaire et textile), dans la dernière décennie a commencée à renforcer son dynamisme économique en s'appuyant surtout sur le secteur tertiaire (77% des emplois de la région en 2012 (INSEE - NPDC, 2012)) et sur l'innovation, en gardant toutefois plusieurs disparités territoriales et des problématiques sociales très marquées. Cette situation est soulignée par l'INSEE qui caractérise la situation socio-économique régionale, comme celle d'*une région affectée par le chômage et la précarité*.

En analysant en fait plus dans le détail la situation économique régionale, bien qu'en termes de PIB le Nord-Pas-de-Calais soit parmi les cinq régions françaises, si l'on rapporte celui-ci au nombre total d'habitants il n'arrive qu'en vingtième position. Si on continue à considérer les données fournies



par l'INSEE sur les principales caractéristiques de la région, on peut constater en outre que le taux de chômage se révèle supérieur à la moyenne nationale (12,8 % au 2009, soit 3,7 % au-dessus de la valeur nationale et en hausse jusqu'à 14% en 2012) (Région NPDC, 2012), avec 13700 emplois perdus en 2012 (INSEE - NPDC, 2013), en ligne d'ailleurs avec la tendance nationale et européenne de faible croissance économique. En particulier « *le département du Pas-de-Calais est particulièrement touché avec une diminution deux fois plus importante que celle du département du Nord* » (INSEE - NPDC, 2013).

Si en fait le secteur des transports et de l'entrepreneuriat (essentiellement en stagnation) semblent n'avoir pas trop souffert la crise économique (l'aéroport de Lesquin registre une hausse du nombre de passagers du 20% (INSEE - NPDC, 2013)), des effets bien différents peuvent être constatés dans les secteurs industriels, de la construction, des productions agricoles et du tertiaire. En 2009 les effectifs de l'industrie ont diminué de 2,9 %, pour un volume total de 6600 emplois, tandis que pour le secteur de construction la baisse a été de 3,4 % en 2009 et de 2,2 % en 2010. Seul le secteur tertiaire marchand a vu une augmentation des effectifs à partir de 2010, alors que le tertiaire non marchand travers une situation de stagnation.

³⁸ 1^{ère} région française pour la sidérurgie, le verre et l'industrie ferroviaire, la 2^{ème} région pour l'automobile, le papier-carton et le textile (Région NPDC, 2012).

Le bilan commercial du Nord-Pas-de-Calais est par contre caractérisé en 2012 par une augmentation des exportations (produits sidérurgiques, agroalimentaires, de construction automobile, des matières chimiques) et par une diminution des importations (produits pétroliers, habillement), avec comme provenance et destination principale les pays européens (principalement Belgique, Allemagne et Royaume-Uni) (INSEE - NPDC, 2013). Les productions

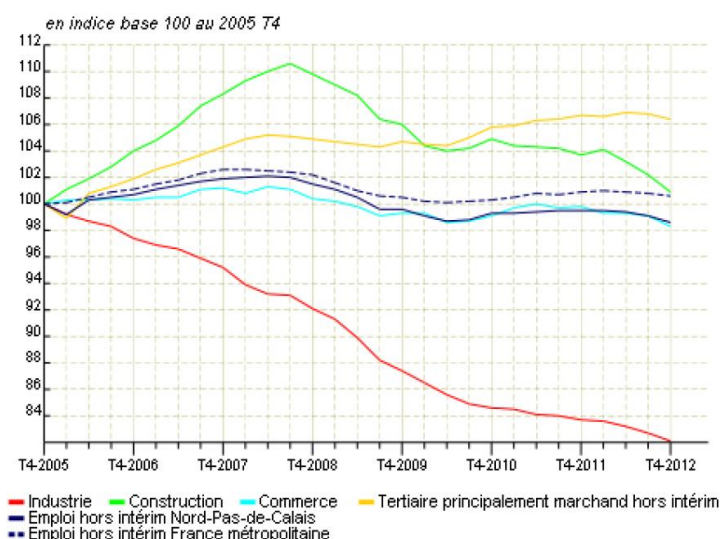


Figure 29: Évolution trimestrielle de l'emploi salarié des secteurs principalement marchands dans la région Nord-Pas-de-Calais (INSEE - NPDC, 2013).

agricoles restent d'ailleurs très diversifiées et présentes sur la totalité du territoire, en affirmant le caractère agricole des larges zones de la région (deux tiers de la superficie régionale sont des surfaces agricoles utilisées (SAU)) (INSEE - NPDC, 2012). Mais c'est aussi dans ce secteur qu'on enregistre une importante perte du nombre d'exploitations et des emplois, soit à cause d'une migration de la demande d'emploi

vers d'autres secteurs (notamment le secteur tertiaire), soit par une problématique croissante liée à l'urbanisation et à l'artificialisation des sols naturels. Le pourcentage de territoires artificialisés est en fait en augmentation constante et préoccupante.

Au niveau des caractéristiques de la population active, on peut constater dans la région une majorité d'ouvriers et d'inactifs avec au contraire une quantité des cadres inférieure à la moyenne nationale (INSEE - NPDC, 2012). La plupart des effectifs de l'industrie ressortissant de la production de matériels de transport, de la métallurgie, de la fabrication de produits en caoutchouc et en plastique, alors que le commerce de détail inclut les deux tiers des postes de travail salariés dans la région. En particulier si dans le département du Nord prévaut l'emploi de type tertiaire, le secteur industriel se montre plus actif dans le Pas-de-Calais. Un indicateur général toutefois plus positif par rapport à la moyenne nationale est relatif au fait que 78 % des emplois sont sans limite de durée. La situation sociale enregistre un niveau de salaires globalement inférieur à la moyenne nationale, surtout dans le cas des employés ; avec le département du Pas-de-Calais qui compte des rémunérations en moyenne inférieures à celles du Nord et avec un taux de pauvreté régionale de 5 points supérieur aux données nationales (INSEE - NPDC, 2012).

Dans une étude où sont analysées les relations entre la situation sociale des ménages qui habitent à proximité d'un pôle économique ou d'un centre d'emploi, en fonction de la dynamique du marché du travail, du profil des activités et des postes créés, et le lien avec le taux de chômage (A.Degorre & N.Laval, 2013), on peut constater des résultats de caractère assez contrasté dans le cas du Nord-Pas-de-Calais. La situation des agglomérations lilloise et arrageoise est la plus favorable du point de vue du contexte social, alors qu'au niveau intermédiaire on peut situer les centres économiques d'Armentières, Béthune, Cambrai, Hazebrouck et Saint-Amand. Les aires de Roubaix et Tourcoing, dans la même étude sont par contre présentées comme problématiques et dégradées au niveau social, mais avec un accès favorable à l'emploi (surtout dans le tertiaire, les services et le commerces), grâce aussi à la proximité et la facilité de connexion avec Lille (A.Degorre & N.Laval, 2013). Le reste du territoire régional souffre également d'une difficulté au niveau social, avec une augmentation des disparités sociales et de la précarité. En particulier les centres économiques de Lens et Valenciennes sont signalés comme atypiques dans cette analyse, car même si dotés d'un marché du travail assez dynamique et d'une progression constante du taux de créations d'emploi, enregistrent encore des difficultés sociales *persistantes* (A.Degorre & N.Laval, 2013).

4.2. Dynamiques régionales du logement et de l'usage du sol et stratégies de planification

Le Nord-Pas-de-Calais est une région très urbanisée et qui présente un important taux d'artificialisation de ses territoires. Les aires urbaines régionales accueillent environ le 90 % de la population. Par rapport aux logements « *les maisons prédominent nettement dans la région : elles constituent près des trois quarts du parc contre une bonne moitié en France. Dans le département du Pas-de-Calais, la part des maisons atteint 80 %* » (INSEE - NPDC, 2012). Dans la période entre 1998 et 2009 la base de données géographique régionale SIGALE, signale une progression des espaces urbanisés à un rythme de 1 800 ha/an, avec une consommation moyenne d'espaces naturels, agricoles et forestiers d'environ 1600 ha/an (tendance en baisse de 10% par rapport à la décennie précédente). Cette progression implique, selon les études de la DREAL (2013), que sur chaque nouvel hectare urbanisé iront s'installer environ 8 ménages et 8 emplois.

La lutte contre l'étalement urbain constitue donc l'un des enjeux majeurs, avec des objectifs précis au niveau régional, qui vont dans le sens d'une limitation de l'artificialisation des sols à 500 ha/an et donc une consommation des espaces agricoles réduite de -1250 ha/an à l'horizon 2020 (DREAL, 2013). La caractéristique de fragmentation des espaces naturels régionaux

augmente en fait sa fragilité et favorise l'artificialisation des territoires. Parmi les 17,2 % de surface artificialisée de la région, 69 % sont du foncier urbain, 26 % est constitué d'infrastructures et autres équipements publics et 5% sont des espaces urbains en devenir. En particulier dans le foncier urbanisé, 80 % est de type résidentiel exclusif alors que le 20% est de type mixte (habitat et activités).

« Les territoires communaux dont le foncier dédié à l'habitat est d'une densité supérieure à 25 logements à l'hectare dessinent la carte des principaux pôles urbains, tandis que ceux pour lesquels cette densité est comprise entre 16 et 25 logements à l'hectare mettent en valeur la continuité entre ces pôles urbains et les territoires ruraux qui les entourent. » (DREAL, 2013)

« Ainsi, l'extension de la métropole lilloise est un élément que nombre de politiques visent à limiter puisqu'elle participe à l'artificialisation des sols et à l'élévation des émissions de gaz à effet de serre générées par les navettes quotidiennes. » (Fabre, 2012)

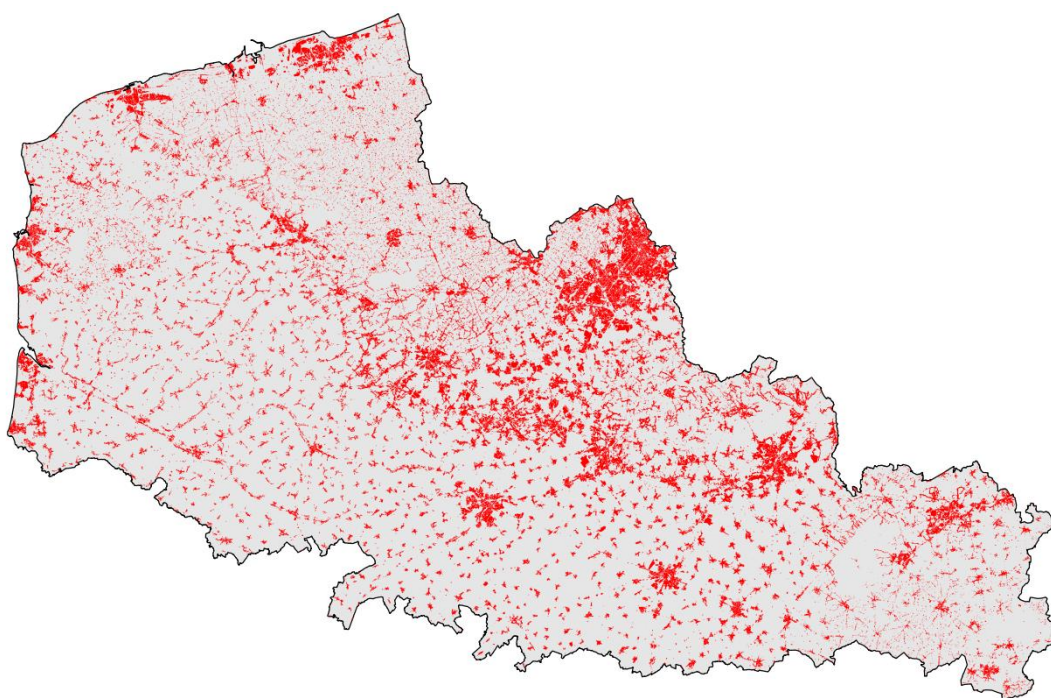


Figure 30: Les espaces urbanisés en Nord-Pas-de-Calais en 2009. Echelle 1:750000. (F. Lo Feudo, 2014)

Dans le Bilan économique du 2012 de la Région Nord-Pas-de-Calais, les dynamiques foncières régionales sont synthétisées avec l'expression suivante : *« prix à la hausse et surface à la baisse »* (INSEE - NPDC, 2013). Plus en détail le contexte du marché foncier en 2010 et 2011 est ainsi décrit : *« En 2011, les permis de construire des maisons individuelles délivrés à des particuliers en Nord-Pas-de-Calais ont été moins nombreux qu'en 2010 (– 3,7 %), la baisse étant plus forte pour le nombre de terrains achetés (– 7,1 %). La surface moyenne des terrains achetés diminue (– 3,8 %), et leur prix moyen au m² augmente (+ 13,6 %). Ainsi, le coût moyen d'une*

maison construite en 2011 est de 142 228 € pour une surface hors œuvre nette (SHON) moyenne de 137 m². Comme en 2010, le coût du terrain acheté représente un peu moins d'un tiers de l'investissement total» (INSEE - NPDC, 2013). « En Nord-Pas-de-Calais, le prix des maisons construites en 2011 est d'un peu plus de 1 000 €/m², soit 26 € de plus que la moyenne nationale. Le prix du terrain à bâtir est quant à lui de 67 €/m², soit 4 € de plus que la moyenne » (INSEE - NPDC, 2012).

Par rapport au prix de terres agricoles libres la DREAL (2013) propose une estimation de 9 190 €/ha en 2011 pour le département du Nord et de 10 050 €/ha pour le département du Pas-de-Calais et pour les terres louées de 4 400 €/ha au niveau régional. Tous ces prix dépassent largement la moyenne nationale (à respectivement 5 430 €/ha et 3 830 €/ha), avec une augmentation des prix pour les terres libres de 48% (presque le double de la moyenne nationale) et pour les terres louées de 25 % (en ligne de la moyenne nationale) entre 2004 et 2011. Par rapport au foncier non agricole « *le marché des terrains à bâtir introduit quant à lui d'inévitables distorsions du fait des perspectives de plus-values induites par l'intégration de ce marché dans l'économie urbaine. Le marché des espaces de loisirs s'apparente au marché des terrains à bâtir, même si les perspectives de rendement y sont moindres* » (DREAL, 2013).

En détail les trois-quarts des résidences principales en Nord-Pas-de-Calais sont des maisons individuelles. Si on considère par contre les différents bassins d'habitat de la région, les ménages³⁹ s'installent de plus de fréquemment dans des logements collectifs (à 45,4 %) dans la métropole lilloise, alors que les maisons anciennes sont plus nombreuses dans le bassin minier (construites entre 1915 et 1948) et les résidences secondaires dans les zones côtières (INSEE - NPDC, 2008a).

On veut ici considérer comme exemple représentatif des politiques sur le logement et l'habitat présentes en Nord-Pas-de-Calais, le Programme Local de l'Habitat⁴⁰ 2012/2018 de Lille Métropole. Il s'agit d'un document articulé qui vise à traiter dans une approche prioritaire et volontariste la thématique de l'accès au logement, en s'appuyant de manière générale sur l'objectif de promouvoir un habitat de qualité, abordable du point de vue économique, mixte et solidaire, dans une stratégie de *ville intense* (Lille Métropole, 2012).

³⁹ « Un ménage est l'ensemble des personnes qui partagent la même résidence principale, sans que ces personnes soient nécessairement unies par des liens de parenté. Par définition, aux recensements, le nombre de ménages et le nombre de résidences principales sont donc égaux » (INSEE - NPDC, 2008a).

⁴⁰* « Le programme local de l'habitat définit, pour une durée de six ans, les objectifs et les principes d'une politique visant à répondre aux besoins en logements et en hébergement, à favoriser le renouvellement urbain et la mixité sociale et à améliorer l'accessibilité du cadre bâti aux personnes handicapées en assurant entre les communes et entre les quartiers d'une même commune une répartition équilibrée et diversifiée de l'offre de logements. » Article L302-1 du Code de la Construction et de l'Habitation

En particulier, dans un scénario de faible croissance démographique, de diminution continue de la taille des ménages (qui comporte en conséquence une augmentation de la demande de logement) et de volonté de renouveler progressivement le parc de logements existants, le

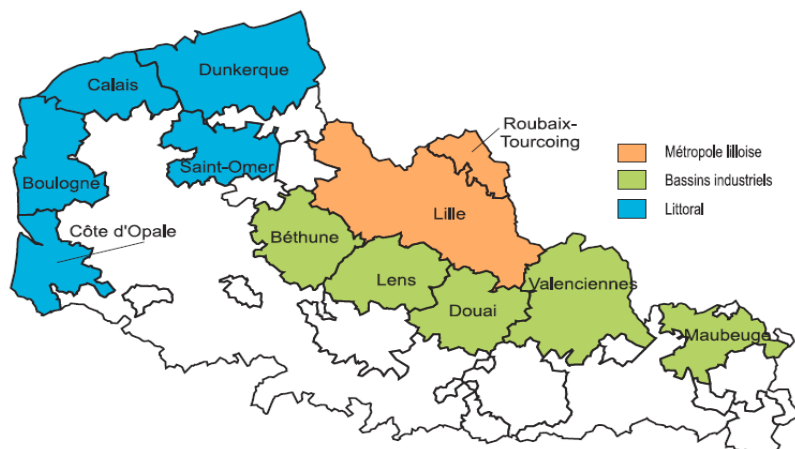


Figure 31: Les trois grandes zones d'habitat de la région (INSEE - NPDC, 2008a)

programme prévoit comme objectif d'assurer 6000 logements neufs par an (Lille Métropole, 2012). A travers des critères de continuité du tissu urbain et de proximité aux services des transports en commun et aux fonctions urbaines, ont été en fait

identifiés des espaces dotés d'un haut potentiel de construction et donc préférentiels pour la création des nouveaux logements et donc de nouvelles centralités.

L'intérêt de ce document stratégique est dû également au fait que celui-ci a été conçu selon un approche intégrée et coordonnée en regard aux orientations contenues dans le SCOT, dans le Plan de Déplacements Urbains et dans le Plan Local d'Urbanisme de la

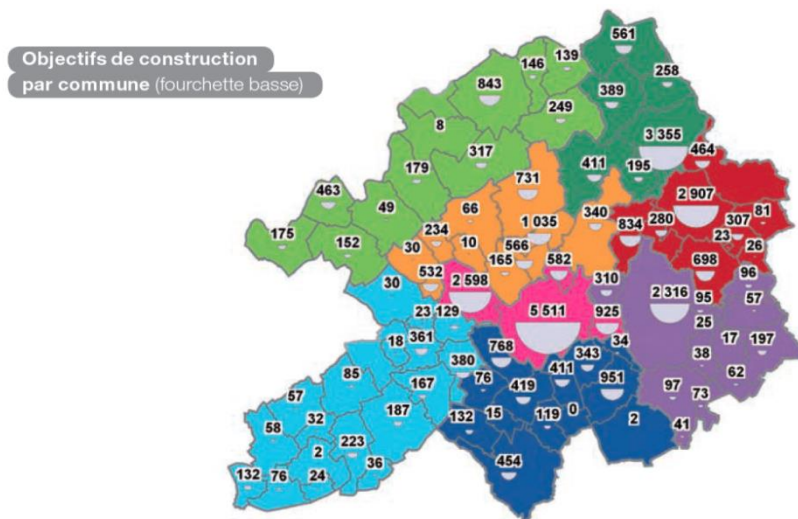


Figure 32: Objectifs de construction des nouveaux logements par commune, dans le cadre du PLH de Lille Métropole. (Lille Métropole, 2012)

métropole. Il s'agit d'un effort politique dans la thématique de l'aménagement et de la gestion foncière qui prévoit la constitution des réserves foncières à céder aux acteurs immobiliers et qui voit en outre l'apport de l'Établissement Public Foncier du Nord-Pas-de-Calais.

« L'Établissement Public Foncier (EPF) Nord-Pas-de-Calais est amplifié. L'EPF acquiert, dans le tissu urbain, des terrains complexes à mobiliser (démolitions, pollutions...) et qui ne pourraient l'être sur initiative privée en raison des coûts de remise en état nécessaire à l'aménagement du site. Après requalification (études, dépollution...), l'EPF vend le foncier libre d'occupation aux

opérateurs avec, pour les emprises foncières destinées à du logement social et de l'accès sociale, une minoration du prix de cession. » (Lille Métropole, 2012)

Des 6000 logements prévus par an un tiers serait du logement social, un tiers du logement à prix abordables et un tiers du logement libre, mais dans tous les cas sera promu la mixité générationnelle et fonctionnelle, ainsi que la qualité constructive et l'efficacité énergétique (Lille Métropole, 2012). Le Plan inclut aussi un objectif à long terme de réhabilitation de la totalité du parc logements pour 2040 et une activité continue d'observation et d'évaluation des interventions dans le temps, en particulier le rythme de constructions neuves, l'évolution des prix immobiliers et des loyers, la mobilité résidentielle. Le PLH prévoit également une évaluation à mi-parcours, qui serait mise en place en 2015. On peut conclure donc qu'il s'agit d'un exemple de politique de planification avec une approche intégrée, qui comporte des principes et des modalités d'actions inclusifs, sur la quelle toutefois on ne peut pas encore produire un bilan conclusif quant à la réalisation effective des objectifs prévus.

Dans le cadre du Schéma Régional d'Aménagement du Territoire (SDRADT), en conformité avec les dispositions de la Loi d'Orientations sur l'Aménagement et le Développement du Territoire (LOADT)⁴¹, ont été mise en place en outre deux Directives Régionales d'Aménagement (DRA) sur les sujets de la trame verte et bleue et de la maîtrise de la périurbanisation⁴² (Conseil Régional NPDC, 2009). La DRA sur la maîtrise de la périurbanisation est en substance un document publié en 2009, qui énonce des principes d'action, impliquant les institutions régionales, départementales et les collectivités locales, touchant à la gestion de la problématique du *processus ininterrompu* (Conseil Régional NPDC, 2009) d'étalement urbain qui affecte la région. Comme l'étalement urbain dépasse le cadre des intercommunalités et constitue une problématique régionale, mais que d'autre part le Conseil Régional n'a pas autorité sur l'usage des sols, il existe un besoin de coordination entre plusieurs échelles territoriales. En focalisant l'attention sur les problématiques liées à des phénomènes excessifs de périurbanisation et d'artificialisation du territoire, comme la consommation de terres naturelles et agricoles, l'augmentation des distances moyennes des déplacements et donc des émissions de CO₂, ainsi que la saturation des infrastructures de transport et la faible qualité urbaine et inclusion sociale, l'objectif est celui de maîtriser la périurbanisation à travers la définition de certains objectifs

⁴¹ Art. 5 : Le Schéma Régional d'Aménagement du Territoire [...] peut recommander la mise en place d'instruments d'aménagement et de planification ».

⁴² « La périurbanisation est étymologiquement une urbanisation autour. [...] Désigne deux modes d'urbanisation non durable : un déploiement à grande échelle, principalement résidentiel, génère par une agglomération mais localisé dans des espaces en discontinuité spatiale avec celle-ci ; un étalement du tissu urbain sous des formes peu denses et peu structurées, au porteur de la tache urbaine existante ». (Conseil Régional NPDC, 2009)

fondamentaux (Conseil Régional NPDC, 2009). La DRA en fait ne possède pas un caractère normatif mais, entend fixer les fondements et le cadre de référence sur lesquels concorder des engagements par les acteurs de l'aménagement du territoire, qui se concrétisent essentiellement dans l'idée de favoriser la densification urbaine en suivant l'armature des réseaux de transport en commun, de manière attractive et socialement accessible, en préservant le milieu rural (Conseil Régional NPDC, 2009). En particulier avec la mise en œuvre de la Charte Régionale sont spécifiés les démarches de progrès et les obligations des moyens et des résultats, qui sont déclinées ultérieurement, selon les différentes spécifiées territoriales, dans les Chartes Locales. Ils définissent les engagements à prendre dans chaque territoire, par exemple avec des seuils de densités fixées selon les différents contextes. En substance les Chartes locales de maîtrise de la périurbanisation sont des contrats entre les acteurs régionaux, départementaux et locaux, qui entendent partager des objectifs communs.

4.3. La situation régionale du système de transport et les stratégies de développement

La région Nord-Pas-de-Calais présente une importante dotation en infrastructures de transports, de niveau routier, ferroviaire et portuaire. Avec 5800 établissements et environ 80000 salariés dans ce secteur en 2009, 1,9 de véhicules particuliers immatriculés au 2010, et 146 millions de tonnes de marchandises transportées en 2011, le mode routier est largement prédominant. Cette région doit certainement faire face à des défis assez complexes par rapport aux transports et à la mobilité.

« En 2012, le secteur des transports a été fortement affecté par la crise économique qui a conduit à une forte diminution des immatriculations de véhicules neufs (mouvement accentué par la fin de la prime à la casse) et à une baisse du trafic routier de marchandises. Par ailleurs, les modes de transports les moins polluants ne semblent pas profiter pleinement des politiques environnementales visant à réduire les émissions de CO² » (INSEE - NPDC, 2013).



Figure 33: Évolution du nombre d'immatriculations de véhicules particuliers neufs (INSEE - NPDC, 2013).

déplacements journaliers, notamment ceux du type domicile-travail et domicile-achat.

Parmi les données les plus intéressantes sur la situation des transports en Nord-Pas-de-Calais, liées également aux facteurs socio-économiques décrits précédemment, on peut signaler une tendance à la baisse des immatriculations de véhicules neufs (-14,5% en 2012), qui se confirme de manière toujours plus importante depuis le 2010 (INSEE - NPDC, 2013). En outre dans le Bilan économique 2012 du Nord-Pas-de-Calais publié par l'INSEE en 2013, la baisse du nombre de tonnes-kilomètres de marchandises circulant sur les routes dans la région est indiquée comme un

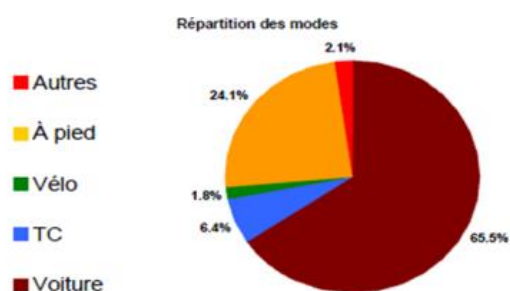


Figure 34: Répartition des modes de transport (Conseil Régional NPDC, 2010)

effet positif dû à la mise en place des directives de la loi Grenelle de l'environnement. Au contraire le trafic de marchandise via Eurotunnel et les voies fluviales maintiennent des niveaux acceptables, avec une progression importante des échanges à travers les canaux qui lient la région avec la Belgique et le Pays-Bas (INSEE - NPDC, 2013). En analysant les conclusions

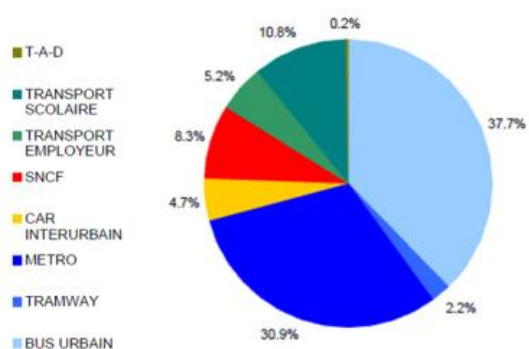


Figure 35: Répartition des modes de transport en commun (Conseil Régional NPDC, 2010)

contenues dans le rapport d'évaluation de l'Enquête Régionale Mobilité et Déplacement (ERMD) de 2009, on peut focaliser l'attention sur les caractéristiques de la mobilité et des déplacements de la population régionale. Cette enquête est constituée par l'assemblage de plusieurs enquêtes urbaines réalisées à différentes dates, complétées par une enquête spécifique pour les espaces non couverts par des

EMD locales. En particulier l'enquête indique un taux de mobilité à 3,88 déplacements par jour par personne, dont 2,44 effectués en voiture (soit 65% de la part totale des déplacements) et 0,25 en transports en commun (6.4%) (Conseil Régional NPDC, 2010). La à pied représente la deuxième modalité de déplacement la plus utilisée (24.1%), alors que le taux d'occupation des voitures particulières s'élève au niveau régionale à 1.26 personne par véhicule. Au total dans la région ont été comptés 13,1 millions de déplacements par jour en 2009, dont 87% se sont déployés à l'intérieur de chaque périmètre de l'enquête, 11% entre les périmètres et 2% avec l'extérieur de la région (Conseil Régional NPDC, 2010). En considérant exclusivement les transports collectifs, les modes urbains (bus urbain, tramway et métro) représentent 70% des déplacements, avec le train à 8.3% et le bus interurbain à 4.7% (Conseil Régional NPDC, 2010). Grâce à l'ERMD (2010) on peut aussi apprendre que les déplacements de type multimodaux (pendant lesquels on utilise deux modes de transport mécanisés ou plus), représentent seulement 1% du total et se composent pour le 25.3% des cas d'une combinaison entre le train régional et la voiture particulière. 28.3% des déplacements multimodaux sont en outre effectués en utilisant au moins deux modes de transport urbain, alors que le 10% est représenté par la combinaison entre le TER et les modes urbains (Conseil Régional NPDC, 2010).

En particulier 23.3% des déplacements regardent la mobilité du type domicile-travail, dont le 10% sont effectués à pied, le 77% en voiture et le 6.8% avec des transports en commun (Conseil Régional NPDC, 2010). Dans la métropole lilloise en particulier, ces types de déplacements sont passées d'une durée moyenne de 13.3 minutes en 1998 à 14,9 minutes en 2008, avec une distance moyenne qu'y est passée de 2,8 km à 3 km (au niveau régionale 8 Km en 1998 et 41 Km en 2006), en ligne de tout façon avec les tendances nationales.

Les zones d'emploi de Lille et Valenciennes se caractérisent par des taux d'entrée supérieurs aux taux de sortie, au contraire des zones d'emploi de Sambre-Avesnois, Cambrésis, Béthune-Bruay, Lens-Hénin, Douaisis et Flandre-Lys, qui présentent une tendance inverse (INSEE - NPDC, 2008). En outre la moitié des salariés qui se déplacent chaque jour vers la métropole lilloise parcourent des distances en moyenne supérieurs à 30 Km ou à 35 minutes (INSEE - NPDC, 2008). La majorité des flux domicile – travail convergent donc vers la métropole lilloise, mais il existe des flux transversaux entre les aires urbaines de l'Arc sud⁴³ et du Bassin minier qui ne sont pas négligeables, surtout entre le Valenciennois et le Douaisis, le Cambrésis et l'Avesnois et entre l'Artois et l'aire de Lens et Béthune (Dezetter, 2013). En 2006 sur ces types de déplacement l'Agence de développement et d'urbanisme de Lille Métropole, l'Insee Nord-Pas-de-Calais et la Mission Bassin Minier ont calculé que 9 fois sur 10 c'est la voiture qui est le mode de transport utilisé (Lille Métropole, 2011).

⁴³ Aire urbaine qui comprend les agglomérations urbaines de Béthune, Lens et Douai.

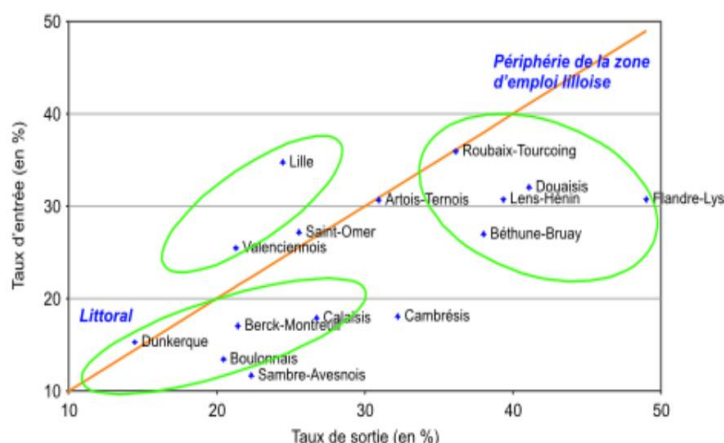


Figure 36: Navettes en entrée et sortie des zones d'emploi au 2005. (INSEE - NPDC, 2008)

La situation des territoires du bassin minier présente, comme déjà mentionné précédemment, d'importantes difficultés de type socio-économique, qui s'associent à un taux de dépendance à la voiture particulière qui dépasse la moyenne nationale.

En fait, face à une moyenne nationale du taux de possession des voitures qui se situe à environ 60 % des ménages, les aires de Lens, Liévin et Hénin-Beaumont atteignent un taux du 63 %, qui s'élève à 71 % pour l'aire de Béthune (Dorantes & Heddebaut, 2012). Pour faire face à cette dominance de la voiture dans le système de mobilité, plusieurs interventions sont en cours de mise en œuvre dans différents zones de la région. L'Autorité des Transports du béthunois (SMT Artois-Gohelle) a, par exemple, planifié la mise en service de deux nouvelles lignes de transport en commun en site propre (tramway ou bus), entre Béthune et Houdain et entre Liévin, Lens et Hénin-Beaumont (Dorantes & Heddebaut, 2012), alors que pour le métro automatique (VAL) de Lille, l'opérateur Transpole prévoit depuis le 2014 un renforcement significatif de la capacité de transport, en vue des travaux de doublement de la longueur des rames de la ligne 1.

« Le Nord-Pas-de-Calais est la première région française pour l'industrie ferroviaire, la deuxième pour l'industrie automobile et la troisième pour l'activité logistique /transport »⁴⁴ (Conseil Régional NPDC, 2013).

Le Schéma Régional des Transports et des Mobilités (SRTM)⁴⁵, volet du Schéma Régional d'Aménagement et de Développement Durable du Territoire (SRADDT) pour le Nord-Pas-de-Calais, synthétise sa vision stratégique à 2030 et sa prospective future de développement régional, dans la proposition de « Faire du Nord-Pas-de-Calais un hub au cœur de l'Europe » (Conseil Régional NPDC, 2013) et dans deux objectifs majeurs :

⁴⁴ Extrait du Schéma Régional des Transports et des Mobilités pour le NPdC (2013).

⁴⁵ Six ans après la publication du Schéma Régional des Transports et ensuite en outre à la création de l'outil de coopération institutionnelle du Syndicat Mixte Intermodal Régional de Transport, dans le 2013 a été adopté une révision générale du document, en s'appuyant sur les piliers de la mobilité durable et de la transversalité.

- *Un système de transport au service de l'attractivité des territoires, du bien-être de la population et de la mobilité régionale ;*
- *Une plate-forme d'échange, valeur ajoutée pour le rayonnement et le développement régional.*

Il s'agit d'un défi important, mais qu'on peut considérer comme étant à la portée de ces territoires, en raison de la position stratégique et de la dotation en infrastructure déjà suffisamment performante. Dans le détail les trois grands axes de développement pour les transports régionaux, qui seront exposée en suite, se basent sur les évolutions et les problématiques plus marquantes soulignées par le Conseil Régional Nord-Pas-de-Calais dans le SRADDT⁴⁶ (document que a été actualisé en 2013, selon le principe de *SRADDT évolutif*), sous la forme suivante: accompagner les dynamiques concurrentielles et réduire les inégalités entre territoires générées par la globalisation; favoriser l'intensification des échanges et des déplacements conséquentes à *l'émergence d'une société de la connaissance*; intégrer le Nord-Pas-de-Calais dans les nouveaux équilibres territoriaux européens; *lutter contre les pollutions et le changement climatique*; contraster les phénomènes d'exclusion, inégalité et ségrégation socio démographique (Conseil Régional NPDC, 2013a). Plus en détail, pour ce qui concerne les transports, le SRADDT signale des évolutions et des transformations à envisager en regard notamment de la limitation de la consommation d'énergies fossiles, de l'utilisation performante des nouvelles technologies, d'une organisation plus concurrentielle de l'offre de transport, d'une réponse à l'augmentation des déplacements de type occasionnel et enfin d'une plus grande flexibilité de l'intervention publique (sous forme de partenariats public privé, de programmation des investissements, d'introduction d'une économie des services liée aux transports, etc.).

Dans ce contexte se développent les trois principaux axes d'intervention du SRTM en Nord-Pas-de-Calais. En prévision d'une progressive augmentation du trafic de marchandises et de passagers, notamment de type routier, l'objectif est d'inciter un rééquilibrage modal vers les transports collectifs, le fret ferroviaire et fluvial, de manière à limiter les problématiques liés à la saturation de réseaux et donc de congestion, de pollution et d'insécurité (premier axe). La *tendance à la métropolisation* des espaces régionaux est un autre un phénomène que le SRTM entend gérer à travers la *mise en réseau des principales aires urbaines* et donc des flux qui vont se renforcer entre elles, tout en promouvant la diffusion du droit à la mobilité dans l'ensemble du territoire en limitant les disparités et l'isolement des certaines aires moins attractives (deuxième axe) (Conseil Régional NPDC, 2013).

⁴⁶ La responsabilité de rédiger le SRADDT a été confiée aux Régions par la Loi d'Orientation pour l'Aménagement et le Développement Durable du Territoire du 25 Juin 1999.

« La forte augmentation des prix des logements a contribué à un décalage accru entre lieux de résidence, d'emploi, de formation, de loisirs et de consommation, favorisant l'éloignement de certaines populations des services et une dépendance accrue au véhicule individuel et à son corollaire, le prix du carburant. La précarité énergétique liée aux transports apparaît comme un enjeu majeur pour la population régionale. » (Conseil Régional NPDC, 2013).

Un troisième axe s'appuie en outre sur le *besoin d'ouverture à l'Europe* et donc sur la nécessité de valoriser et favoriser l'intégration de la région avec le flux de transport internationaux, tant routier (à travers l'Euro-corridor Amsterdam-Paris), que ferroviaire (le trafic transmanche et avec la région de la Ruhr, la Randstad, les grandes métropoles de Londres, Paris, Bruxelles et Amsterdam, ainsi que l'est européen) et maritime (grâce aux trois ports régionaux), en manière de réponse à la compétition internationale croissante et aux transformations des équilibres économiques actuels (Conseil Régional NPDC, 2013).

En substance dans ces documents on retrouve bien mis en avant le besoin de développer un système de transport le plus possible équilibré et orienté vers l'intermodalité. L'intérêt est de renforcer les transports collectifs et notamment les services ferroviaires régionaux (TER) dans la répartition modale, encore largement dominée par les voitures, en renforçant la cohésion et les perspectives de durabilité des territoires de la région.

En continuant à analyser les propositions contenues dans la SRTM, on peut souligner des enjeux fondamentaux, avec une différenciation entre les différents modes de transport (Conseil Régional NPDC, 2013). Pour le mode ferroviaire ceux-ci se concrétisent dans l'objectif d'amélioration générale de l'offre et de doublement de la fréquentation à l'horizon du 2030.

Pour le contexte du transport maritime l'objectif est d'affirmer une « *stratégie de grande région maritime* », avec une valorisation des territoires environnants les trois grands ports régionaux (Boulogne, Calais, Dunkerque), en intégrant de manière cohérente les fonctions et les activités des ports, ainsi que leurs liaisons et connexions avec l'infrastructure ferroviaire régionale (en faisant du Nord-Pas-de-Calais une « *plate-forme logistique en Europe* »).

Par rapport à la mobilité de longue distance, les questionnements touchent essentiellement les modes des transports rapides (TGV et aérien), avec les enjeux de renforcer les liaisons du réseau à grande vitesse français avec ceux des autres pays européens, et d'augmenter l'offre internationale et l'accessibilité vers l'aéroport régional de Lesquin, ainsi que vers les aéroports voisins de Bruxelles, Charleroi, Roissy et Beauvais. Ensuite *la saturation du réseau routier régional est une préoccupation plus grande* (Conseil Régional NPDC, 2013), qui s'accompagne de l'énoncé du fait que la simple augmentation de la capacité routière plutôt que d'apporter une

solution au phénomène de saturation, tend à générer une demande de transport routier supplémentaire et donc, à terme, tend à aggraver la congestion et la pollution.

Les solutions proposées vont donc dans la direction de la hiérarchisation des trafics routiers, en éloignant les flux internationaux des aires urbaines, en promouvant une offre intermodale entre la route et les transports en commun, en promouvant des pratiques de mobilité alternatifs comme le covoiturage et l'autopartage et en renforçant les liaisons entre les aires côtières et l'aire urbaine centrale. Des réflexions et des études ont été aussi mise en place pour évaluer l'opportunité d'introduire des systèmes de péage et de tarification du réseau autoroutier, en particulier pour les poids lourds en transit.

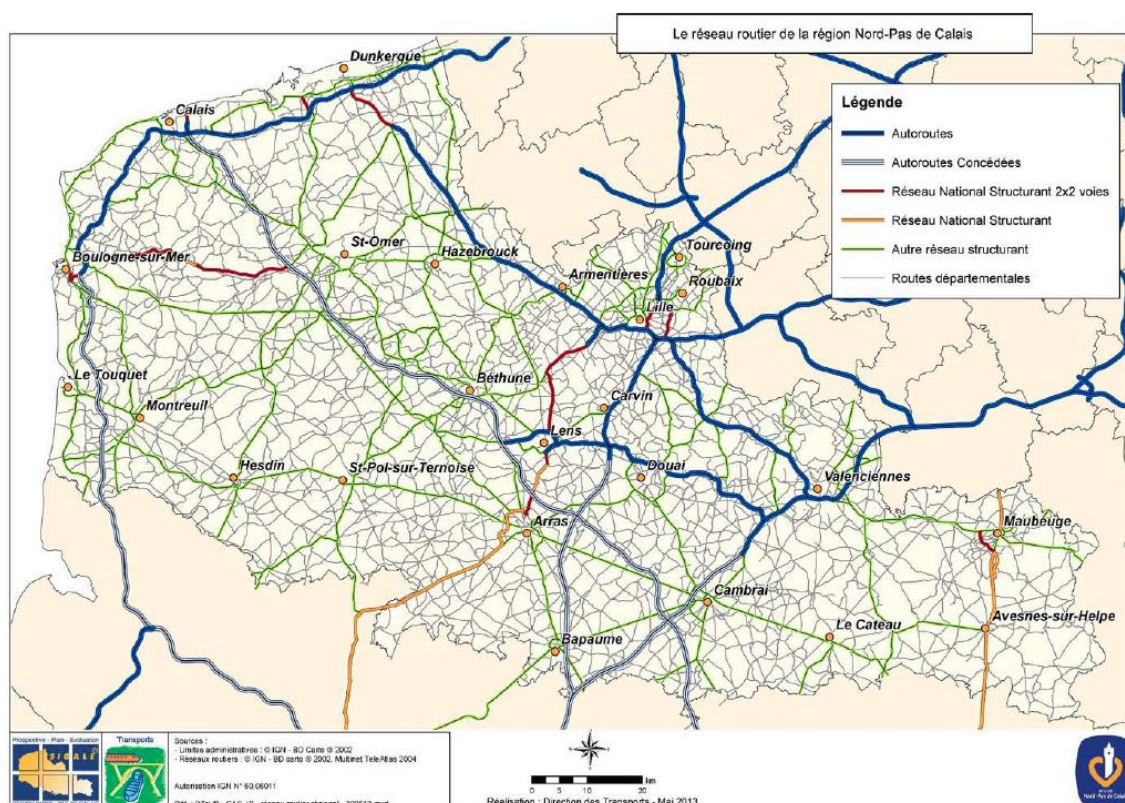


Figure 37: Le réseau routier de la région Nord-Pas-de-Calais (Conseil Régional NPDC, 2013).

Enfin une grande importance est accordée au mode vélo et à la à pied et, dans le domaine du fret, vers le développement du système d'infrastructures fluviales.

Par rapport aux modes actifs, l'objectif fondamental est de favoriser le plus possible ces pratiques de mobilités pour les déplacements de courte distance et pour les connexions vers les gares et vers les accès aux réseaux des transports en commun. Ces intentions se concrétisent dans la proposition de développer un réseau régional de Vélo-routes et des Voies Vertes, avec des connexions prévues également avec le territoire de la Belgique et l'adoption d'un Plan vélo régional. En plus la région s'engage à promouvoir l'intermodalité TER/vélo passant par un

réaménagement des gares en fonction d'une amélioration de l'accessibilité aux services ferroviaires par les modes doux.

4.3.1. Le contexte ferroviaire régional et ses perspectives de développement

« Le Schéma Régional des Transports et des Mobilités propose de poursuivre la mise en place un réseau ferroviaire de grande qualité, territorialement maillé, véritable épine dorsale sur laquelle viennent s'articuler les autres transports collectifs » (Conseil Régional NPDC, 2013)

Le Nord-Pas-de-Calais est sûrement une région avancée dans le cadre du transport ferroviaire. Région expérimentatrice de la réforme qui attribua la compétence sur le TER au niveau régional ; c'est aussi la première région qui expérimenté, depuis le 2000, l'introduction du train régional à grande vitesse (TER-GV) et la troisième région ferroviaire mondiale en comptant le nombre d'emplois (10.000 soit 40% des emplois de la filière française) et d'entreprises (200) actifs dans le secteur. Toutefois en analysant avec



Figure 38: Trains TER en attente à la gare Lille Flandres.

attention la dotation en infrastructure et l'offre des services ferroviaires de la région Nord-Pas-de-Calais, on peut retrouver des disparités et inégalités territoriales lesquelles d'ailleurs correspondent aux écarts socio-économiques exposés dans les paragraphes précédents. Si en fait des espaces se retrouvent largement connectés avec le réseau ferroviaire de grande vitesse nationale et internationale, d'autres souffrent une connexion faible et peu performante même par rapport aux destinations régionales.

« [...] la bonne accessibilité de Lille aux capitales européennes contraste avec celle de territoires frontaliers de proximité qui ne disposent bien souvent que de liaisons routières » (Conseil Régional NPDC, 2013).

En même temps certains tronçons et axes ferroviaires sont saturés et avec des fréquences insuffisantes : il existe donc un besoin évident de modernisation des infrastructures et de réorganisation de la circulation.

Si on considère les données sur les montées et descentes par gares et points d'arrêt du réseau TER Nord-Pas-de-Calais, fournis par la Région à travers son portail en ligne de données ouvertes⁴⁷, les gares de Lille Flandres, Douai et Arras sont les plus utilisées en 2010, tant en considérant une semaine type entière, qu'une journée seule dans la semaine. Les gares de Lille Europe, Hazebrouck et Lens suivent dans cette classification, avec plus de 50.000 et ensuite Armentières et Dunkerque au-dessus des 40.000 montées et descentes dans une semaine.

Il s'agit toutefois de données que n'expliquent pas de manière claire les problématiques de saturation de certaines lignes ferroviaires, qui effectivement existent dans la région. Entre 2002 et 2010 les voyageurs en TER ont augmenté de 85.000 à 115.000 par jour, pour un pourcentage du 32 %, en comparaison de la hausse du 27 % de l'offre ferroviaire par rapport à 2002.

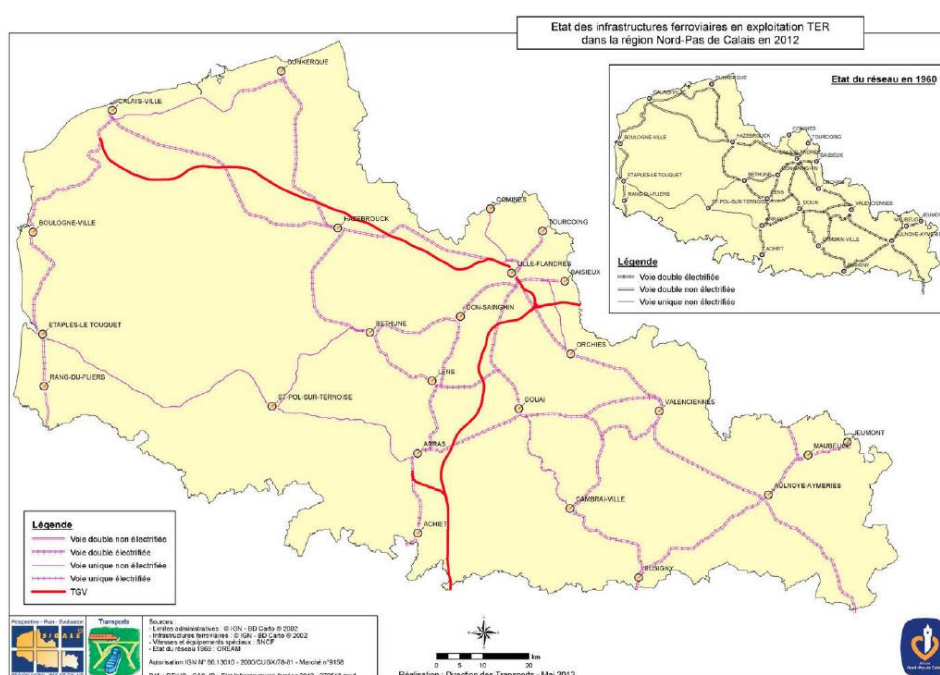


Figure 39: Etat des infrastructures ferroviaires en exploitation TER dans la région Nord-Pas-de-Calais en 2012
(Conseil Régional NPDC, 2013).

Dans ce contexte la région considère plusieurs objectifs futurs :

« Le doublement de la fréquentation, entre 2006 et 2020, constitue l'ambition régionale dans ce domaine, ce qui veut dire viser un doublement du nombre des usagers réguliers, soit 100 000 usagers et 200 000 voyages par jour en 2020 » (Conseil Régional NPDC, 2013).

L'intention est en outre d'arriver à connecter tous les pôles urbains régionaux principaux en moins d'une heure avec la métropole lilloise, en particulier avec les aires du littoral, d'Arras, de

⁴⁷ <http://opendata.nordpasdecals.fr>

l'Avesnois, de l'Audomarois, du Ternois et du Cambrésis. Le renforcement des liaisons ferroviaires entre Lille et l'Arc sud, s'avère aussi stratégique, dans le cadre d'une décongestion des accès routiers à la métropole lilloise et d'une limitation de l'étalement urbain dans ces territoires. En particulier le SRTM (2013) indique la nécessité de constituer un service de type RER à localiser long les autoroutes A1 et A25, avec une incitation à l'intermodalité route/train pour faciliter le report modal vers le ferroviaire. Les autres objectifs sont ceux d'accélérer la modernisation ferroviaire du Littoral, d'améliorer les liaisons transversales régionales et de renforcer les liens des principaux centres régionaux au réseau européen de la grande vitesse (Conseil Régional NPDC, 2013). Ils existent plusieurs projets et travaux en cours sur le réseau TER régional, pour mettre en œuvre la modernisation des infrastructures. Certains des projets prévus englobent : le doublement et l'électrification de la ligne Calais – Dunkerque, la modernisation de la ligne Etaples – Saint Pol – Béthune, l'amélioration de la desserte sur l'axe Lille – Lens et dans le Cambrésis et l'aménagement de plusieurs nœuds et pôles d'échange ferroviaires (Sin Le Noble, Beuvrages, Hazebrouck, Fouquereuil, Ostricourt)⁴⁸. Dans le cadre des opérations de désaturation du réseau TER, financées par le projet *Grand Emprunt*⁴⁹, certains travaux ont été récemment terminés, comme le doublement de la ligne Don Sainghin – Béthune (42,5 % de l'investissement par la région : 36,5 M€) ou sont en cours d'avancement comme la modernisation de la ligne Busigny-Somain (15 % de l'investissement par la région : 12,3 M€), l'augmentation de capacité de la gare Lille Flandres (71,6 % de l'investissement par la région : 34,7 M€) et l'électrification et modernisation de la ligne Boulogne-Rang du Fliers (90,7 % de l'investissement par la région : 63,5 M€) (SIGALE NPDC, 2010). Au total la Région a investi environ 450 M€ en 5 ans dans la modernisation du réseau, comme d'ailleurs dans le renouvellement du matériel roulant (le parc TER en 2012 enregistre un âge moyen de 18 ans)⁵⁰, avec un important retour économique prévu pour l'industrie ferroviaire régionale, présente surtout dans le valenciennois.

Un projet qui suscite beaucoup d'intérêt et sur lequel les collectivités régionales basent des vastes ambitions est celui de la liaison RER entre Lille et Hénin et donc entre la métropole et le bassin minier. Il s'agit d'un tronçon ferroviaire neuf, d'environ 30 km, qui prévoit de lier la gare lilloise de Lille Flandres à Henin-Beaumont, en passant par Lesquin Aéroport, Seclin, Carvin et le terril de Saint-Henriette. Le projet prévoit la mise en place d'une liaison rapide, sans bifurcation

⁴⁸ « A mi-2013, sur les 211 gares et points d'arrêt que comporte le Nord-Pas-de-Calais, 145 ont fait l'objet d'interventions et de nombreux projets sont en préparation. » (Conseil Régional NPDC, 2013).

⁴⁹ Le Grand Emprunt ou investissement d'avenir a été lancé en 2010 par l'État français, suite à la crise économique et financière du 2008 et 2009. L'emprunt est structuré en plusieurs programmes : Centres d'excellence ; Valorisation de la recherche ; Santé et biotechnologies ; Énergie, économie circulaire ; Transports ; Emploi, égalité des chances ; Urbanisme Logement ; Économie numérique ; Financement des entreprises. (www.gouvernement.fr)

⁵⁰ <http://www.ter-sncf.com>

et passage à niveaux, avec un temps de parcours prévu de 17/21 minutes et fréquences de 5 minutes en heure de pointe et de 10 minutes en heure creuse (Conseil Régional NPDC, 2013). Sont aussi prévus des antennes supplémentaires de raccordement avec le reste du réseau ferroviaire régionale, vers Armentières et vers Tourcoing en direction nord et vers Brebières et Cambrais en direction sud (Nord Eclair, 2013). L'objectif est celui de rééquilibrer les flux entre l'aire urbaine centrale de la région et Lille et de capter avec le service ferroviaire environ 30000 voyageurs journaliers (avec des simulations qui ont prévu 50000 voyageurs à l'horizon 2030 (Nord Eclair, 2013)), soit 30 % des déplacements effectués en voiture (Conseil Régional NPDC, 2013). Cet ambitieux projet prévoit un important investissement financier, évalué par le Conseil Régional autour de 1,2 milliard d'euros, avec également des contributions de l'État et de l'Europe (Nord Eclair, 2013).

Un autre projet qu'on entend citer par son importance stratégique et par le fait qu'il représente un exemple de négociation et de coordination entre acteurs pour la gestion du foncier ferroviaire (thématique que sera traité dans le prochain paragraphe) est celui du pôle d'échange d'Armentières. La gare d'Armentières, située à seulement 800 mètres du centre-ville et avec 4.600 passagers par jour en 2012 (en hausse du 39% par rapport à 2005) (Christiansen, et al., 2012), représente une porte d'entrée dans la métropole lilloise et donc un nœud ferroviaire très stratégique dans l'optique de décongestionner l'autoroute A26 entre Lille et Dunkerque. L'idée est de renforcer la fonction de pôle d'échange de cette gare, en renforçant la connexion avec les services de transport en commun, notamment les bus urbains et interurbains, en améliorant les accès des modes actifs à la gare et la qualité, l'attractivité et le niveau de densité (de résidences et activités) dans le quartier environnant la gare. Pour développer ce projet un difficile travail de négociation et de gestion du foncier a été mise en place entre LMCU (propriétaire d'une partie du foncier et du parking), SNCF (propriétaire de la gare), RFF (propriétaire de l'infrastructure ferroviaire) et TRANSPOLE (propriétaire de la gare routier et du vélo-parking). De ce fait deux ans ont été nécessaires pour convaincre l'SNCF à vendre ses terrains pour la réalisation du projet, notamment le terminal bus, tandis que les principaux financiers du projet sont la Région et LMCU (Christiansen, et al., 2012). En substance sur le site trois autorités de transport différentes (Région, Département et LMCU) sont engagées, et ont réussi à coordonner leurs rôles (LMCU leader du projet et la Région intermédiaire avec les intercommunalités) et à négocier avec la SNCF et tous les opérateurs de bus une re-modulation des horaires, de manière à améliorer la coordination entre les différents services (Christiansen, et al., 2012). En substance l'exemple d'Armentières est intéressant pour l'interconnexion entre service ferroviaire, bus, vélo et voiture particulier, ainsi que pour le réaménagement des espaces d'accès à la gare, pour la coordination mise en place entre les acteurs impliqués dans le projet et pour le travail de concertation

effectué avec la population. On pourrait de ce fait conclure que l'exemple d'Armentières va sans doute dans la direction d'un Transit Oriented Développement, avec une déclinaison tout à fait adaptée au contexte urbain et territoriale spécifique.

La région a aussi mis en place un travail de concertation avec les Autorités Organisatrices de Transport (AOT), qui a abouti en 2009 à la création d'un Syndicat Mixte Intermodal Régional de Transport (SMIRT). Le SMIRT vise à coordonner les compétences et les décisions concernant la politique de tarification et de billettique (ex. le système de billettique intégré *PassPass* utilisé dans la communauté urbaine de Lille), ainsi que l'introduction de systèmes innovants d'information multimodale des usagers (ex. Le système d'information de la SNCF : NAVI'TER).

4.3.2. Gares et quartiers de gares. La question de la gestion du foncier ferroviaire

Le réseau ferroviaire de la région Nord-Pas-de-Calais comprend au total 210 gares ou points d'arrêts. La gestion du foncier autour de ces points d'accès aux services ferroviaires et de transport en commun est un enjeu de grand intérêt, en direction duquel plusieurs actions ont été mises en place, tant au niveau régionale que locale. Comme observent A. Groux et P. Menerault (2011), depuis l'introduction de la loi *Solidarité et Renouvellement Urbains* (Décembre 2000) et ensuite de la *Loi de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement* (Août 2009) et la loi *Engagement National pour l'Environnement*, la législation française a fortement incité les collectivités à agir en faveur du développement urbains orienté vers le rail et les transports en commun. Notamment avec l'introduction de densités minimales dans les espaces environnant les gares et en donnant la priorité soit à l'urbanisation des secteurs déjà dotés de services de transports en commun performants, soit à des opérations d'urbanisation nouvelle, intégrée avec le réseau du transport collectif (Groux & Menerault, 2011). Travailler et réfléchir sur les gares et les quartiers de gares impose également la nécessité de s'interroger sur la définition de cette typologie urbaine et spatiale. Ceci pose une question de périmètre abordée par L. Bertolini et T. Split (1998), en proposant quatre possibilités d'approche : à travers la définition d'un périmètre d'accessibilité piétonne à la gare ; à travers le repérage des éléments attractifs, caractérisant l'espace environnant la gare ; à travers un découpage arbitraire ou enfin en se basant que sur les aires concernées par des opérations d'aménagement. Pour analyser cette thématique on entend exposer les conclusions et informations issues des travaux réalisés dans le projet de recherche de la *Plateforme d'Observation des Projets et Stratégies Urbaines* (POPSU) sur la thématique des gares, pôles d'échanges et leurs quartiers.

Il s'agit d'un travail de recherche qui peut constituer une aide à l'action publique et à la compréhension des enjeux, des complexités et les tensions qui résident dans les relations entre les pôles d'échanges et la ville. On se réfère en particulier aux documents contenus dans le rapport de recherche publié en octobre 2013, concernant l'analyse des problématiques et enjeux regardant les gares lilloise, ainsi que les comptes-rendus des séminaires POPSU-Lille qui ont eu lieu entre mars 2012 et juin 2013, sur la thématique de la gestion du foncier ferroviaire et de l'articulation entre urbanisme et transport (Menerault, 2013a).

Van der Poorten et Nedellec (2013) synthétisent à ce regard les principales initiatives qui caractérisent la stratégie foncière du Nord-Pas-de-Calais. Notamment les apports plus significatifs signalés sont ceux provenant par les documents stratégiques régionaux comme les SCOT, les PLU, le *Schéma régional Climat Air Énergie*, la *Directive régionale d'aménagement* du SDRAT (« *Maîtrise de la périurbanisation* »), les DIVAT lilloise et les travaux de l'Établissement Public Foncier (EPF) régional et *des ateliers de méthodologie du foncier*(AMF)⁵¹ (Van der Poorten & Nedellec, 2013). Les mêmes auteurs ont aussi proposé un travail de classification des typologies des quartiers de gare régionales, selon leurs caractéristiques de configuration et d'insertion urbain (Van der Poorten & Nedellec, 2013). Ce travail a été d'ailleurs un point de départ important dans le travail de conception des hypothèses de base, pour la modélisation intégrée d'usage du sol et transport pour la région Nord-Pas-de-Calais, qu'a animée le présent travail de recherche doctorale et qui sera présentée en détail dans les chapitres suivants.

La question fondamentale de savoir si l'urbanisation autour des gares pourrait permettre de limiter l'étalement urbain et la dépendance automobile a effectivement animé l'analyse élaborée dans le cadre de l'atelier « *Valorisation foncière des gares TER* » du CERTU (Richer, 2013). Ce travail d'expertise se base sur l'évaluation des effets et surtout sur une analyse de la congruence de l'interaction entre les politiques régionales de transport (qui considèrent prioritaire un renforcement de l'offre TER, avec l'objectif de doubler sa fréquentation) et d'urbanisme (qui voient plusieurs collectivités engagées dans la création des logements autour de gares). Plusieurs éléments critiques apparaissent en conclusion de l'étude, par rapport à la réelle congruence entre l'usage quotidien du train et la diminution de l'usage de la voiture, entre l'augmentation de l'offre ferroviaire et l'interruption du phénomène de périurbanisation et entre urbanisme autour des gares et mobilités alternatives et formes urbaines compactes et intenses (Richer, 2013).

⁵¹ Instauré et animé depuis juin 2004 par l'Établissement Public Foncier, l'Atelier des Méthodologies du Foncier (AMF) constitue un lieu d'échange, de mutualisation, voire de co-construction de méthodologies et d'outils d'aide à la décision permettant d'accompagner l'émergence et la mise en œuvre de stratégies foncières dans les territoires du Nord-Pas-de-Calais. (<http://www.epf-npdc.fr>)

Le contraste entre la complexité de la mise en place des interventions de densification autour des gares et leur faible influence sur les enjeux de réduction de l'étalement urbain et de la dépendance automobile peut être toutefois réduit, selon les conclusions de l'atelier, grâce à l'activation des leviers regardant soit les transports que l'urbanisme. Notamment la mise en place des politiques de limitation du stationnement et de contrôle de l'accès (tarification) du trafic automobile dans les centres urbains, peuvent favoriser l'augmentation de l'utilisation des modes actifs dans les déplacements de rabattement à la gare (Richer, 2013). L'activation d'un système de veille foncière et d'observation croisée des dynamiques urbaines, du foncier et du transport, peut par contre représenter le levier à mobiliser dans la planification urbaine. Le projet de recherche-action *Bahn-Ville* a, dans cette optique, fourni un apport très intéressant à la problématique de la gestion foncière autour des gares (L'Hostis & Leysens, 2013). Il s'agit d'un projet franco-allemand qui, entre 2007 et 2010 a travaillé sur le terrain de Saint-Étienne en France et de Francfort en Allemagne, en promouvant le développement des outils d'aide à la décision et à la coordination entre acteurs (techniciens, élus, chercheurs, etc.) de l'aménagement urbain et des transports. Ont été donc créés des périmètres d'observation, basés sur des disques d'accessibilité des modes actifs et des bus, qui ont permis d'identifier du foncier facilement accessible et donc mobilisable, ainsi que d'évaluer le gain d'accessibilité dû à l'introduction d'un nouveau mode de transport en site propre. Six critères ont été enfin identifiés, pour la réussite d'un projet d'urbanisme orienté vers le rail (L'Hostis & Leysens, 2013) :

- Une offre ferroviaire attractive ;
- un développement urbain concentré autour des gares ;
- des réseaux locaux de mobilité active de haute qualité ;
- des services de transports en commun coordonnés et intégrés ;
- des politiques d'aménagement conjointes et coordonnées entre acteurs et secteurs ;
- un environnement décisionnel commun et partagé.

En revenant à la thématique des gares et des quartiers de gares, un acteur crucial est sans doute Réseau Ferré de France (RFF). Celui-ci est un établissement public né en 1997, propriétaire et gestionnaire du réseau ferroviaire française et également le 2^{ème} plus importante propriétaire foncier public de France (103 000 ha, dont 4 000 ha classifiés comme mutables). Sur son patrimoine foncier se jouent bien évidemment plusieurs enjeux, qui sont influencés par différents facteurs, liés aux prévisions de croissance de l'activité ferroviaire, à la perspective d'ouverture du réseau à la concurrence et aux besoins diffus de logement (Veillard, 2013). Ainsi la nécessité d'optimiser l'utilisation du foncier ferroviaire, en vue de l'entrée dans le marché des services ferroviaires de nouveaux opérateurs dans le marché des services ferroviaires, a été

associée à l'engagement de RFF de libérer du foncier pour la construction entre le 2010 et 2012 de plus de 3000 logements. La difficulté et la complexité de gestion des opérations de cession foncière liées à cette activité et la nécessité de mettre le plus possible en relation le monde ferroviaire et celui de l'aménagement, ont inspiré donc l'adoption par RFF des *Schémas Directeurs du Patrimoine Ferroviaire*. Ces documents s'occupent en fait entre autre, de gouverner les opérations de mise en valeur du patrimoine foncier ferroviaire considéré comme mutable, en séparant les terrains qui doivent conserver une fonction ferroviaire de ceux qui peuvent être destinés à d'autres fonctions. En Nord-Pas-de-Calais, à partir du 2007 (CERTU, 2012), ont été réalisés des Schémas Directeurs du Patrimoine Ferroviaire pour Valenciennes (5 sites sur 67 ha), Boulogne sur Mer (7 sites sur 71 ha), Dunkerque (3 sites sur 55 ha) et Lille (9 sites sur 244 ha). La conception du document se constitue en différentes phases: une phase initiale qui prévoit un état de lieux général des sites et de leurs fonctionnalités; une deuxième phase qui vise à intégrer et coordonner les directives provenant de tous les documents stratégiques de planification et aménagement; une troisième phase enfin qui prévoit la définition des perspectives de mutabilité. La SNCF a également considéré la thématique de l'adaptation des gares à leur contexte et ambiance urbaine comme prioritaire et depuis 2009 a institué la branche « *Gare et Connexions* », qui s'occupe de la construction ou rénovation des gares ainsi que de leur requalification et valorisation commerciale (Menerault, 2013). Une stratégie qui révèle une ambition générale de *faire entrer la ville dans la gare*, mais qui ne s'occupe pas des espaces et du foncier à l'extérieur de la gare. Un autre acteur central dans ce domaine spécifique de la gestion foncière est l'Établissement Public Foncier (EPF), qui depuis 1990, s'occupe de gérer les opérations de requalification des friches industrielles et donc aussi ferroviaires. L'EPF a donc une fonction d'opérateur public qui accompagne et soutien les collectivités territoriales dans la gestion des opérations d'acquisition foncière et immobilière. En particulier l'EPF du Nord-Pas-de-Calais à travers ses *Programmes Pluriannuels d'Interventions Foncières*, s'occupe de promouvoir des mutations foncières des friches industrielles en logements sociaux et de mettre en œuvre la trame verte et bleue. Dans ce cadre d'activités on retrouve l'action d'accompagnateur de projet de l'EPF, sur plusieurs quartiers de gares, avec l'objectif de requalifier le foncier ferroviaire en friche et de « *développer l'offre foncière du renouvellement urbain autour des réseaux de transport en commun et dans les périmètres des pôles d'échanges et des disques de valorisation des axes de transport (DIVAT)* ». En substance l'EPF agit soit à l'intérieur des gares ou des pôles d'échange, soit hors des périmètres des opérations ferroviaires, sur des terrains valorisables. En Nord-Pas-de-Calais l'EPF a vu son action évoluer depuis des interventions plus généralement dédiées à la requalification des friches ferroviaires (vallée de la Sambre, Roubaix), à des opérations spécifiquement dédiées aux

quartiers de gares et à la création des pôles d'échanges intermodaux (Somain) (Briquet & Kasynski, 2013). Par exemple, dans le cas d'Aulnoye-Aymeries, l'EPF a acheté des terrains, pour une opération de recomposition urbaine d'un quartier proche de la gare, tandis que à Lens l'établissement a acquis des immeubles résidentiels et commerciaux et du foncier ferroviaire toujours dans le cadre d'une opération de requalification de la gare, mise en place en contact direct avec les collectivités locales (Briquet & Kasynski, 2013). En perspective de la mise en œuvre du Programme Pluriannuel d'Investissement 2015/2019 l'EPF a promu une étude de repérage du foncier mutable, situé à moins de 500 mètre d'un point d'accès au réseau du transport en commun en site propre (Briquet & Kasynski, 2013).

La stratégie foncière adoptée par la communauté urbaine de Lille se propose pareillement de gérer l'interaction entre le transport et l'urbanisme à travers l'introduction du concept et du principe des DIVAT (*Disques de Valorisation des Axes de Transport*). Dans le contexte d'une politique de promotion du concept de ville intense, moins dépendante de l'usage de l'automobile et plus orientée vers la mobilité active et vers l'usage des transports en commun, les DIVAT représentent en fait des outils d'aménagement et d'analyse du potentiel de développement urbaine et des performances d'accessibilité autour des gares ou des stations des transports en commun (Depière, 2013). Il s'agit des disques de rayon de 500 mètres centrés sur un nœud (gare ou arrêt) du réseau du transport collectif, conçus avec l'idée de valoriser les espaces concernés, en promouvant un développement urbain de qualité et multifonctionnel (logements, activités économiques, services, équipements publics, etc.), qui puisse favoriser l'utilisation des transports en commun. En particulier à partir de 2008 ont été identifiés 500 ha de foncier sous forme de friche valorisable, situés à l'intérieur du Plan Local d'Urbanisme en vigueur, ainsi que environ 2000 ha (sur un total de 5000 ha identifiés) de surface résidentielle ayant une densité faible et donc comportant un potentiel de développement (Depière, 2013). L'outil des DIVAT permet pareillement d'analyser en détail les modalités de rabattement des modes actifs vers les transports en commun et les gares ferroviaires, avec l'intention de veiller sur l'état et la qualité des cheminements piétonniers et cyclables. Un premier bilan suite à l'introduction des DIVAT révèle toutefois la nécessité de coupler cet outil à une stratégie de veille et maîtrise foncière, en lien aussi avec les dynamiques qui se développent à l'extérieur de ces aires (Depière, 2013). D'ailleurs Lille Métropole Communauté Urbaine dans son Plan de Déplacements Urbains intègre le concept des DIVAT et préconise la création d'un système de pôles d'échanges⁵² multimodaux qui puisse renforcer la structure multipolaire de la métropole (Schmitt & Groux, 2013). À l'échelle de l'aire métropolitaine en outre la Mission Bassin Minier a

⁵² Lille Gares-Places des Buissonnes ; Gare de Tourcoing ; Villeneuve d'Ascq-Pont de Bois ; Lille Sud-Porte des Postes ; Gars d'Armentières ; Gare de Don-Sainghin ; Marcq en Baroeul-Clemenceau Hippodrome.

été chargée par l'AML de travailler sur les dynamiques des pôles d'échanges situés dans l'arc sud de la métropole, en concentrant l'action sur trois thématiques : l'accessibilité internationale, le renforcement des services de transport collectif et la promotion du potentiel logistique de l'aire métropolitaine (Dezetter, 2013). Avec l'objectif de consolider la cohérence, la lisibilité et l'efficacité des performances du transport collectif, l'action de la Mission Bassin Minier a été donc développée sur quatre axes : la hiérarchisation et la capillarité de l'offre de transport en commun ; la multimodalité et la comodalité (promotion du covoiturage) ; la complémentarité de l'offre de transport avec les lieux d'intermodalité (pôles d'échanges) ; les services intégrés (information, tarification et billettique) (Dezetter, 2013). L'idée est en synthèse celle d'affirmer la fonction de porte d'entrée dans la métropole de l'Arc sud, en améliorant l'articulation entre les différents modes de transport en lien avec le fonctionnement urbain des pôles d'échanges.

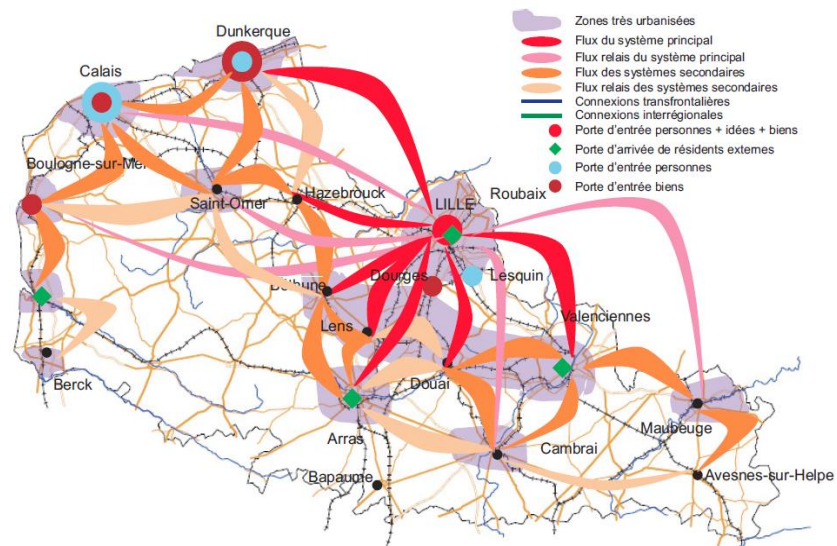
Les informations et considérations présentes dans ce paragraphe visent à illustrer l'importance et la complexité de la thématique de la gestion du foncier ferroviaire et des espaces urbains environnant les gares et les pôles d'échanges de la région. L'intention est surtout de montrer comment plusieurs actions et initiatives de types stratégiques et opérationnels ont été entreprises par les collectivités et les organismes de recherche régionaux, sur cette thématique. Tous ces acteurs ont montré en effet un clair intérêt et volontarisme par rapport au sujet des gares et quartiers de gares et donc en relation à l'amélioration de l'articulation entre politiques de transport et urbanisme, avec un regard particulier sur la maîtrise du foncier ferroviaire.

Le travail de modélisation qui complète cette thèse de doctorat, veut ainsi se proposer comme un apport de type scientifique et applicatif, qui puisse contribuer à poursuivre les réflexions précédemment présentées. Une approche multi scalaire, qui puisse intégrer un regard régional d'ensemble et également une réflexion sur l'échelle urbaine et métropolitaine, ainsi qu'une attention prioritaire à la conjonction des politiques de transport et urbanisme, sont les piliers fondamentaux de cette recherche. Dans cette optique, le chapitre poursuit avec des réflexions sur les opportunités et les perspectives de développement régional. On entend en fait proposer et analyser l'applicabilité et la reproductibilité des politiques de réorganisation du système intégré de transport et d'urbanisme, avec pour orientation stratégique de structurer le développement régional le long des axes de transport collectif, notamment du réseau ferroviaire. Ces idées sont en fait à la base du travail de modélisation qui sera introduit de manière synthétique dans le dernier paragraphe et traité plus précisément dans le chapitre suivant.

4.4. Opportunités et perspectives de développement urbain et régional selon les principes du TOD ou d'un urbanisme orienté vers le rail et les transports en commun

Dans ce travail de thèse on propose une perspective stratégique et intégrée de planification, avec une approche croisée entre transport et urbanisme, qui puisse agir en relation au contexte territorial et fonctionnel de la région Nord-Pas-de-Calais. En détail l'objectif est de réussir à agir par la résolution des couples de tension qui caractérisent l'interaction entre les différentes échelles temporelles et spatiales du territoire et entre les facteurs de proximité et d'accessibilité, de mixité et diversité, d'échange et d'intimité, de densité et qualité (Menerault, 2013a). En particulier l'appel qui ressort des multiples réflexions présentes dans les chapitres précédents est celui de concevoir des politiques qui favorisent la concentration du développement urbain à proximité des réseaux de

transport en commun. Une direction de développement qui doit être évidemment couplée avec des interventions touchant la mobilité, l'habitat, le foncier, l'aménagement urbain, l'équité et l'inclusion sociale, et qui suppose un adossement



au réseau régional de transport ferroviaire. En conséquence de cette idée d'organisation stratégique du territoire régional, le rapport entre gare et ville et entre réseau et territoire devient un enjeu crucial, qui comme l'a observé P. Menerault (2013a), dans le cas de la région Nord-Pas-de-Calais s'articule selon deux problématiques principales. D'abord le niveau d'adaptation des équipements existants aux nouvelles besoins et modalités d'organisation fonctionnelle des services de transport en commun proposés, notamment ferroviaire, est important. D'autre part émerge le besoin de considérer une approche systémique, plus équilibrée par rapport aux différentes centralités et polarités présentes sur le territoire et moins basée sur un logique radiale et monocentrique qui converge exclusivement sur les gares lilloise et qui tend à séparer les fonctions urbaines. Cette *spécialisation monofonctionnelle du territoire* peut être associée au phénomène de la périurbanisation, ainsi qu'à une *spécialisation sociale de*

l'espace, à une dépendance de l'usage de l'automobile et à un *usage extensif du foncier* (Conseil Régional NPDC, 2009). Suite à ces réflexions, émerge également le besoin d'effectuer une analyse territoriale qui permette de repérer les espaces régionaux les plus attractifs, représentatifs des dynamiques existantes et possédant la plus grande potentialité de développement futur. À ce propos une étude de l'INSEE relève l'attractivité des territoires régionaux du Nord-Pas-de-Calais (Becuwe, 2013) et nous permet de repérer plusieurs indications sur les spécificités et sur les opportunités de développement de ces territoires ; en entendant par attractivité la capacité d'un territoire à attirer des ressources, des investissements et plus généralement une demande d'emploi, de production ou résidentielle et touristique, émanant de l'extérieur. Dans le cas du Nord-Pas-de-Calais les données attestent une attractivité faible, par rapport au reste de la France, de toutes les zones d'emploi, sauf celles de Lille et de Valenciennes (Becuwe, 2013). Ces deux agglomérations se caractérisent d'ailleurs par une attractivité qui concerne des secteurs différents, plus orienté vers les professions libérales pour Lille et vers le secteur industriel automobile et ferroviaire pour Valenciennes. Cette attractivité, liée aux secteurs productifs, tire également une attractivité de type résidentiel, aidée aussi par le bon niveau d'accessibilité aux grands axes autoroutiers et ferroviaires, mais qui provoque en même temps une pression foncière plus intense, accompagné par des phénomènes d'étalement urbain, de congestion, de pollution et donc de plus faible durabilité. Dans un registre opposé, le Pays Montreuillois et le Pays des Sept Vallées sont signalés dans la même étude comme caractérisés par une importante attractivité liée au tourisme et de type résidentielle, surtout liée à la catégorie des retraités (Becuwe, 2013). Enfin les zones du Ternois et du Cœur d'Ostrevent sont signalés comme dotés

d'une attractivité résidentielle notable, à la différence des autres zones d'emploi, vues essentiellement comme faiblement attractifs, avec surtout les territoires côtiers (le Calaisis, le Dunkerquois et le Boulonnais), qui n'arrivent pas à affirmer pleinement leurs potentialités.

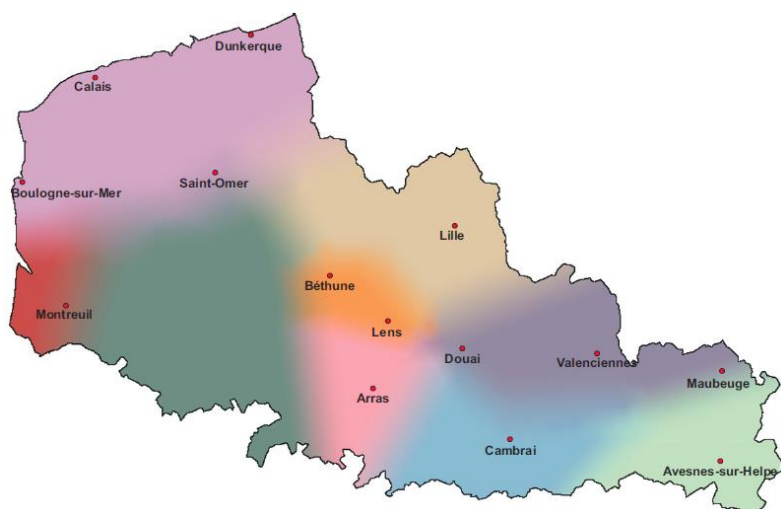


Figure 41: Découpage transversal de la région en 9 espaces (Fabre, 2012).

En analysant les spécificités, les dynamiques d'interconnexion et d'interdépendance et, entre les différents espaces régionaux, l'Insee, le Conseil régional et la Préfecture de région, ont réparti le

territoire du Nord-Pas-de-Calais dans neuf ensembles, distincts de périmètres institutionnels et en considérant les tendances observées depuis des décennies, plutôt que des facteurs de type qualitatif et liés au fonctionnement territorial (Fabre, 2012). Il s'agit d'une reconfiguration qui « *présente des zones de tension, signes d'espaces en pleine mutation ou subissant des influences croisées* » (Fabre, 2012) et basée essentiellement sur l'influence des pôles économiques et d'emploi, ainsi que sur l'attractivité et sur le poids démographique. En particulier dans cette étude on constate la forte intégration sociale et économique de l'espace lillois et la vaste conurbation qui inclut Lille-Villeneuve-d'Ascq-Roubaix-Tourcoing, ainsi que l'influence de l'aire lilloise en direction du Béthunois et vers Lens et Douai (le long de l'autoroute A1) et le nord de Valenciennes, à travers un phénomène important de migration résidentielle (Fabre, 2012).

Par rapport aux territoires plus à l'est du bassin minier, où Douai connaît une interdépendance assez nette avec le pôle d'emploi de Lille alors que Valenciennes jouit d'une plus grande autonomie et d'un équilibre des flux liés à l'emploi, l'étude montre comment l'aire d'influence de cette zone comprend aussi les territoires du Cambrésis, de la Sambre-Avesnois et de Quesnoy, Bavay et Maubeuge. En même temps les fortes problématiques de dégradation sociale des zones situées à l'ouest du bassin minier restent des enjeux difficiles. Malgré en fait une re-dynamisation du marché du travail dans l'aire de Lens-Levin, cette zone est toujours en *perte de vitesse* (Fabre, 2012), avec une faible attractivité résidentielle et des hauts taux de chômage. Des dynamiques plus favorables semblent s'instaurer par contre dans l'aire de Douai et de Béthune, alors que l'avesnois apparaît être trop isolé pour rattraper cette impulsion, à cause d'un fort phénomène d'exode rural qui n'arrête pas de se poursuivre. L'aire d'influence d'Arras est notée comme étant comme en expansion, avec des liens importants avec la Picardie, la zone de Lens-Liévin-Hénin-Carvin et Lille. L'espace du littoral en outre, qui comprend les aires urbaines de Boulogne-sur-Mer, Calais, Dunkerque et Saint-Omer, s'appuie sur une dimension portuaire et tertiaire également en développement, sans toutefois faire preuve pour le moment d'une diminution significative des taux de chômage (Fabre, 2012). Tout au long de la frontière belge, les flux des travailleurs transfrontaliers sont très significatifs, surtout dans la partie sud vers Jeumont et dans l'aire de Lille, Roubaix et Tourcoing, en créant des aires et des zones d'interdépendance qui s'étendent bien au-delà des limites institutionnelles régionales. Certaines études révèlent une situation du Nord-Pas-de-Calais relative aux indicateurs de développement durable comme étant *défavorable* (INSEE - NPDC, 2013a). Une analyse mise en place par l'INSEE, avec l'objectif d'évaluer l'évolution de cinquante-quatre indicateurs de type économique, social et environnemental, explicatifs du niveau de développement durable dans toutes les régions de France, positionne le Nord-Pas-de-Calais en 2^{ème} position parmi les quatre classes considérées. Ces classes ou profils ont été constitués en fonction de plusieurs facteurs et critères qu'incluent

entre autres : *l'espérance de vie, le niveau d'étude, le taux d'activité des femmes, le taux de chômage, le PIB par habitant, la production d'énergie renouvelable, le taux de surface artificialisé, les dépenses intérieures en recherche et développement* (INSEE - NPDC, 2013a). La classe qui contient le Nord-Pas-de-Calais, est caractérisée par une situation essentiellement avec (INSEE - NPDC, 2013a):

- *Un PIB par habitant faible, un chômage élevé avec pour conséquence des revenus bas. Et un niveau de la recherche très bas.*
- *Des indicateurs sociaux dégradés du point de vue de l'espérance de vie, du niveau de diplôme et du surendettement.*
- *Du côté environnemental des indicateurs relativement dégradés à l'exception du faible niveau des pics d'ozone du fait notamment du climat.*

En conclusion nous allons revenir sur les objectifs stratégiques au niveau régional dans le domaine du transport et de l'aménagement, contenus dans le document du DREAL relatif au bilan et aux perspectives de la consommation du sol en Nord-Pas-de-Calais. En considérant une densité moyenne régionale de 15 ménages et emplois par hectare (en 2009), et la perspective en 2020 d'un passage de 1800 ha/an de croissance urbaine à 500 ha/an, la densité marginale de population attendue devrait être de l'ordre de 2,25 fois celle que l'on connaît actuellement (DREAL, 2013). La DREAL préconise donc une valeur de 36 ménages et emplois par chaque hectare d'extension urbaine. En plus la stratégie d'aménagement indiquée comme la plus adaptée à cette perspective est celle qui privilégie le renouvellement plutôt que l'extension urbaine, avec des interventions de densification autour des gares et des arrêts de transport en commun, de manière de limiter la périurbanisation et l'augmentation des distances moyenne entre les nouveaux lieux de résidence des ménages et les pôles centraux.

« Pour répondre aux nouveaux besoins en logements et en surfaces tertiaires, sur les 148 communes de plus de 5 000 habitants et emplois desservies par le TER : construire d'ici 2020 dans les aires d'accessibilité aux gares 20 000 logements et 452 000 m² de surface hors œuvre nette (SHON) de locaux tertiaires. »

On entend donc dans le cadre de cette recherche doctorale partager cette vision stratégique de développement régionale autour du réseau TER et proposer une déclinaison encore plus spécifique et détaillée relative à l'implémentation d'une telle politique. C'est notamment dans le cadre du travail de modélisation intégré d'usage du sol et transport, en utilisant le logiciel *Tranus*, qui sera introduit dans le paragraphe suivant et illustré dans le détail dans le prochain chapitre, que seront évalués les effets et les impacts d'une politique de densification urbain

autour de certains points d'accès au réseau ferroviaire du Nord-Pas-de-Calais, sélectionnés par leur potentiel de développement.

4.5. Conception d'une modélisation intégrée pour le Nord-Pas-de-Calais

Le modèle *Tranus* pour la région française du Nord-Pas-de-Calais a été conçu essentiellement dans le but d'analyser, simuler et évaluer les dynamiques d'interaction entre le système de transports, le système économique et des activités et le système résidentiel, avec une approche multi scalaire, qui comprend les échelles urbaine, suburbaine et régionale et multi temporels avec des simulations sur différents horizons temporels futurs. C'est en substance un modèle d'économie spatiale, qui considère l'espace comme une surface à consommer (ou occuper) et également comme un ensemble des distances à franchir, pour passer d'une fonction à une autre du territoire. En particulier, l'objectif principal de ce travail est de tester l'opportunité d'application d'un plan régional de *Transit Oriented Development* ou plus précisément d'*urbanisme orienté vers le rail et les transports en commun*, consistant à concentrer le développement urbain futur le plus possible en proximité des axes ou corridors et nœuds du réseau ferroviaire régional. L'intérêt fondamental est donc celui d'analyser, grâce à l'implémentation du modèle, les effets de ces politiques intégrées dans la perspective de la résolution des problématiques considérées comme prioritaires dans le cadre des documents stratégiques de planification régionale (*Schéma Régionale des Transports et Mobilités ; Contrat de projet État-Région Nord-Pas-de-Calais*), comme l'étalement urbain et la consommation excessive des sols naturels et la prédominance de la voiture particulier dans la répartition modale globale de la demande de transport. À cet égard, certains corridors ou axes ferroviaire régionaux ont été identifiés comme potentiellement capables d'accueillir des interventions de planification et de réorganisation de politiques de transport et d'aménagement du territoire, en suivant les principes du modèle urbain de *TOD*. Ensuite, sur ces zones, des hypothèses de densification urbaine progressive, d'amélioration et de renforcement de la qualité de l'offre des services de transport collectifs, ainsi que l'application de politiques d'intégration tarifaire entre les transports en commun urbains et le service ferroviaire régional et des interventions de frein de l'usage de la voiture ont été simulées, dans un horizon temporel de 16 ans (2009 – 2025). L'objectif est d'évaluer les effets sur l'évolution des dynamiques de localisation résidentielle et des activités et sur la répartition modale de la demande de transport. L'infrastructure ferroviaire régionale existante est en effet considérée, dans les documents de planification stratégique régionale comme l'élément sur lequel fonder et construire le développement futur régional, en

suyant des principes de durabilité environnementale et énergétique, de croissance économique et de promotion d'un meilleur niveau de qualité de vie.

Pour toutes les zones du modèle les résultats et les tendances d'évolution dans le temps seront donc analysés par rapport à des données réelles observées dans l'année de référence 2009, caractérisant plusieurs paramètres clés, liés aux transports et à l'usage du sol, résultant de l'ensemble des effets attendus de plusieurs scénarios futurs. Plus dans le détail, la démarche de modélisation se compose de plusieurs étapes qui se suivent et qui s'intègrent l'une dans l'autre, de manière interdépendante. En substance, il s'agit de définir d'abord les objectifs et les hypothèses de caractère général, en spécifiant le terrain d'étude, le zonage et les indicateurs pertinents à modéliser et analyser. Tous ces choix et activités de modélisation dépendent de la disponibilité des bases de données et d'indicateurs observés sur le terrain d'étude et dans la période temporelle de référence. Le logiciel *Tranus* demande en particulier un ample volume de données qui concernent en substance tant le système de transport que les dynamiques d'usage du sol. En particulier par rapport au système de transport, il faut définir d'abord la structure du *offre physique (physical supply)* de transport qui se développe à l'intérieur de l'aire d'étude, en spécifiant les caractéristiques fonctionnelles (capacité, réduction de vitesses en fonction de la congestion, connexions, sens interdit, péages, etc.) correspondants à chaque type d'infrastructure (voies urbaines, routes nationales, autoroutes, réseaux ferroviaires, de tramway, métro, etc.). Ensuite il faut introduire dans le modèle ceux que *Tranus* définit comme l'*offre opérationnelle (operative supply)* de transport, c'est-à-dire tous les modes ou opérateurs de transport qui peuvent circuler à l'intérieur du réseau, spécifiés selon leurs caractéristiques distinctives (vitesse par typologie de réseau, consommation d'énergie par unité de distance, capacité et taux d'occupation moyen, etc.) et surtout toutes les lignes de transport collectifs en service, caractérisées selon leur fréquence, tarification et interaction fonctionnelle (possibilité de transferts). En regard aux dynamiques d'usage du sol, les données de base à insérer dans le modèle se réfèrent à la quantité de population et d'emplois (classifiée et distribuée en catégories) présente dans chaque zone et à la surface de sol disponible pour chaque typologie d'usage. Ensuite pour chaque zone et chaque typologie d'usage du sol il faut aussi définir les prix fonciers. Dans le cas spécifique traité dans ce travail, le modèle ne prend en compte que les caractéristiques fonctionnelles des terrains urbanisés et donc seulement les catégories d'usage du sol résidentiel ou d'activités productifs, en associant à chacune d'entre eux une typologie immobilière spécifique, de manière de pouvoir définir des hypothèses de densité d'occupation du sol et aussi pour mieux associer les données des prix immobiliers disponibles⁵³ aux zones du modèle. Il s'agit bien évidemment d'un choix de modélisation qui permet de simplifier la réalité

⁵³ www.meilleuragents.fr

sans la trahis, à travers un compromis dans la représentation qui tient toutefois compte des principales caractéristiques et dynamiques d'usage du sol du terrain d'étude. Le fonctionnement du modèle nécessite également de la définition des catégories de population et d'emploi et de leurs caractéristiques et attributs spécifiques concernant les préférences dans les dynamiques de choix, tant de mobilité que de localisation. Pour chacune de ces catégories sera donc associé un segment de demande de transport, qui se distingue des autres par de les comportements et pratiques de mobilité. Les attributs comportementaux et socio-économiques qui vont être définis dans *Tranus*, en fonction de chaque catégorie d'utilisateurs du réseau de transport, sont en particulier conditionnés par la valeur du temps de déplacement et du temps d'attente, au pourcentage moyen de déplacements effectués par unité de temps et au taux de possession des véhicules particuliers. En outre, il est possible de définir à l'intérieur du modèle des paramètres comportementaux touchant aux préférences de choix parmi les différents modes de transport disponibles et touchant également aux différentes typologies d'usage du sol présents dans les terrains d'étude et donc disponible pour être « consommé » à un prix déterminé.

Toutes ces hypothèses constituent la structure de base du modèle et sont utilisées pour implémenter un scénario de base dont l'objectif est de simuler et reproduire les données réelles effectivement observées. Techniquement cette démarche est définie par le terme calibration et constitue l'étape plus complexe et délicate de l'activité de modélisation, tant au niveau du temps demandé matériellement pour tester la validité de tous les différents indicateurs, que par la difficulté de définir la méthodologie et la démarche correcte de calibration, en considération du fait que même si le logiciel *Tranus* permet pour certaines valeurs de faciliter la calibration (grâce par exemple à l'option *freeze*⁵⁴ qu'a été introduite dans le programme LCAL⁵⁵ de *Tranus*), pour tout le reste des indicateurs il s'agit plutôt d'un travail itératif du type *essai et erreur*, qui nécessite un niveau d'expérience élevé et un grand savoir-faire du modélisateur. Dans le cas spécifique du travail de modélisation illustré dans ce document, l'activité de calibration a été

⁵⁴ « L'option *freeze* réduit l'instabilité causée par deux procédures distinctes, mais pas indépendant: le choix de localisation et le choix et consommation d'un type de sol et plus génériquement de la production induite et non-transportable. [...] Avec cette option toute la production transportable sera supposé exogène et égal aux données. Par conséquent, aucun flux seront générés, aucun prix de référence seront calculées, et aucun désutilités de transport seront requises pour les secteurs transportables. Avec cette option, seuls les secteurs non transportables seront calculés par le modèle, avec des paramètres donnés pour les fonctions de demande, en calculant les prix d'ajustement (*shadow prices*). [...] Un avantage supplémentaire de cette méthode est que il ne faut pas lancer la recherche de chemin (*path search*) et l'affectation initiale afin de l'appliquer, car aucun désutilités de transport sont nécessaires. Cela permet aux chercheurs de travailler simultanément dans les deux modèles. » (de la Barra, 2011) bhhbh

⁵⁵ Le programme LCAL simule la localisation et l'interaction des activités et d'usages des sols, en fonction, entre autres, des coûts des transports et des désutilités, et génère une première estimation des flux socio-économiques

accomplie grâce au support direct du professeur Tomas de la Barra et de l'équipe du bureau d'étude Modelistica, basée en Caracas (Venezuela), dans le cadre d'un séjour de recherche que s'est déroulé dans la période de septembre et octobre 2013. Une fois que le scénario base est calibré, on peut affirmer que le modèle arrive à reproduire correctement (ou plus précisément avec une erreur acceptable) les données relatives à la période temporelle de référence, qui dans ce cas est l'année 2009. C'est seulement après cette phase qu'il devient possible de procéder à l'implémentation et à la définition des scénarios futurs de modélisation.

En particulier tous les scénarios alternatifs qui ont été implémentés sont définis sur un horizon temporel de 16 ans et donc jusqu'en 2025. Il s'agit en synthèse d'un scénario A "*au fil de l'eau*", qui est mis en œuvre pour disposer d'un aperçu de l'évolution du système intégré régional, en ne supposant aucun changement majeur dans les politiques des transports et d'usage des sols.

Ce scénario est également utile pour obtenir des résultats comparables avec ceux des scénarios consacrés à la simulation des politiques de TOD. Un scénario B référé à l'application d'un *Plan Régional de TOD* prévoit dans certaines zones, des interventions de densification urbaine et d'amélioration de l'offre de transport en commun, de manière progressive. À partir de ce deuxième scénario est développé aussi un troisième scénario C, qui prévoit en plus du précédent, des interventions de frein à l'usage de la voiture, comme l'introduction du péage autoroutier et des mesures d'incitation à l'usage du transport public que sont l'institution d'un système d'intégration tarifaire entre le service ferroviaire régional et les réseaux des transports collectifs urbains. Tous les détails sur les hypothèses à la base du travail de modélisation, la définition des paramètres et des indicateurs présentes dans le logiciel *Tranus*, les phases d'implémentation, calibration et d'exécution du modèle et enfin les résultats obtenus, sont illustrés dans le chapitre suivant.

4.6. Conclusions

La région Nord-Pas-de-Calais représente le terrain d'étude de ce travail de recherche doctorale. L'objectif de ce chapitre était de ce fait essentiellement de fournir une vue d'ensemble et globale sur le contexte et sur la situation actuelle de la région, du point de vue économique, social et environnemental, en mettant en évidence ses points de force et de faiblesse. Au-delà du point de vue général, l'intérêt de ce chapitre est en particulier de fournir une analyse détaillée concernant les dynamiques régionales relatives à l'emploi, à la gestion de l'usage du sol et de l'accès au logement, ainsi qu'à l'organisation des systèmes de transports, notamment de type ferroviaire. Cette analyse nous a ensuite permis de développer une réflexion sur les opportunités de réorganisation et d'adaptation des territoires régionaux face aux perspectives de développement urbain et régional propres du TOD, envisagées et préconisées plus ou moins clairement dans les documents stratégiques de planification et d'aménagement régional. de plus, cette analyse nous a fourni les bases pour procéder à la définition des hypothèses de départ et des paramètres à analyser dans le cadre du travail de modélisation intégrée d'usage du sol et transport.

On observe en synthèse une région qui, si on compare le dynamisme de l'aire métropolitaine lilloise et de l'aire urbaine centrale avec les difficultés socio-économiques présentes dans le reste du territoire, paraît avancer à deux vitesses, marquée par des situations de disparité et d'inégalité territoriale et par des phénomènes généralisés de précarité et de chômage. Le territoire régional est en outre caractérisé en même temps par des niveaux élevés d'artificialisation des sols et d'étalement urbaine, avec la grande majorité de la population régionale habitant et travaillant en milieu urbain. En réponse à cette dynamique on observe un effort et une volonté au niveau territoriales, dans le sens de réduire la consommation des sols et la dispersion urbaine. C'est le cas du *Programme Local de l'Habitat 2012/2018* de Lille Métropole, qui propose un programme de renouvellement urbain et de création de nouveaux logements, intégrés aux tissus urbains existants et situés à proximités des réseaux des transports en commun, en proposant du logement social à prix abordable pour promouvoir la mixité sociale et l'accès aux services et ressources du territoire par les catégories sociales défavorisées. Dans le cadre du *Schéma Régional d'Aménagement du Territoire* (SDRADT), avec la mise en place des *Directives Régionales d'Aménagement* (DRA) le Conseil Régional essaie également de maîtriser la périurbanisation et de limiter les phénomènes d'étalement urbain, en recommandant essentiellement de concentrer le favoriser le développement et la densification urbaine le long des réseaux des transports en commun Par rapport aux transports ont été en outre mis en place des efforts financiers significatifs pour renforcer la qualité de l'offre et la dotation en

infrastructure, notamment de type ferroviaire. Dans un contexte régional où le mode routier est encore prédominant, l'intention est de permettre aux autres modes de transport d'augmenter leur taux de fréquentation, en profitant de la période de crise économique, caractérisée par une hausse des prix des carburants et donc par une légère diminution de la part modale de la voiture ainsi que des immatriculations des véhicules neufs. Avec l'objectif de faire du NPdC un *hub (ferroviaire) au cœur de l'Europe*, de favoriser l'intermodalité et de doubler la fréquentation des services ferroviaires, pour réduire le niveau de congestion routier, le Conseil Régional a donc financé plusieurs travaux de modernisation et renouvellement du réseau ferroviaire régional ; avec notamment le projet de liaison rapide entre Lille et Hénin, qui suscite grande intérêt et attente. Cette orientation touche aussi le sujet de la gestion du foncier autour de gares et donc de l'aménagement des quartiers de gare qui représente un thème largement débattu. Dans ce chapitre on a illustré différentes initiatives et actions mises en place sur la thématique de l'urbanisation autour des gares. On observe de ce fait une forte complexité et des tensions dans le processus de gestion d'opérations d'aménagement sur le foncier ferroviaire, qui demandent la mise en place d'un système de veille foncière (comme suggéré par les conclusions du projet de recherche-action *Bahn.ville*) et surtout d'une action conjointe et coordonnées des acteurs.

En substance la région NPdC présente des grandes potentialités de développement et de consolidation de son rôle de région *carrefour* entre les grandes aires économiques et productives d'Europe, à condition de réussir à résoudre certaines tensions qui caractérisent son fonctionnement. Favoriser les multiples centralités et polarités régionales devient un objectif crucial dans ce sens, dans le but de réduire la logique radiale et monocentrique actuelle, gravitant essentiellement autour de la métropole lilloise, qui contribue à favoriser et à aggraver les problématiques d'étalement urbain et d'inégalité territoriale dans la région. Il existe aussi une problématique de définition et de gestion des périmètres et des projets. Pour que le projet urbain et territorial aboutisse, il est nécessaire de traiter les tensions et les incohérences actuelles entre périmètres institutionnels et périmètres *de fait*. C'est le cas du territoire de la métropole lilloise, de l'arc sud et de l'aire du valenciennois, qui sont largement intégrés du point de vue socio-économique, mais beaucoup moins du point de vue politique et institutionnel. L'Insee a en fait identifié une importante capacité d'attraction, des ressources et investissements, dans les zones d'emplois de Lille et Valenciennes, qui s'avère par contre beaucoup plus faible dans le reste du territoire régional. En conclusion en illustrant et en partageant les recommandations présentes dans le document du DREAL, relatif au bilan et aux perspectives de consommation du sol en Nord-Pas-de-Calais, qui va dans la direction de privilégier le renouvellement urbain et la densification autour des gares et le long des réseaux transport en commun, nous avons présentés les principes de conception de la modélisation

effectuée sur le terrain du NPdC. L'objectif est d'évaluer les effets et les impacts (du point de vue des dynamiques d'interaction entre le système de transport et l'usage du sol) d'un plan régional de TOD et donc d'une politique de densification mixte et multifonctionnelle, accompagnée par un renforcement des fréquences des transports en commun, autour des certains nœuds et corridors du réseau ferroviaire régional, sélectionnés pour leur potentiel de développement. Le travail de modélisation introduit dans ce chapitre sera ensuite décrit en détail dans les chapitres suivants, par rapport à la démarche de recueil, de sélection et de manipulation des données, à la mise en œuvre, au fonctionnement et à la calibration du modèle et à l'analyse des résultats.

5. Le modèle *TRANUS* de simulation intégré pour la région française du Nord-Pas-de-Calais

« La constitution d'un Modèle d'Usage du Sol et Transport (MUST) pour un territoire représente un investissement important. D'abord un effort important en ingénierie d'étude, pour rassembler des informations, identifier et retracer des phénomènes, simuler un état observé du système territorial, synthétiser des performances. Ensuite et surtout, un investissement important pour la gestion du territoire : l'enjeu est de disposer d'un outil de simulation, puissant et flexible, pour le diagnostic et le pronostic – la planification par scénario. Un MUST sert à amplifier et à approfondir la capacité de conception du planificateur territorial, et à intégrer les enjeux de l'aménagement spatial d'une part, du développement économique et social d'autre part. »

Les modèles d'usage du sol et transport. Où la géographie et l'économie se rejoignent – 2012 – F. Leurent, Université Paris-Est - Laboratoire Ville Mobilité Transports - École des Ponts Paris Tech

Ce chapitre expose les hypothèses de base, la structure et les phases d'implémentation, de calibration et de mise en œuvre d'une modélisation intégrée d'usage du sol / transport, réalisée pour le territoire de la région française du Nord-Pas-de-Calais en utilisant le logiciel *Tranus*. La modélisation intégrée d'usage du sol et transport est un outil aussi puissant que complexe. Il permet en fait de modéliser, de représenter et de simuler les relations et interactions qui lient le système de transport et l'usage du sol. Grâce à cette technique de modélisation on arrive à analyser les influences et interférences qui caractérisent les choix de mobilité et le choix de localisation des ménages et des emplois. On introduira dans le début du chapitre les fondements théoriques et les principes à la base de la modélisation intégrée de l'usage du sol et du transport, qui trouve sa caractéristique la plus intéressante dans la capacité de reproduire de manière intégrée le concept de boucle de rétroaction dans le temps, entre urbanisme et transport. Sera traitée également la thématique de l'applicabilité de ce type d'outil dans des contextes différents de ceux de la recherche et donc de l'apport potentiel qu'il peut représenter pour les collectivités et les décideurs. Comme cela sera expliqué dans la suite, le logiciel *Tranus* a été considéré comme le plus adapté et le plus fonctionnel face aux hypothèses et aux objectifs de cette recherche. Son intérêt provient également de sa capacité à reproduire des dynamiques de caractère multi scalaire et pour sa caractéristique d'intégration complète entre le modèle de transport et le modèle d'usage du sol. Cette action de recherche a donc été essentiellement conçue avec l'objectif de simuler, de tester et d'évaluer les effets et les impacts d'un plan régional de Transit

Oriented Development ou d'urbanisme orienté vers le rail valorisant les transports en commun, en analysant l'évolution du système de transport régional, ainsi que des dynamiques de localisation résidentielles et des activités et donc d'usage du sol, à différents horizons temporels. Par conséquent, cette recherche vise précisément à analyser l'application d'un plan de TOD à l'échelle régionale, sur une série de nœuds et de corridors ferroviaires de la région expressément sélectionnés en fonction de leur potentiel de développement selon les principes du TOD. Du point de vue des outils, un intérêt supplémentaire est lié en outre au fait que la modélisation intégrée d'usage du sol et des transports à l'aide du logiciel Tranus, a été appliquée dans de nombreux cas et à différentes échelles spatiales, principalement en Amérique du Sud, mais beaucoup moins en Europe, en particulier à des échelles régionales. L'intérêt principal était donc d'appliquer Tranus dans l'étude d'une hypothèse de TOD régional en Europe. En particulier, suite à la définition et à la mise en œuvre d'un scénario de base, se référant à l'année 2009, un travail de recueil, d'élaboration et d'utilisation des données a été effectué ; suivi d'une calibration, avec l'objectif de reproduire une correspondance correcte entre les données observées et les données calculées par le modèle. Pour toutes les zones du modèle les résultats et les tendances d'évolution sont analysés en fonction de plusieurs paramètres et indicateurs fournis par le modèle, ayant trait par exemple à la répartition modale, aux niveaux de congestion, à l'évolution des dynamiques de choix de localisation résidentielle aux activités, ainsi qu'aux prix des terrains. La présentation détaillée des résultats de la modélisation sera objet du chapitre suivant.

5.1. La modélisation intégrée d'usage du sol et des transports, comme support aux stratégies de développement du territoire

L'étude et la reproduction dans un modèle des relations entre le système de transport et l'usage du sol, représentent un sujet largement traité par les modélisateurs spécialistes des méthodes de simulations.

Un Modèle d'Usage du Sol et des Transports (MUST) est une représentation théorisée et formalisée afin d'analyser un territoire dans ses aspects spatiaux, économiques et sociaux. (F. Leurent, 2012)

À travers l'utilisation de la modélisation intégrée d'usage du sol et des transports il est possible d'effectuer des simulations qui fournissent des prévisions relatives aux transports, à la localisation de la population, des activités et des emplois, ainsi qu'à l'estimation des évolutions des prix fonciers et immobiliers. Ce type de modélisation, qui a été développé à partir des années mille neuf cent soixante, permet en fait d'intégrer directement les informations sur l'usage du sol avec les données sur le système de transport, en donnant la possibilité de simuler leur interaction, sur un horizon temporel futur. Par modélisation intégrée on entend donc la capacité de modéliser l'offre et la demande d'un système de transport et le fonctionnement socio-économique d'un territoire, à travers la simulation des comportements des ménages et des emplois, ainsi que les effets structurant de l'offre de transport sur la composition spatiale de l'aire d'étude. Il s'agit de modèles capables de faire interagir ces deux systèmes et de reproduire ensuite les enjeux économiques d'équilibre entre offre et demande et également la dynamique concurrentielle qui existe dans les choix de localisation des ménages et des activités, en fonction de certains facteurs clés : l'accessibilité, les coûts de transport et les prix fonciers et immobiliers (Nguyen-Luong, 2012). Les modèles LUTI (*Land Use and Transport Integrated models*) requièrent de ce fait la définition de catégories de population, d'emplois et d'activités productives présentes sur le terrain d'étude.

« Le ménage est modélisé comme une entité décisionnelle, rationnelle, soumise à une contrainte budgétaire entre les dépenses (de logement, de transport, en autres consommations) et les revenus, parmi lesquels les revenus d'activité professionnelle. » (Laurent, 2012)

Pour cela, il est nécessaire de définir les caractéristiques physiques (infrastructures) et opérationnelles (services) du système de transport et des typologies d'usage du sol présentes, avec les surfaces disponibles et les prix fonciers ou immobiliers associés. Dans la plupart des cas,

le terrain d'étude est représenté en le subdivisant en zones discrètes et le facteur temporel est considéré en définissant aussi des intervalles discrets, d'une ou de plusieurs années.

En particulier Wegener (1995) a identifié trois méthodologies principalement utilisées pour étudier les impacts réciproques entre politiques de transport et usage du sol : la méthode des *préférences déclarées (stated preference)*, basée sur des entretiens directs qui interrogent les changements possibles dans les choix de localisation et de mobilité conditionnés à des changements dans les caractéristiques du système de transport et d'usage du sol ; la méthode des *préférences révélées (revealed preference)*, qui se base sur l'observation des habitudes des utilisateurs et de leurs évolutions dans différents contextes ; la *méthode mathématique*, laquelle se base sur la simulation à travers des modèles et des algorithmes mathématiques, des choix de mobilité et de localisation des utilisateurs (Lefèvre, 2009; Wegener, 1995). Les faiblesses de la première méthode concernent la causalité et les incertitudes des réponses relatives à des comportements dans des situations encore inconnues. La deuxième méthode, même si elle peut fournir des résultats fiables et précis, ne porte que sur des situations actuelles et donc ne donne pas d'indications totalement fiables sur des horizons temporels futurs. Enfin, les méthodes mathématiques assurent soit la possibilité d'étendre la simulation à des périodes futures et donc à des situations inconnues, soit de fournir des résultats quantitatifs et donc vérifiables (Lefèvre, 2009; Wegener, 1995).

“Les modèles mathématiques sont la seule méthode à travers laquelle les effets déterminants des facteurs individuels peuvent être analysés en gardant tous les autres facteurs fixes.”
(Wegener, 1995)

En focalisant donc l'attention sur cette dernière méthode, dans son compte-rendu sur les différentes approches, présentes dans la littérature relative à la méthode de simulation mathématique, B. Lefèvre (2009) utilise la classification proposée à l'origine par Wegener et Fürst (1999). En particulier les trois approches principales identifiées sont les suivantes :

- Une approche de type géographique et sociologique, basée sur la théorie de l'évolution de Darwin et orientée vers l'étude des dynamiques éco-socio-spatiales urbaines. Cette méthode fournit des résultats qualitatifs et ne peut pas simuler l'interaction entre transport et usage du sol.
- Une approche de type micro-économique des dynamiques urbaines, basée sur la théorie des interactions spatiales de Lowry (1964) et orientée vers l'étude des interrelations entre transport et usage du sol, mais avec une représentation de l'espace homogène et généralement monocentrique.

- Une approche de type opérationnel qui ne s'appuie pas sur une théorie spécifique, mais qui comprend généralement une modélisation des systèmes urbains de transports (modèle à quatre étapes), des modèles de choix discrets et un modèle de simulation intégré d'usage du sol et du transport.

En particulier, les systèmes de modélisation urbaine de transports sont utilisés pour prévoir des effets sur la demande de transport. Donc, ils simulent le processus de choix fait par les utilisateurs concernant les motifs du déplacement, le mode de transport et le parcours. Le modèle mathématique le plus commun utilisé dans ce domaine est le modèle dit à quatre-étapes, correspondant à une séquence de processus décisionnels qui couvre: l'émission des flux, la génération des flux origines-destination, la distribution de la demande de transport, le choix modal et de parcours. Pour cette typologie de modélisation, les données relatives à l'usage du sol doivent être ajoutées de manière exogène (Lefèvre, 2009). Les modèles de choix discrets se basent en substance sur la théorie des utilités aléatoires de McFadden (1973). Ce type de modèle représente un développement des modèles classiques de transport (de la Barra, 2013), introduisant un élément aléatoire, analysé à travers des modèles de probabilité de type *Logit* et *Probit* (McFadden, 1973).

En général, les différences dans les approches liées aux modèles LUTI (Wilson, 1997; Wegener, 2004) dépendent de la façon dont est étudiée l'évolution du système analysé. Les modèles *statiques* étudient une variable dans une période de temps fixe, en gardant inchangée les autres variables du système, tandis que les modèles *dynamiques* simulent explicitement l'évolution du système, compte tenu de différentes périodes de référence affectées par des changements dans le temps (DT, 2005). Les modèles dynamiques considèrent en fait l'hypothèse que les systèmes urbains sont toujours dans une situation de déséquilibre, due au fait que dans certain cas les changements de la demande et de l'offre (de transport ou d'usage du sol) se développent selon des temporalités très différentes. Ils sont définis également comme étant *quasi-dynamique* quand ils adoptent des méthodes de calcul de type récursif (Wegener, 2010). Parmi les modèles *quasi-dynamiques* on peut en outre distinguer: les modèles basés sur le principe de la maximisation de l'entropie (Wilson, 1970) et donc sur l'identification de la condition la plus probable d'équilibre; les modèles spatio-économiques, qui reposent sur la reconnaissance de la dimension spatiale des phénomènes socio-économiques (basés sur le modèle *entrée-sorties* de Leontief, que l'on illustrera en détail dans la suite); les modèles basés sur les activités (*activity based*) et sur leurs interactions et dynamiques de choix de localisation, desquels dérive la demande de transport (Homocianu, 2009).

La théorie des choix discrets ou des utilités aléatoires de McFadden (1973) est toutefois commune à tous les modèles LUTI, en permettant de modéliser le choix « à partir d'un ensemble

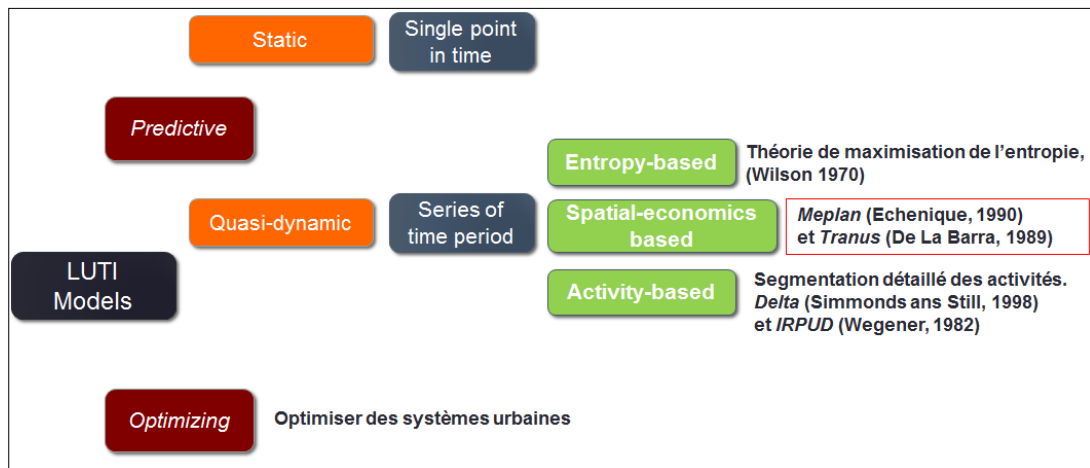


Figure 42: Classification des différents modèles intégrés d'usage du sol et transports.

d'alternatives mutuellement exclusives » (Nguyen-Luong, 2012). La probabilité de choix d'une alternative est donc proportionnelle à l'utilité associée aux différents attributs considérés par le décideur, selon le principe de la maximisation de l'utilité.

Wegener (2010) présente en outre une distinction en deux groupes de modèles : les modèles *unifiés* et *composites* (*unified and composite models*) ; en identifiant dans le premier cas ceux qui fusionnent tous les sous-systèmes présents et dans le deuxième cas ceux qui prévoient un système hiérarchique de sous-systèmes considérés, ou un couplage de modèles, qui sont interconnectés mais structurellement autonomes. Par rapport à la manière dont la localisation des activités et leur interaction dans l'espace sont mise en relation, on peut distinguer, en outre, les approches d' « *Interaction-Localisation* » (IL) et de « *Localisation-Interaction* » (LI) (DT, 2005). L'approche *IL* ou *intégrée* prévoit que les interactions économiques entre les activités déterminent leur localisation, en suivant un principe d'équilibre et permet de convertir ces interactions en demande de transport. L'approche *LI* ne prévoit pas un équilibre entre la localisation et les interactions des activités et nécessite d'être liés à un modèle de transport distinct (DT, 2005).

La littérature scientifique présente une large quantité de documents qui analysent les différents modèles LUTI utilisés et fournissent des comptes rendus et aperçus de leurs principales potentialités, faiblesses et caractéristiques opérationnelles (CERTU, 1996 ; DETR, 1999 ; NCHRP, 2002 ; Timmermans, 2003 ; DT, 2005 ; Hunt, et al., 2005 ; Zhao et Chung, 2006). Dans notre nous nous referons principalement à l'ouvrage de M. Wegener (2010) qui fournit une excellente synthèse des différentes méthodes utilisées et des avantages et inconvénients des principaux modèles LUTI, actuellement présents dans le domaine scientifique.

L'approche de modélisation intégrée d'usage du sol et des transports peut être synthétisée par l'idée de combiner et de lier les fonctions de prévision de la demande de transport à celles de l'estimation des dynamiques d'usage des sols et donc de la localisation des résidences et des

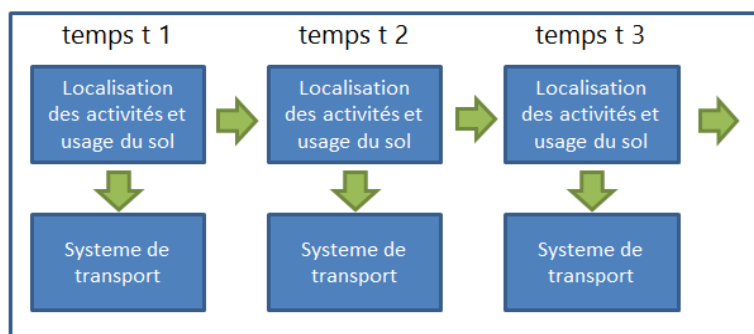
emplois, pour ensuite simuler les influences réciproques. Si les modèles de transport classiques prévoient l'insertion des données sur l'usage du sol de manière exogène, pour chaque horizon temporel simulé, les modèles LUTI peuvent directement générer les prévisions sur l'évolution de l'usage de sol, qui iront ensuite influencer le changement dans les niveaux d'accessibilité et donc dans le système de transport.

Parmi les théories à la base des modèles d'usage du sol et du transport on peut

distinguer une approche opérationnelle, basée sur la théorie des interactions spatiales (Lowry, 1964), ou sur la théorie de la maximisation de l'entropie (Wilson, 1970), dans laquelle les modèles d'usage des sols ont pour objectif l'étude des relations entre les différentes activités dans une zone localisée, sur la base de l'analogie avec la théorie gravitationnelle de Newton. Les travaux de microéconomie urbaine effectués par Von Thünen (1826), Wingo (1961) et Alonso (1964) représentent également un apport fondamental dans le cadre de l'étude des comportements des ménages par rapport à leur choix de localisation.

Les modèles économétriques *d'input/output* (*entrées-sorties*) sont normalement utilisés pour représenter les flux économiques qui existent dans le terrain d'étude, comme c'est le cas avec le logiciel de modélisation *Tranus* (T. de la Barra, 1989). L'ensemble de la structure de ces modèles *d'input/output* s'appuie sur des modèles économiques intégrés où la demande de transport est obtenue en fonction de toutes les relations économiques qui se produisent entre les activités productives présentes dans la zone d'étude. Le modèle *d'entrées-sorties* de Leontief (1941) divise donc le système économique régional en secteurs et prévoit que les produits d'une industrie peuvent être utilisés comme *input* pour un autre secteur productif ou consommés par le secteur final de la demande (qui peut inclure la population, les exportations les investissements, etc.) (Wilson, 1974). Les *inputs* de production industrielle peuvent aussi

Modélisation classique



Modélisation intégrée usage du sol - transport

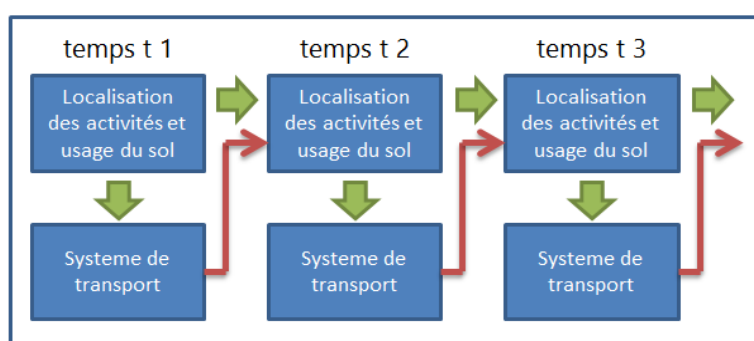


Figure 43: Modélisation classique et modélisation intégrée. (F. Lo Feudo; 2014)

provenir de l'extérieur du système économique régional, en représentant les entrées de type exogène (matière première, capitaux financiers, subsides publics, etc.) (Wilson, 1974). Sur cette base les entrées sont divisées en *produced inputs* et *primary inputs* et les sorties en *intermediate*

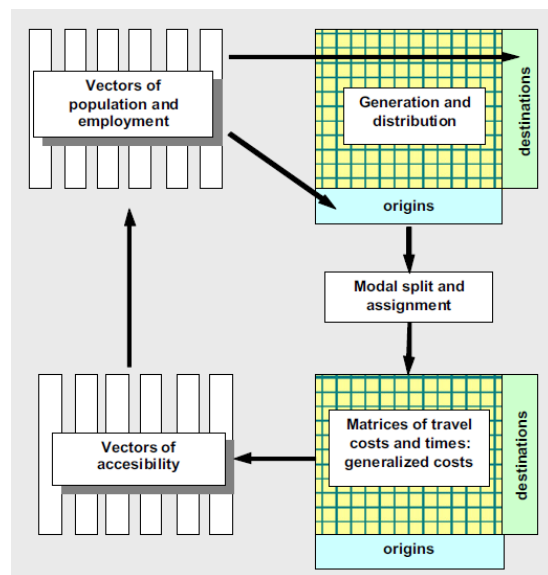


Figure 44: Structure de type vectoriel des modèles intégrés d'usage du sol et du transport (de la Barra, 2013)

et *final demand* (T. de la Barra, 1989). La demande intermédiaire est précisément une matrice dont chaque élément représente la quantité d'output d'un secteur de production, demandé pour la production d'un autre secteur d'activité (T. de la Barra, 1989). Une fois le calcul itératif complété et une fois la convergence des résultats réalisée, le modèle d'*input-output* fournit la quantité de production régionale requise pour satisfaire la demande de consommation totale (T. de la Barra, 1989).

La structure des modèles intégrés de transport et l'usage du sol peut être en outre de type *vector-based* ou bien *matrix-based* (T. de la Barra, 2013). C'est-à-dire, que dans le premier cas, les attributs du modèle relatifs à la population, à l'emploi et à l'usage du sol, sont représentés sous forme de vecteurs. Ces vecteurs sont utilisés pour estimer les matrices *Origines/Destinations* de la demande de transport, lesquelles sont désagrégés successivement pour chaque mode de transport et ensuite affectés sur le réseau. Cette approche relève une problématique d'agrégation (T. de la Barra, 2013) entre la matrice origines/destinations (O/D) et le modèle d'usage du sol, lequel reste sous forme vectorielle.

Dans l'approche de type matricielle, en utilisant comme base théorique le concept de la modélisation d'entrées et sorties (*input-output*) introduit par Leontief (194), les flux de biens et donc économiques, deviennent des flux des personnes, en gardant la forme matricielle. Ensuite à partir de la matrice O/D et des désutilités de transport (coûts généralisés de transport), les données peuvent rentrer dans le modèle

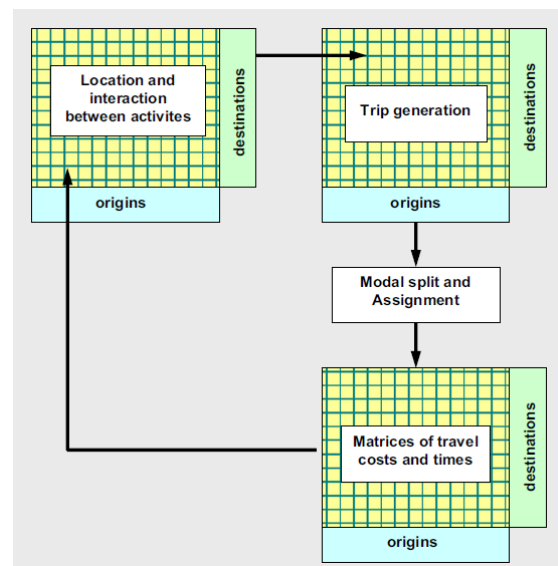


Figure 45: Structure de type matriciel des modèles intégrés d'usage du sol et transport (de la Barra, 2013)

d'usage du sol, sous forme de matrice, en évitant le problème d'agrégation présent dans l'approche vectorielle (T. de la Barra, 2013).

Cette structure de type *matrix to matrix* qu'on retrouve dans la formulation mathématique du logiciel de simulation *Tranus*, permet de renforcer la consistance de son algorithme et d'intégrer à l'intérieur du même modèle les calculs relatifs au système de transport et d'usage du sol⁵⁶. En conclusion on voudrait souligner les considérations d'A.G. Wilson (1997) et de H. Timmermans (2003). Le premier auteur considère la capacité de reproduction (*Reproductive capacity*) des données de référence comme une des caractéristiques les plus importantes d'un modèle LUTI ou MUST (Laurent, 2012) qui impose de disposer d'une approche et d'une expertise de type multidisciplinaire. Le deuxième auteur dénonce le fait que l'inclination particulière de la modélisation LUTI à traiter et soutenir des politiques de long terme et donc dans la pratique difficilement réalisables et gérables par les collectivités locales, ne représente pas une incitation à l'application de ce type de technique.

"[...] tant d'un point de vue académique qu'appliqué on peut soutenir qu'il existe un manque d'incitations à être fortement impliqué dans ce domaine de recherche." (Timmermans, 2003)

5.1.1. Réflexions sur l'applicabilité et sur le potentiel d'apport aux décideurs de la modélisation intégrée

Plusieurs chercheurs, dont F. Laurent (2012), observent cependant que la modélisation LUTI ou MUST représente un outil qui peut être appliqué pour répondre aux problèmes et aux questionnements typiques des aménageurs et des urbanistes, par ses potentialités et par sa capacité tant de spatialisation que de décomposition des temporalités et des différents aspects comportementaux des acteurs qui contribuent à l'évolution des territoires. Ce type de modélisation peut permettre une analyse globale et inclusive, en particulier pendant la démarche décisionnelle touchant à la localisation des services, ressources ou activités, ainsi que pour l'identification des configurations spatiales de développement à envisager. L'objectif est de maximiser la potentialité d'interaction entre la fonction de connexion fournie par les réseaux de transport et les multiples dynamiques de fonctionnement territoriaux, ainsi que d'optimiser les objectifs de durabilité économique, environnementale et sociale des projets de développement urbain et régional.

⁵⁶ Pour une explication détaillée de cette caractéristique spécifique de solidité du modèle *Tranus*, on renvoie aux travaux de B. Lefèvre (2009).

“D'un point de vue technique, les perspectives sont excellentes. Des ordinateurs plus puissants peuvent éliminer les anciens obstacles à l'augmentation de la résolution spatiale, temporelle et matérielle des modèles.” (Wegener, 2010)

En même temps en France comme dans toute l'Europe l'utilisation de ce type de modèles est encore limitée. En outre, l'application de la modélisation LUTI par des collectivités ou des bureaux d'études professionnels est très rare, avec des expériences qui se concentrent presque exclusivement dans le domaine de la recherche (Nguyen-Luong, 2012).

En ce qui concerne les applications quantitatives, on constate au plan international une disparité entre les pays anglo-saxons mais aussi latino-américains et extrême-orientaux, où des MUST sont appliqués pour la plupart des grandes métropoles et parfois à des échelles territoriales plus larges, et d'autres pays dont la France, où les rares applications restent des expérimentations portées par des laboratoires de recherche. (F. Leurent, 2012)

Nombreuses sont, en outre, les critiques qui dans le monde scientifique sont adressées à cette technique de modélisation, notamment au sujet de sa complexité, des faibles progrès accomplis par rapport aux théories traditionnelles de localisation et de transport et de leur caractère de *boîte noire* (*black box*) (Timmermans, 2003). Berechman et Small (1988) identifient aussi dans leur faible capacité à reproduire l'effet d'agglomération, une importante faiblesse des modèles LUTI. P. Waddell (2002) toutefois affirme que les évolutions technologiques des dernières décennies dans l'informatique (notamment le développement des Systèmes d'information géographique (SIG) ont apporté d'énormes bénéfices à la modélisation LUTI, par rapport surtout à la capacité de désagrégation des calculs et des résultats (en stimulant le développement de la technique de microsimulation défendue par Waddell, qui n'est pas traitée dans cette thèse).

Plusieurs laboratoires de recherche en France ont tenté d'aborder la thématique de la modélisation intégrée d'usage du sol et du transport. De plus en 2011, la Société du Grand Paris (SGP) a publié un appel d'offre pour l'application d'une modélisation LUTI, concernant les effets de la mise en place du projet du Grand Paris sur les dynamiques de fonctionnement de la région Île-de-France. Les modèles *Mussa*, *UrbanSim* et *Relutran* ont été utilisés dans le cadre de cette recherche, avec un bilan qui, pour le moment, ne semble pas être très positif, surtout à cause de problèmes de « *zonages incompatibles, [...] de calage approximatif sujet à caution, de confusion entre modèle explicatif (travail de l'économètre) et modèle prédictif (travail du modélisateur), et d'absence de tests de sensibilité* » (Nguyen-Luong, 2012). Une autre expérience très intéressante est celle du projet CITiES (*Calibrage et validation de modèles Transport – usage des Sols*), qui a démarré début 2013, avec le but de développer des théories et méthodes de support à la

calibration des modèles LUTI. Plusieurs opérateurs et laboratoires français de recherche (IAU, IDDRI, IFSTTAR, INRIA, LET, LVMT, Vinci) ont été associés par l'ANR (Agence Nationale de la Recherche) dans le cadre de son programme «*Modèles Numériques*». Le projet voit, en outre, le support de Tomás de la Barra et Paul Waddel, qui sont les concepteurs et créateurs respectivement des modèles *Tranus* et *UrbanSim*.

« Ce qui retarde aujourd'hui la diffusion de ces modèles dans le milieu professionnel, c'est d'abord la disponibilité d'un logiciel au sens commercial du terme, permettant une démarche complètement intégrée de la double modélisation de trafic et de l'occupation du sol. [...] Une recommandation est de renforcer le dialogue entre les ingénieurs - modélisateurs et les expert-métiers sectoriels ou disciplinaires de l'aménagement (démographes, économistes, spécialistes du logement, urbanistes, géographes). » (Nguyen-Luong, 2012)

Dans le cadre du colloque « Mobilités et dynamiques des localisations. Où en est la modélisation ? », organisé par le CERTU en 2011, plusieurs acteurs du monde de la recherche, professionnels, spécialistes de l'aménagement et représentants des collectivités, ont pu discuter sur les potentialités et l'utilité de la modélisation intégrée d'usage du sol et des transport, notamment en appui des élus, des décideurs et des responsables des politiques de transport et d'urbanisme. En analysant les conclusions de cet intéressant colloque, plusieurs difficultés émergent dans la diffusion de l'usage de ce type d'outil au sein des collectivités territoriales.

La complexité intrinsèque dans la conception et l'implémentation des modèles et la nécessité d'une approche très spécialisée et multidisciplinaire, posent en fait un problème d'ingénierie et donc de compétence, ainsi qu'un problème de temporalité, de reproductibilité et de partage entre chercheurs et décideurs, sur les objectifs et questions à poser à la modélisation (CERTU - PST Rhône-Alpes, 2011). Ces problématiques se répercutent ensuite dans la difficulté à créer, des partenariats entre plusieurs maîtres d'ouvrages, consacrés à l'implémentation des modèles LUTI. La question de la pédagogie et donc de la façon de présenter par les modélisateurs ce type d'outil aux décideurs et aux élus, apparaît également très importante, par trouver des points de rencontre entre différentes sensibilités et contextes professionnels, ainsi que de bien clarifier quel type de réponses il est possible fournir à leurs questions, dans quelle temporalité et avec quel niveau de précision.

«[...] c'est qu'il faut bien dire également aux élus, aux techniciens, aux habitants, ce que sont les limites d'utilisation des modèles. Il y a des modèles pour chaque question et ce n'est pas la peine de rêver à un modèle qui répondrait à toutes les questions. Cela n'existe pas. Après, concernant

la simplification, à un moment on peut rêver à un modèle simple et il faut aussi expliquer qu'il y a une complexité du système qui fait qu'il faut l'appréhender pour poser des actions pertinentes. » Stéphane Gusmérioli⁵⁷ (CERTU - PST Rhône-Alpes, 2011)

Dans la présente recherche de doctorat, sur la base des réflexions qui viennent d'être exposées, l'avis et les recommandations des acteurs et des décideurs qui s'occupent, dans les collectivités territoriales du Nord-Pas-de-Calais, de la définition des politiques d'urbanisme et transport a été considéré avec beaucoup d'attention. Dans les conclusions du prochain chapitre, relatif aux résultats de la modélisation, sera exposée en détail, la façon dont ont été organisés des échanges avec des acteurs régionaux, notamment avec des représentants de l'Agence d'Urbanisme de Lille Métropole et de la Mission Bassin Minier du Nord-Pas-de-Calais, pour discuter et échanger sur l'apport et l'intérêt du travail de modélisation, exposé dans le cadre de cette thèse.

Il existe des expériences d'application des modèles LUTI ou MUST qui méritent d'être citées, notamment utilisant le logiciel *Tranus* utilisé en cette recherche. Le bureau d'étude belge STRATEC, par exemple, a appliqué *Tranus* dans l'implémentation d'un modèle pour l'étude du projet RER de Bruxelles (Gaya, 2011). Ce travail, mené dans le cadre du projet de recherche européen SCATTER (Gayda, et al., 2005), avait comme objectif l'analyse de la relation entre l'étalement urbain et le transport, avec un intérêt spécifique pour l'étude des effets conséquents de l'implémentation du projet de RER à Bruxelles. Sylvie Gayda⁵⁸, en présentant ce travail, signale que les résultats du modèle ont confirmé les doutes des autorités de la Région bruxelloise, sur le risque de favoriser l'étalement urbain avec l'amélioration de l'accessibilité entre le centre et la périphérie, découlant de la mise en place du service de RER. Il s'agit donc d'un cas où la modélisation intégrée d'usage du sol et du transport a été un support à la réflexion et à l'aide à la décision des opérateurs de transport. Ensuite, la Région bruxelloise, a réutilisé le même outil dans le cadre du Plan de déplacement de la Région (CERTU - PST Rhône-Alpes, 2011).

« Mais l'étude a sûrement permis aux autorités de la Région bruxelloise de mieux se rendre compte des risques par rapport à leur crainte d'avoir une migration forte des ménages. Cela les a aidées ensuite, dans le contexte institutionnel : car cela a été un outil dans la négociation qu'il y a eu, et qu'il y a même parfois encore, entre la Région bruxelloise et l'État fédéral sur les modalités de mise en œuvre du RER. » Sylvie Gaya (CERTU - PST Rhône-Alpes, 2011)

⁵⁷ Syndicat mixte des transports en commun /Communauté d'agglomération de Grenoble (Direction de la Mobilité et des Transports - Service Études et développement)

⁵⁸ Directrice d'étude du bureau d'étude STRATEC

Le travail de modélisation effectué sur l'aire urbaine de Grenoble et mené par des chercheurs de plusieurs laboratoires, notamment l'IDDRI, l'INRIA et le STEEP, en utilisant le logiciel *Tranus* est digne d'intérêt. Il s'agit d'un travail de modélisation qui a été mis en place avec l'objectif d'étudier les dynamiques urbaines de périurbanisation dans le cas grenoblois, avec une attention particulière à la thématique énergétique et à l'analyse économique des politiques climatiques. Ont été en fait analysées les potentialités de réduction des émissions de CO², en fonction de la mise en place de différents programmes et mesures de planification, en permettant donc de finaliser pour la première fois en France une modélisation intégrée d'usage du sol et des transports à l'échelle urbaine avec *Tranus* (Sujot, 2013). Avant le travail grenoblois il y avait eu une autre tentative d'application de *Tranus* en France, effectuée à Lyon par le CERTU et marquée par un échec⁵⁹, qui a de fait contribué à retarder la diffusion et l'usage de ce logiciel en France et peut être dans le reste d'Europe. Les deux cas de Bruxelles et Grenoble sont certainement des expériences qui ont alimenté avec profit le travail de réflexion, de conception et d'implémentation du modèle *Tranus* pour la région Nord-Pas-de-Calais, objet de notre doctorat. Par contre, la différence d'échelle entre le modèle présenté dans ce travail de thèse, qui est un modèle régional et les modèles décrits auparavant (qui se réfèrent à l'échelle urbaine et métropolitaine), a impliqué une différence substantielle dans la modalité de conception des hypothèses de base, de manipulation des données d'entrée et de représentation du terrain d'étude dans l'interface du logiciel de simulation *Tranus*, due essentiellement à l'approche multi scalaire (urbain, métropolitaine et régionale).

5.1.2. Le choix du logiciel de simulation intégré *Tranus*

Dans le cadre du travail de doctorat, l'outil *Tranus* et plus généralement la modélisation LUTI, a été considéré comme étant la méthode la plus adaptée et cohérente dans l'optique de tester l'applicabilité et la potentialité de certains modèles et politiques de développement urbain innovants et de caractère intégré. C'est le cas des politiques de *Transit Oriented Development* (Calthorpe, 1993; Cervero, 1998; Bartolini, et al., 2009) ou d'*urbanisme orienté vers le rail* (L'Hostis, 2009; Leysens, 2011), qui prévoient une densification urbaine le plus possible structurée et axée autour des réseaux de transport collectif, en promouvant les principes de qualité du design urbain, de mixité fonctionnelle, de priorité aux modes de transport actifs et d'accessibilité vers les transports collectifs, avec des objectifs de réduction de la circulation automobile et de l'étalement urbain.

⁵⁹ <http://www.iau-idf.fr/ultisim/spip.php?rubrique116>

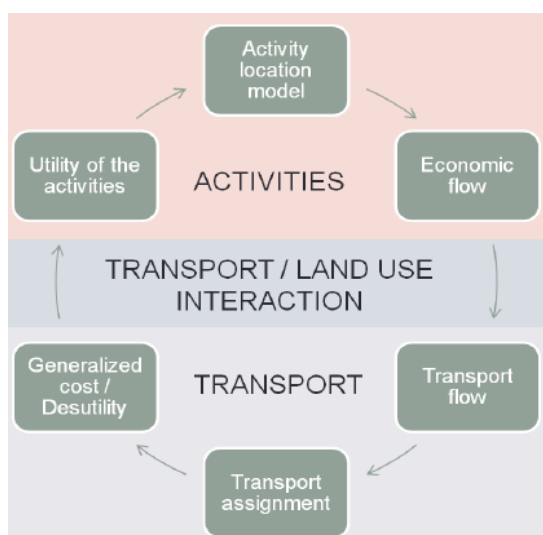


Figure 46: La boucle d'interaction dans Tranus (Pupier, 2013).

Effectivement, les caractéristiques et potentialités de représentation multi scalaire propres du logiciel intégré *Tranus*, qui a été beaucoup plus exploité dans les pays de l'Amérique du Sud et d'Asie qu'en Europe, représentent le facteur qui a influé de manière décisive le choix du logiciel pour ce travail de modélisation. Le fait, en outre, que *Tranus* soit diffusé sous forme de logiciel libre avec un support continu et direct par ses créateurs à travers un forum en ligne⁶⁰, a également pesé dans le choix d'appliquer ce logiciel. Il faut

préciser aussi que dans l'environnement scientifique du laboratoire de recherche LVMT et du département de planification territoriale de l'Université de Calabre (Italie)⁶¹, des chercheurs avaient déjà développé une expertise sur la modélisation LUTI en général et également sur le logiciel de simulation *Tranus*. De ce fait, il a été possible de bénéficier d'une aide et d'un soutien pour la conception et à la mise en œuvre du modèle, ainsi qu'à l'élaboration des résultats finaux⁶². *Tranus* se distingue en particulier par sa faculté à intégrer plusieurs approches théoriques différentes⁶³ dans une structure unique, qui représente tant les phénomènes liés aux transports que ceux liés à l'usage du sol. Parmi les fondements théoriques de *Tranus* on retrouve d'abord la théorie de la base économique de Lowry (1964), laquelle repose sur l'idée qu'un système territorial se développe autour d'un moteur économique qui représente le centre attractif et générateur d'emplois. Le modèle *input-output* (Leontief, 1936) permet de définir dans *Tranus* les relations entre consommation et production, pour les secteurs d'activité considérés, selon des fonctions de demande qui peuvent être inélastiques ou élastiques (en fonction du prix). Une autre théorie d'appui à la structure du logiciel *Tranus* est la théorie micro-économique de l'utilité aléatoire (*random utility*) de McFadden (1973). Grâce à cette théorie il est possible de définir les comportements de choix des consommateurs (choix du parcours,

⁶⁰ <https://groups.google.com/forum/?fromgroups#!forum/tranus>

⁶¹ Ce travail de thèse a été en fait mené dans le cadre d'une convention de cotutelle entre le laboratoire LVME (Unité mixte de recherche de l'Ifsttar) et l'Université de Calabre en Italie.

⁶² En particulier N. Coulombel et F. Leurent de l'LVMT et les ingénieurs A. Vitale et M. Tucciarelli de l'Université de Calabre

⁶³ La macro économie spatiale (*Von Thunen*), le modèle gravitationnel et de l'entropie (*Lowry, Wilson*), le modèle comptable *input/output* (*Leontief*), le modèle d'utilité aléatoire et choix discrets (*McFadden*), l'algorithme du plus court chemin (*Dijkstra*).

choix modal, choix de localisation, etc.) en fonction de l'utilité attribuée à toutes les options disponibles (Gaya, 2011).

En substance *Tranus* est un logiciel de modélisation intégrée d'usage du sol et du transport, qui présente une approche basée sur l'équilibre général, obtenu à travers l'interaction entre la demande et l'offre (de transport, foncière ou immobilière). *Tranus* est basé essentiellement sur un modèle *logit* emboîté multinomial⁶⁴ (T. de la Barra, 1989) et est un modèle spatial *d'entrées-sorties*, de type agrégé, basé sur l'équilibre en fonction des prix et du temps (CETE Normandie Centre, s.d.).

Tranus inclut, en fait, un sous-modèle *transport* (qui s'occupe de la génération et affectation de la demande de transport, de la définition de la répartition modale et des niveaux de congestion) et un sous-modèle *d'activité* (qui simule la localisation et l'interaction entre les activités et l'usage du sol).

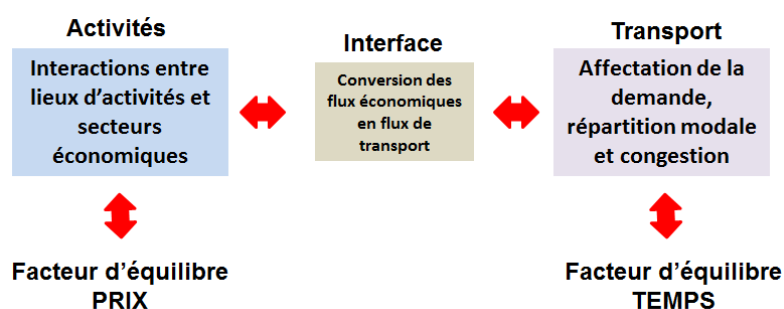


Figure 47: Interaction entre les modules de Tranus et facteurs d'équilibre. (F. Lo Feudo; 2014)

Un module d'interface simule les interactions entre les deux, en utilisant comme paramètres d'équilibre respectivement le temps de déplacement et/ou d'attente et le prix foncier et/ou immobilier. Le modèle d'activité ou d'occupation du sol est du type économique-spatial discret et consiste dans le calcul de la demande totale, à travers une matrice *input-output*, qui est ensuite distribuée dans les zones du modèle selon le principe de la maximisation de l'utilité (coût de localisation et coûts de transport). Comme nous l'avons expliqué précédemment, la consommation de chaque type d'usage du sol est définie à travers des fonctions de demande élastiques, en fonction du prix. Pour certains secteurs d'activité la fonction de demande peut être complètement inélastique, tandis qu'il est possible que certains secteurs d'activité consomment la production de différents secteurs productifs, précédemment déclarés comme *substitutes* ; c'est-à-dire que chaque activité et catégorie de population peut choisir entre une série des choix différents de localisation (différents type d'usage du sol et de typologie immobilière) (Johnston & de la Barra, 1998).

“En substance, deux types de choix peuvent être définis: choix de localisation pour répartir la production transportable aux zones de production depuis une zone de consommation ; les choix de substitution dans lequel il y a un choix entre la production de plusieurs secteurs de production.

⁶⁴ Nested multinomial logit model.

Typiquement les substitutions sont définies pour les secteurs non-transportables, liées à un choix de localisation. Dans les deux cas, localisation et substitution, une fonction d'utilité est définie comme la somme des prix de localisation et des prix d'ajustement" (T. de la Barra, 2013)

Le modèle est donc capable de reproduire le mécanisme de compétition propre du marché foncier ou immobilier. Le système d'activité et les transports se développent dans une dynamique de relation entre demande et offre, pour laquelle si, par exemple, la demande de logement augmente dans une zone spécifique, sans ouverture de surface nouvelle à l'urbanisation, le prix du sol augmente, tandis que dans le domaine du transport, si la demande de transport augmente sans que la capacité soit accrue, alors il y aura aussi une augmentation de la congestion et donc du temps de déplacement. *Tranus* permet donc de reproduire et simuler dans le temps l'évolution de cette intégration entre système de transport et usage du sol. Le fonctionnement du modèle transport commence par la définition de la matrice *Origines-Destinations* initiale, par la transformation des flux économiques en flux de transport, effectuée à travers la matrice *input-output*. Ensuite la demande de transport est distribuée sur le réseau en fonction des désutilités de transport, qui comprennent des facteurs monétaires (tarif, péage, coût de l'énergie, coût de transfert entre modes de transport, etc.) et non monétaires (valeur du temps d'attente, pénalités en fonction du mode et de la catégorie de transport) et des rapports volume/capacité, donc des niveaux de saturation du réseau, qui sont recalculés à chaque itération. Le modèle est constitué par des zones, par des catégories de transport et de population et par des secteurs d'activités. Pour chaque zone du modèle et pour chaque secteur d'activité, les valeurs de production et de demande, de type exogène et induit, sont définies. Il s'agit des importations et exportations relativement au terrain d'étude, des contraintes de production, les coûts de consommation et production et des prix d'équilibre. Les secteurs exogènes sont uniquement consommateurs d'input provenant de l'extérieur de la zone d'étude. Les secteurs d'activités endogènes sont, par contre, sont consommateurs ou producteurs et représentent les secteurs induits par la production de type exogènes. Le mécanisme de localisation et distribution des ménages et des emplois dans l'espace, suit le principe de la minimisation du coût généralisé d'implantation et donc de la maximisation de la fonction d'utilité. La fonction d'utilité inclut donc à la fois les coûts généralisés de transport et les coûts de localisation. Cette structure de modélisation possède la capacité de reproduire certaines dynamiques typiques, comme le fait que se localiser dans les zones ayant une densité d'emplois élevée implique une réduction des coûts de transport, alors que se localiser dans une zone moins dense induit une diminution des coûts de localisation et une augmentation des coûts de transport, par exemple pour les déplacements domicile-travail. Grâce à la possibilité de

reproduire ces dynamiques dans le temps, le modèle peut par exemple définir des coûts généralisés de transport en fonction de la charge de trafic sur le réseau.

Tranus permet ainsi de représenter le système de transport de manière très détaillée, en tenant compte des contraintes de capacité et de congestion. Le modèle transport est caractérisé par une catégorisation des utilisateurs du système transport et des motifs de déplacement, permettant d'affecter la demande sur un réseau de type multimodal et spatialisé. Le modèle d'interface est représenté par une matrice *input-output*, laquelle a donc la fonction de gérer l'interaction entre les flux économiques et les flux de transport et qui, en substance, transforme les interactions entre les activités économiques et productives qui se déroulent à l'intérieur de la zone d'étude, en demande de transport.

*« Dans *Tranus* le modèle original d'entrée-sortie a été généralisé à tous les secteurs qui participent à la dynamique urbaine, comme le sol, les activités, la population et le transport. Ainsi, la dimension spatiale a également été ajoutée et intégrée avec le système de transport » (Lefèvre, 2009)*

Le modèle permet donc de reproduire les flux économiques, de les transformer en flux de transport et ensuite de calculer les coûts et les désutilités de transport qui vont influencer sur le modèle d'activité dans les temps de simulation successifs, en reproduisant un système de boucles de rétroaction. Dans *Tranus* les s de transport et d'usage du sol vont donc s'influencer mutuellement et de manière intégrée, selon la boucle reproduite sur la Figure 46.

« [...] si le modèle est appliqué pour la localisation des ménages et des emplois, les transports influenceront à la fois le volume et la localisation des ménages et des emplois, ainsi que les prix du foncier par l'intermédiaire du mécanisme d'ajustement des prix. » (CETE Normandie Centre, s.d.)

En définitive, les données à entrer dans le logiciel *Tranus* touchent à la localisation des activités, de la population et aux comportements relatifs aux choix de localisation, ainsi qu'aux caractéristiques d'usage du sol (surfaces disponibles par type d'usage et prix de location) et du système de transport de la zone d'étude (lignes de transport en commun, types d'infrastructures de transport disponibles). Les acteurs et les secteurs qui sont en relation avec le sous modèle d'occupation du sol, se localisent en fonction des valeurs d'accessibilité et de l'évolution des prix fonciers, donc en fonction du niveau d'attractivité de chaque zone du modèle.

«Le modèle est essentiellement un grand ensemble d'équations de demande dépendantes de type logit multinomial, intégrées dans des algorithmes pour accomplir l'équilibre » (Johnston & de la Barra, 1998)

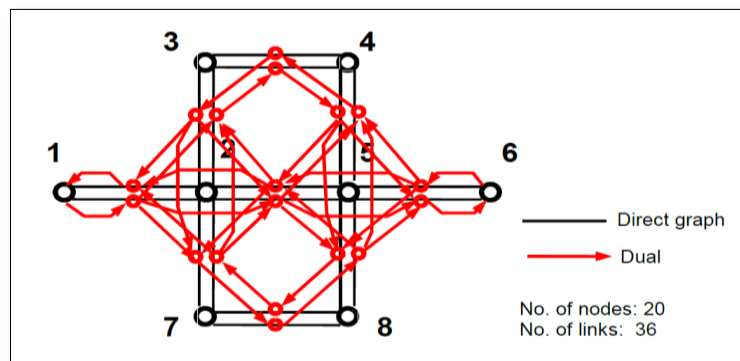


Figure 48: Représentation du graph direct et du graph duale généré par *Tranus* (Modelistica, 2013)

Une autre caractéristique fondamentale du modèle *Tranus* est l'inclusion d'un modèle de substitution de type *Logit*. Pour chacune de ces possibilités de choix, un ordre de préférence est défini, qui permet de mieux reproduire la modalité de

choix de localisation dans le terrain d'étude. De toute façon, toutes les dynamiques de choix, qu'il s'agisse de transport ou de localisation, présentes dans le modèle sont réglées selon la théorie de l'utilité aléatoire, ce qui veut dire qu'elles sont effectuées en fonction de la maximisation d'une utilité. *Tranus* prévoit, en outre, une modalité de représentation du réseau de transport différente des autres modèles de transport. J.Anez, T. de la Barra et B. Perez (1996) ont développé en fait une méthode pour représenter des réseaux de transport complexes et caractérisés par des restrictions de changements de direction (par exemple tourne à gauche interdit pour les voitures) et des transferts multiples : il s'agit de la technique du *graph dual* (Anez, et al., 1996). Le réseau de transport dans *Tranus* est donc représenté sous forme d'un graphe dual (généré automatiquement par le modèle), dans lequel les nœuds représentent les sections routières, et les liens, les intersections ; les connexions et les transferts internes à chaque nœud sont transformés en connecteurs (*links*) internes. Grâce à cette méthode, la définition des interdictions et des hiérarchies dans les intersections, ainsi que les transferts intermodaux sont simplifiés (Modelistica, 2013). La possibilité de créer des scénarios de simulation à différents horizons temporels, permet ensuite de tester et d'évaluer les effets sur le terrain d'étude de certaines hypothèses d'évolution, relatives tant à l'offre de transport qu'aux modalités d'usage du sol. Une fois que sont fixés également les horizons temporels de simulation pour chaque scénario, le modèle peut être activé et donc fournir ses résultats. Les principales sorties du modèle *Tranus* concernent la localisation des résidences et des activités dans la zone d'étude, l'évolution des prix du sol et des flux de trafics sur le réseau de transport, ainsi que la répartition modale de la demande. Ils permettent de ce fait d'étudier différentes situations et contextes, relatifs par exemple à l'introduction d'une nouvelle infrastructure de

transport ou ligne de transport en commun, à la modification du système de tarification ou de réglementation du stationnement des voitures ainsi que des politiques fiscales foncières et immobilières et donc des stratégies d'usage des sols.

5.1.3. La calibration du logiciel de modélisation *Tranus*

La calibration consiste dans l'ajustement de certaines paramètres et indicateurs du modèle, qui ne sont pas estimables empiriquement, dans le but de reproduire de manière acceptable les données d'entrée observées. *Tranus*, en particulier, permet de calibrer séparément les indicateurs du modèle transport et ceux du modèle d'usage du sol.

“La calibration toutefois, n'est pas simple, à cause du grand nombre de variables de calage, qui sont internes au modèle et qui sont également des entrées pour les autres sous-modèles. En raison de la complexité du modèle, la calibration ne peut pas être jugée par une statistique de type goodness-of-fit et doit être faite avec jugement [...]. Le calibrage peut prendre des semaines d'effort.” (Johnston & de la Barra, 1998)

En particulier, dans *Tranus* l'objectif est celui d'atteindre la convergence dans le processus de calcul itératif des prix, des flux et des variables relatives à la production. On cherche en fait à reproduire une correspondance entre les variables des prix et des productions observées et ceux calculées. Simmonds (1994) a identifié spécialement les désavantages les plus importants des modèles LUTI (comme *Tranus*) dans les difficultés relatives au processus de calibration.

“Il n'y a eu pratiquement aucun progrès dans la méthodologie pour calibrer les modèles dynamiques ou quasi-dynamiques.” (Wegener, 2010)

Le processus de calibration de *Tranus* n'est pas totalement automatisé et permet la correction de certains paramètres à travers des facteurs d'ajustement. Dans le détail, une fois que les valeurs d'entrées, relatives aux valeurs de production, aux prix fonciers et aux flux de transport ont été introduites dans le modèle, la sortie du processus de calibration prend la forme d'une série de facteurs d'ajustement, qui doivent respecter des limites de convergence précédemment fixées (Dutta, et al., 2012). Les variables qui dans le manuel de *Tranus* sont définies comme les *prix d'ajustement (shadow prices)* sont en fait des facteurs correctifs, donc des « *erreurs* », qui sont ajoutés où soustraits aux prix de référence du scénario de base, pour redéfinir la situation d'équilibre des scénarios successifs. Si le modèle dans une zone particulière reproduit des valeurs de production supérieures aux valeurs d'entrée, il y aura une augmentation des prix

d'ajustement (*shadow prices*) et une diminution de la probabilité de se localiser dans cette zone. Si le modèle reproduit une valeur de production inférieure à la valeur observée, il y aura une diminution du prix d'ajustement, avec un effet contraire sur la probabilité de localisation. Les prix d'ajustement peuvent suppléer également à la moindre fiabilité et précision qui concerne généralement l'estimation des prix fonciers et sont calculés par le modèle à travers un processus itératif qui s'arrête quand une convergence convenable est atteinte, entre les données observées et les données reproduites par le modèle. Théoriquement les *shadow prices* doivent être nuls si le modèle arrive à reproduire parfaitement la réalité, mais dans la pratique on peut considérer acceptable pour attester la convergence du modèle, des valeurs de prix d'ajustement dans la limite de 15% - 20%.

«Si le modèle ne converge pas, cela signifie qu'il y a quelque chose dans les données et/ou dans les fonctions qui cause le problème. C'est généralement facile à voir en regardant dans les prix d'ajustement. Un prix d'ajustement supérieur à du 15% signifie une erreur. Regardez les données et les fonctions, en activant l'option freeze. [...] Ce que vous voulez est que les prix d'ajustement soient tous à moins de 15% et que données d'entrée et valeurs modélisées correspondent. Dans ces circonstances votre modèle converge bien.» (T. de la Barra, 2013)⁶⁵

C'est en fait la variance des *shadow prices* qui doit être vérifiée dans la phase de calibration (les valeurs absolues ont une moindre importance) ; en présence d'une valeur excessivement élevée de variance, on risque d'attribuer trop d'importance aux prix d'ajustement dans les choix de localisation. Le modèle procède donc à un calcul itératif pour résoudre la chaîne de consommation et de production du modèle *input-output*. La première itération consiste dans le calcul de la production induite à partir de la production exogène initiale (les prix d'ajustement sont égaux à zéro dans la première itération). Dans les itérations successives, à partir de la production exogène et induite de l'itération précédente, une nouvelle valeur de production induite est calculée et si nécessaire le modèle génère des *shadow prices*, qui peuvent être à la hausse ou à la baisse. Ce processus s'arrête une fois que toute la production est calculée et localisée dans les zones du modèle.

“Il a été constaté que, si pendant la calibration Tranus converge, puis avec une forte probabilité le processus de calibration est vérifiée. De plus, une faible corrélation a été trouvée entre les entrées et les sorties du processus de calibration.” (Dutta, et al., 2012)

⁶⁵ Cette citation est un extrait d'une conversation eu en ligne, sur le Google forum de Tranus, avec le professeur Tomás de la Barra, concepteur du logiciel de simulation Tranus.

Pour une explication approfondie des relations entre les indicateurs présents dans l'interface du logiciel *Tranus* et les équations qui composent la structure mathématique de *Tranus*, on renvoie aux travaux de M. Vadon (2011), E. Ferrante et E. Iarussi (2010) et bien évidemment aux documents fournis sur le site internet officiel du logiciel *Tranus*⁶⁶. Par rapport à la propagation des incertitudes pendant le processus de calibration du logiciel *Tranus*, on renvoie à l'étude menée par les chercheurs de l'INRIA de Grenoble et de l'IDRI de Paris, en utilisant la méthode Monte Carlo et une méthodologie de vérification de type probabiliste (Dutta, et al., 2012). En conclusion de ce paragraphe nous citons la Directrice d'étude du bureau d'étude STRATEC, Sylvie Gayda, qui explique très clairement la difficulté, la complexité et l'incertitude qui sous-tendent un travail de modélisation intégrée d'usage du sol et du transport et notamment la phase de calibration du logiciel *Tranus*.

« Ça prend du temps. Les données existent mais il faut du temps pour les recueillir, le temps de se les approprier, de les traiter. Le plus important, c'est le temps de calibrage du modèle. [...] Pour l'étude sur Bruxelles, pour cette zone donc de 3 millions d'habitants, cela a pris de l'ordre d'un an, voire plus, pour avoir un premier calibrage, une première reconstitution raisonnablement satisfaisante, avec une équipe de quelques personnes. Ensuite, on peut commencer à faire des simulations et, ce qui arrive très classiquement, au cours des premières simulations, c'est que l'on se dise « ce résultat ne me paraît pas bon, il y a un paramètre qui doit être réajusté ». Donc, c'est vraiment un travail lourd mais, par contre, l'outil existe et à part cette question des ressources, je ne vois pas de raisons de ne pas se lancer dedans, si on est intéressé par l'évaluation des impacts des politiques. » (Sylvie Gayda, 2010).

⁶⁶ www.tranus.com

5.2. Hypothèses de base, données, structure générale et implémentation du modèle *Tranus* pour la région Nord-Pas-de-Calais

Pour le découpage du zonage considéré dans le modèle, a été suivi l'objectif de représenter le fonctionnement régional, en arrivant à reproduire les différentes polarités urbaines et en projetant les directions de développement d'une éventuelle dynamique de TOD. Dans cette

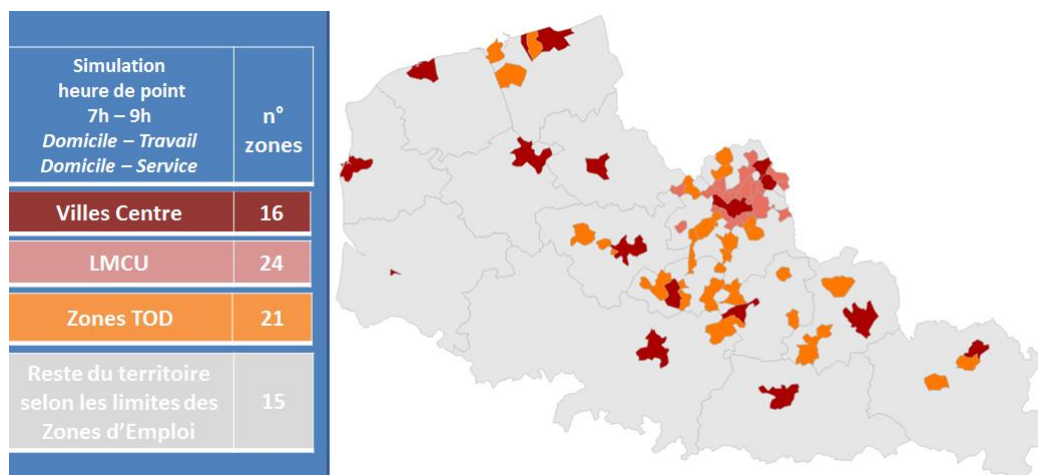


Figure 49: Le zonage du modèle (F. Lo Feudo; 2014).

optique l'enjeu principal a été celui de trouver un équilibre et une situation de compromis entre la nécessité de simplification du réel et le traitement de la complexité spatiale. Enfin une contrainte fondamentale est celle d'arriver à concevoir un découpage qui correspond aux données disponibles, issues des dispositifs de recueils institutionnels. De ce fait, pour la définition des zones du modèle *Tranus* dans la région Nord-Pas-de-Calais, a été reproduite l'organisation administrative régionale actuelle et ont donc été définies 16 zones de type *Ville centre* représentant les principales agglomérations urbaines régionales. Pour tenir compte des dimensions économiques et sociales des zones urbaines considérées, les données (population, emploi, usage et prix du sol) de chaque ville ont été regroupées avec celles des municipalités périphériques adjacentes, fonctionnellement et géographiquement reliées à la ville principale (*effet d'agglomération*). En particulier, les critères de regroupement considérés ont été ceux de la continuité du bâti et de l'unité morphologique des agglomérations, dans le but de limiter le plus possible le nombre total des zones du modèle, en manière à ne pas rendre excessivement complexe le travail de calibration et d'élaboration final des résultats⁶⁷. En substance, l'intention générale a été toujours celle de simplifier sans perdre la complexité. Plus précisément, la

⁶⁷ En effet pendant la modélisation on s'est rendu compte que bien évidemment le nombre de zones considérées est directement proportionnel à la complexité du travail de calibration ; mais c'est surtout quand les zones représentent des entités spatiales très différentes (au niveau de densité d'emplois et de ménages) qu'on rencontre des importantes difficultés dans la calibration.

définition de ces agglomérations urbaines, pas toujours institutionnellement identifiées, a été effectuée sur la base d'une observation cartographique, sans tenir compte des limites administratives inter-communales. Chacune des 16 zones *Ville centre* est en fait une agglomération de deux ou plusieurs municipalités, sauf dans le cas de la ville de Lille.

Lille est le principal centre urbain de la région et la Communauté Urbaine de Lille-Métropole est

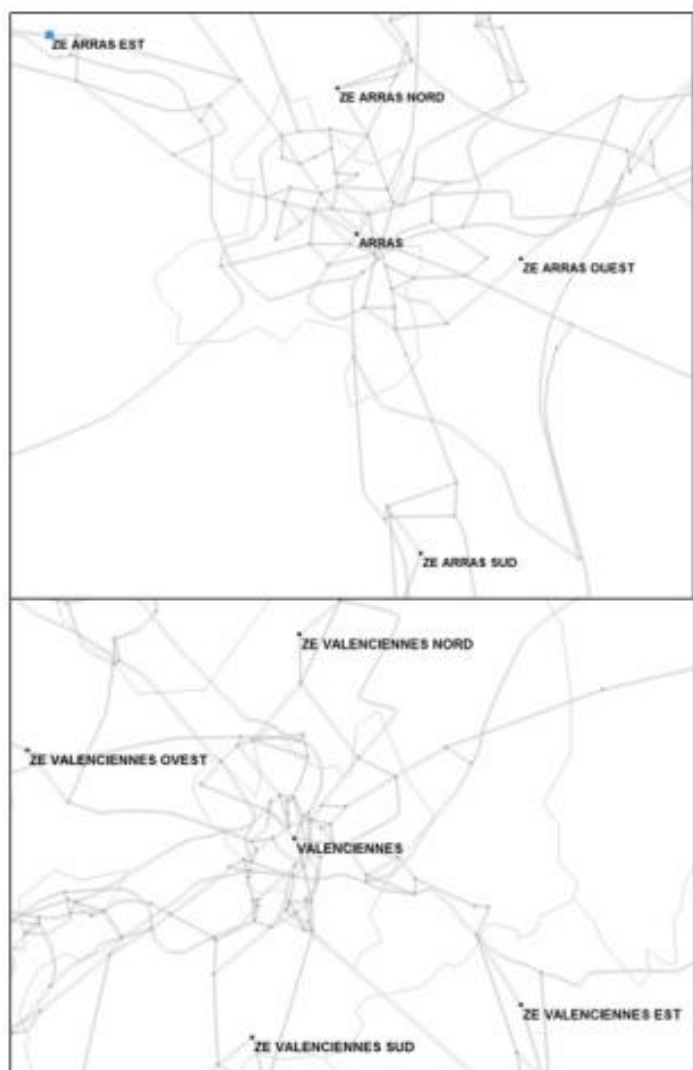


Figure 50: Exemple de la répartition spatio-fonctionnelle, à l'intérieur du modèle (autour des villes centre d'Arras et Valenciennes), des zones relatives au reste du territoire selon les limites des zones d'emploi. (F. Lo Feudo, 2014)

une entité institutionnelle qui rassemble 86 municipalités, avec une population totale de plus d'1 million d'habitants. Pour cette raison, le zonage du modèle dans la métropole lilloise a été appliqué d'une façon plus désagrégée, en créant une zone pour la commune de Lille et 21 autres zones associées aux communes les plus représentatives (par la taille et la densité de population) de l'agglomération métropolitaine. L'objectif est d'avoir une représentation plus détaillée de l'agglomération située autour de la capitale institutionnelle de la région, véritable épiscetre de l'activité économique et du

système de mobilité régionale. Pour tenir compte, dans le modèle, de tout le reste de la

population régionale, 15 zones correspondant au reste du territoire ont été définies. Ces zones reposent sur le découpage par bassins d'emplois régionaux (Zones d'Emplois selon la classification proposée par l'INSEE)⁶⁸, chacun gravitant autour d'une ville principale. Chaque zone correspond dans ce cas à une agrégation de plusieurs communes, permettant ainsi de

⁶⁸ Officiellement définies par l'Institut national français de statistique (INSEE) comme les «*espaces géographiques au sein desquels la majorité des employés vivent et travaillent et où les activités de production trouvent l'essentielle de la main-d'œuvre nécessaire pour couvrir leur offre de travail*».

couvrir la totalité de la population et de l'offre d'emplois à l'échelle régionale. Enfin, à l'intérieur de ce découpage, ont aussi été définies 14 *zones de développement urbain orienté vers les rail* ou *zones pour le TOD*, à travers une analyse du réseau ferroviaire régional et grâce à une classification des gares par type et niveau d'intégration avec la structure urbaine environnante effectuée dans le cadre d'une précédente recherche (Nedellec, 2010). En particulier parmi les types de configurations spatiales identifiés par M. Nedellec (2010) (*intégré; bicéphale, morcelé, village rural*) trois types ont été identifiés comme les plus susceptibles de recevoir des interventions de TOD. Des corridors ferroviaires caractérisés par la présence d'ensembles de gares voisines, qui répondent aux caractéristiques des gares intégrées, bicéphalées et morcelées, ont été identifiés et donc considérées comme constituant des espaces urbains potentiellement capables d'accueillir des interventions de TOD. En particulier à l'intérieur du modèle, pour éviter une discordance excessive et une différence d'échelle entre les valeurs de populations et d'emplois présentes dans les zones correspondant aux agglomérations urbaines (les 16 zones « Ville centre », les 21 zones de LMCU et 14 zones TOD) et les 15 autres zones relatives au reste du territoire régional, ces dernières ont été ensuite désagrégées en sous-zones

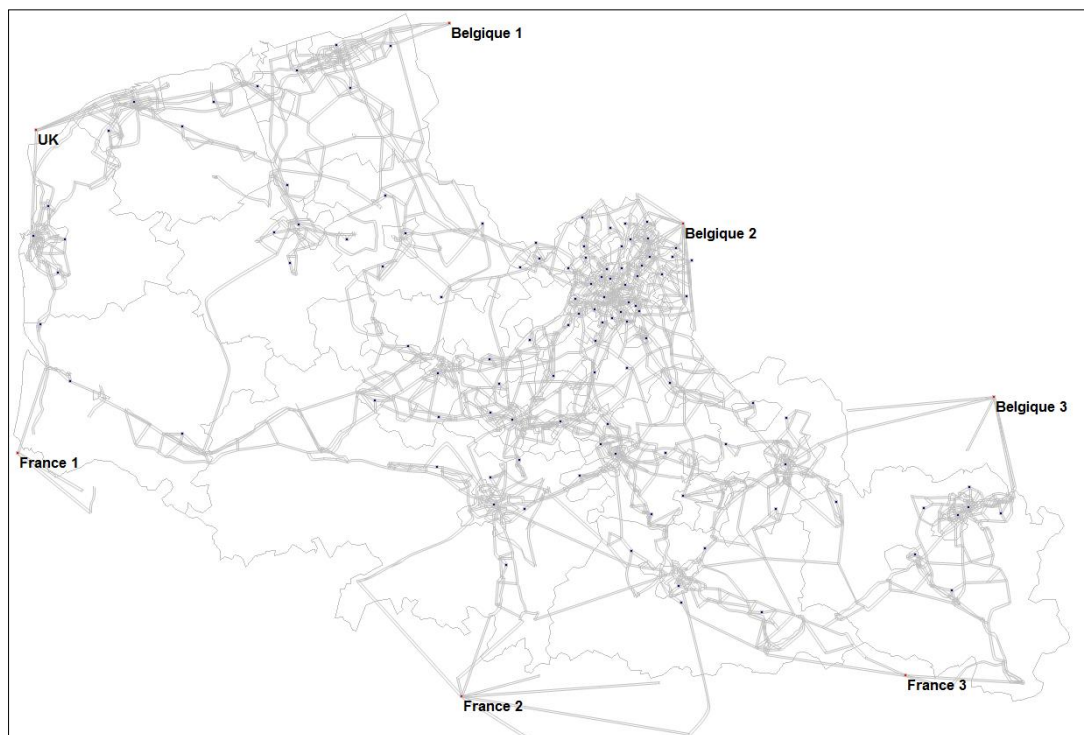


Figure 51: Représentation dans le modèle des zones externes au terrain d'étude.

arbitraires, de caractère spatio-fonctionnel. C'est-à-dire que chacune des 15 zones s'appuyant sur les limites des zones d'emplois régionaux a été divisée en 4 zones égales, environnant la ville centre correspondante, selon les quatre directions cardinales (nord, sud, est, ouest). Il s'agit d'un choix de simplification dans le travail de modélisation qui a d'ailleurs permis de mieux distribuer la demande de transport provenant des aires périphériques et périurbaines sur le territoire et,

en particulier, sur le réseau de transports urbain des villes centre, de manière à pouvoir ainsi reproduire avec plus de précisions les flux d'entrée et sorties dans les agglomérations urbaines de la région.

Pour tenir compte du caractère transfrontalier du territoire régional du Nord-Pas-de-Calais, 7 zones externes et des matrices O/D exogènes, représentant les déplacements en entrées, sorties et de traversées dans la région ont été établies. En particulier, pour caractériser la liaison de la zone d'étude avec les espaces externes, relativement aux dynamiques liées aux flux de transport, deux matrices O/D exogènes, représentant les déplacements (pour les motifs domicile-travail et domicile-service) en entrées, sorties et de traversée dans la région ont été chargées dans le modèle *Tranus*. Toutes les données relatives aux systèmes de transport ont été obtenues à partir de l'Enquête Régionale Mobilité et Déplacements (ERMD) (Conseil Régional NPDC, 2010). Une matrice O/D exogène a été également introduite dans le modèle pour tenir compte des flux de transport présents dans la région, relatif aux poids lourds.

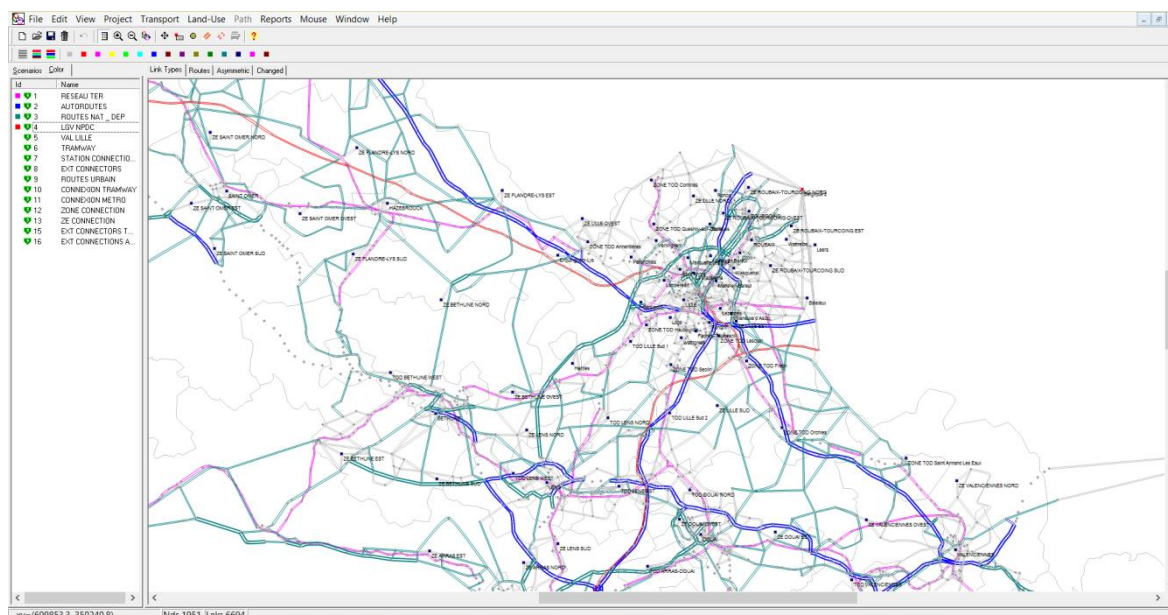


Figure 52: Capture d'écran du logiciel de modélisation Tranus (F. Lo Feudo; 2014).

Méthode pour l'identification des zones avec une potentialité de développement urbain orienté vers le rail et les transports en commun.

La procédure pour identifier les nœuds et corridors ferroviaires régionaux caractérisés par une potentialité de développement selon le principe du TOD, a été effectuée à travers d'abord une analyse du réseau ferroviaire régional et une classification des gares par type et niveau d'intégration avec la structure urbaine environnante. Ensuite ont été identifiés 14 corridors ou axes ferroviaires, composés d'un groupe de gares et donc des municipalités sur lesquelles à modéliser les effets et les impacts relatifs (sur le système intégré du transport et du territoire) à l'introduction des interventions de type TOD (mixité fonctionnelle, priorité à la mobilité douce et aux transports collectifs, densification autour de gares, restriction du stationnement et aménagements urbains de qualité, etc.).

Ce travail d'identification a été réalisé selon 4 étapes principales:

ÉTAPE 1 - Grâce à l'utilisation de cartes géo-référencées fournies par les autorités régionales (<http://opendata.nordpasdecalais.fr/>) et l'utilisation de logiciels SIG comme Autocad Map3D et QGIS, une carte du réseau ferroviaire régional avec toutes les gares régionales a été construite.

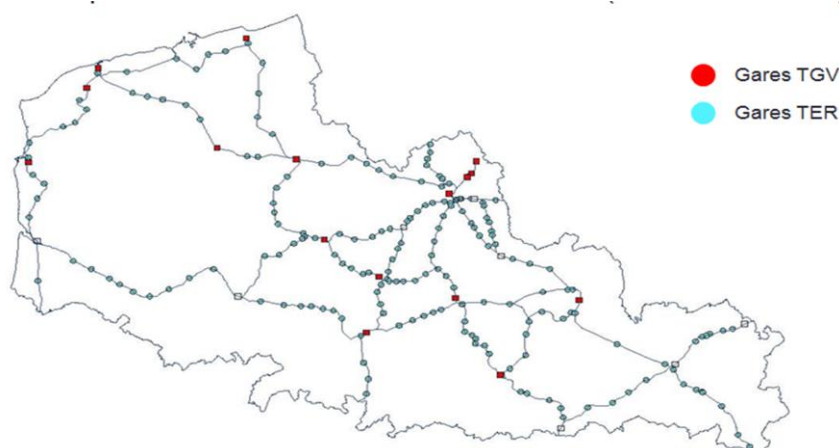


Figure 53: Réseau ferroviaire et gares du Nord-Pas-de-Calais.

ÉTAPE 2 – Sur la base d'une étude effectuée antérieurement à l'Université des Sciences et Technologies de Lille 1 (Nedellec, 2010), a été réalisé un recensement de l'ensemble des typologies des gares ferroviaires régionales, caractérisées selon le type et le mode d'insertion dans le territoire urbain et selon le type de quartiers environnant chaque gare. En particulier, parmi les types de configurations spatiales définies dans l'étude précédente (*quartier intégré; bicéphale, morcelé, village rural*), compte tenu de l'ensemble du système urbain constitué par la gare et le quartier voisin, nous avons identifié trois types, plus susceptibles de recevoir des interventions visant à mettre en œuvre un modèle urbain de *Transit Oriented Development*. Il s'agit des typologies des gares considérées comme *intégrées, morcelées et bicéphales*.

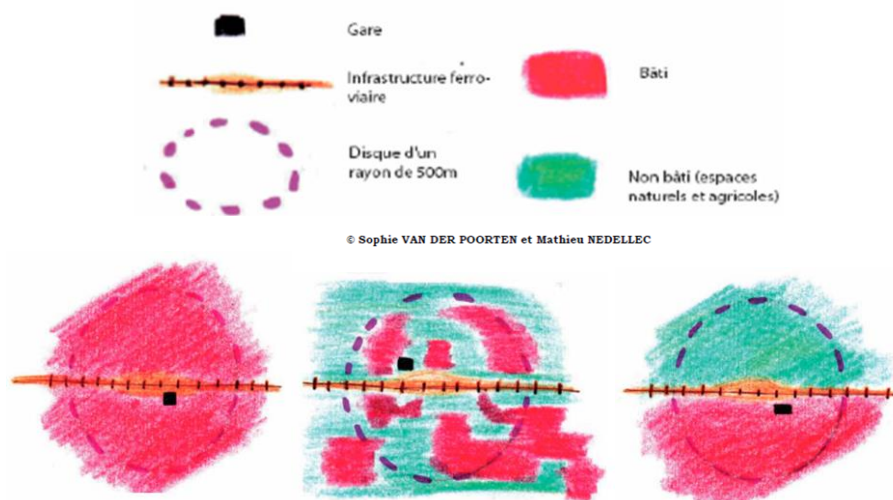


Figure 54: Typologies des quartiers de gare retenus (Nedellec, 2010).

ÉTAPE 3 - Sur la base d'une telle analyse, sur la carte du réseau ferroviaire régional ont été identifiés des corridors (axes) caractérisés par la présence des groupes de deux ou plus gares consécutives, qui répondent aux caractéristiques précédemment données et donc considérées comme représentatives des zones urbaines potentiellement capables d'accueillir des interventions de TOD.

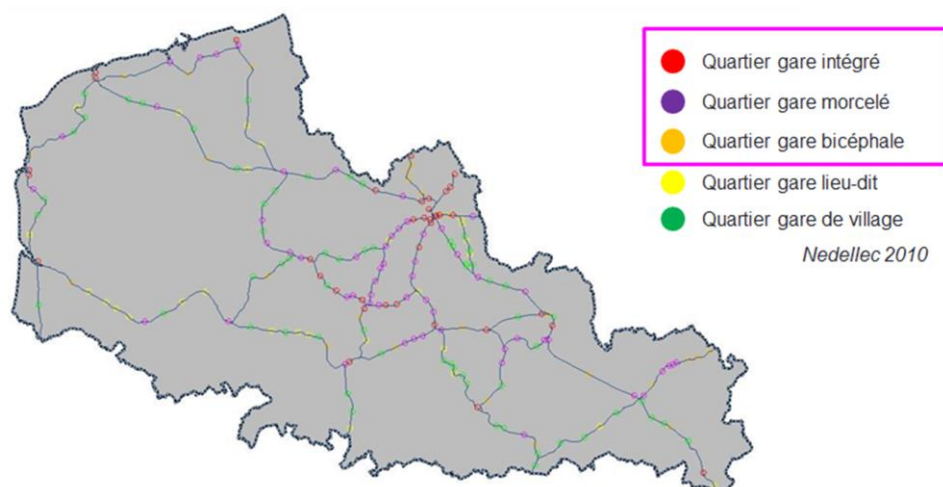


Figure 55: Classification du réseau ferroviaire régionale selon le type de quartier gare (F. Lo Feudo; 2014).

ÉTAPE 4 – Ensuite ont été sélectionnés 21 nœuds sur plusieurs corridors ferroviaires de la région, qui constituent l'ensemble des zones sur lesquelles ont été simulées les hypothèses de densification urbaines et d'amélioration progressive de l'offre de transport en commun, dans les scénarios de modélisation.

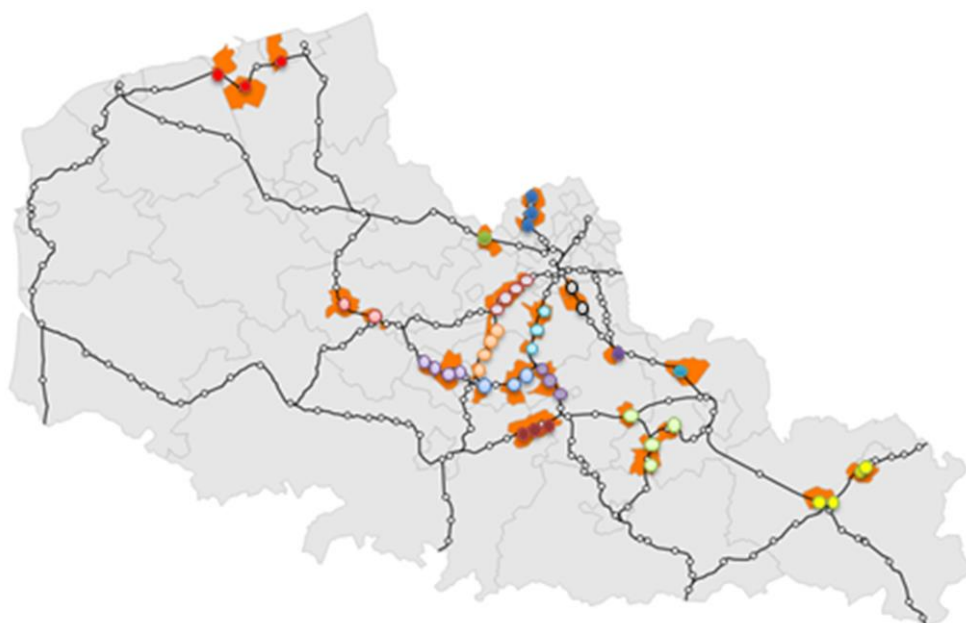


Figure 56: Les nœuds et corridors sélectionnés avec potentialité de TOD (F. Lo Feudo; 2014).

Armentieres	●
Fretin	○
Haubourdin	○
Lesquin	○
Seclin	○
Comines	●
Quesnoy-sur-Doule	●
Orchies	●
Saint Armand Les Eaux	●
Brébiere-Vitry-Corbehem	●
Lillers-Choques	○
Ostricourt	○
Dunkerque	●
Hénin Beaumont	○
Bauvin-Sanghin	○
Loos-Lievin-Bully	○
Santes-Wavrin	○
Phalempin-Libercourt	○
Hautmont	●
Aulnoye	●
Denain-Somain-Bouchain	●

Figure 57: Liste des nœuds et corridors sélectionnés avec potentialité de TOD.

Selon les données statistiques régionales disponibles et accessibles, il a été décidé de considérer dans le modèle la population sous forme de ménages et de la subdiviser en fonction de la catégorie socio-professionnelle et des revenus annuels moyens du chef de ménage. Sur la base des données fournies par l'INSEE, issue du dernier recensement officiel de la population en 2001 et des modifications ultérieures effectuées en 2009, ont donc été associées aux catégories socio-professionnelles retenues, des valeurs de revenus annuels moyens, pour être en mesure de créer trois macro-catégories socio-professionnelles : ménages hauts revenus, ménages moyens revenus, ménages bas revenus.

Pour chacune des catégories de population précédemment décrite, il a fallu créer des catégories de transport correspondantes, relatives aux motifs de déplacements

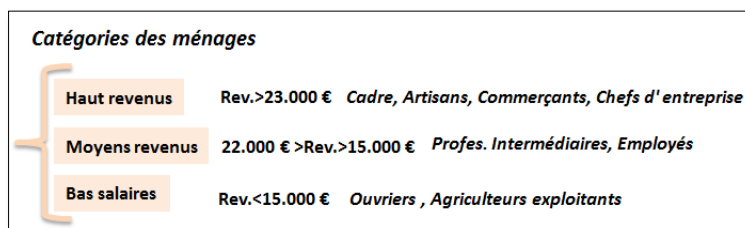


Figure 58: Classification socio-professionnelle et par revenus annuels moyens des catégories des ménages. (F. Lo Feudo, 2014)

domicile-travail et *domicile-service*. En outre, deux autres catégories de transport ont été créées pour être en mesure de définir la demande de transport externe (*déplacements avec l'origine ou la destination en dehors de la zone d'étude*) et le trafic routier de poids lourds circulant dans la région. Dans *Tranus*, pour chaque catégorie de transport, il faut définir plusieurs paramètres

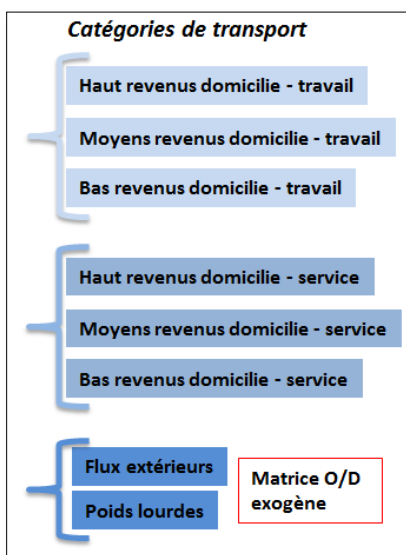


Figure 59: Définition des catégories de transport relatifs aux différents types et motifs de déplacements. (F. Lo Feudo, 2014)

relatifs aux préférences comportementales et aux habitudes de mobilité⁶⁹.

Pour le calcul des deux paramètres relatifs à la valeur du temps (*valeur du temps de déplacement* et *valeur du temps d'attente*), a été utilisée la technique proposée dans les documents fournis sur le manuel de *Tranus*, disponibles en ligne⁷⁰. Fondamentalement, pour chaque catégorie de population on définit le salaire annuel moyen et donc le salaire horaire et journalier moyen (en supposant 22 jours de travail par mois et 8 heures de travail par jour). A ce stade, le paramètre de la valeur du temps de déplacement est égal à 1/3 du salaire journalier moyen et la valeur du temps d'attente est égale à 2/3 du salaire journalier moyen

de chaque catégorie de demande. Si on se réfère, par contre, aux paramètres de *Max and Min*

⁶⁹ Value of Travel Time; Value of Waiting Time; % Vehicle Availability; Min Trip Generation Rate; Max Trip Generation Rate; Demand Elasticity; Modal Split Elasticity; Modal Choice Logit Scaling; Path Choice Elasticity; Path Choice Logit Scaling.

⁷⁰ www.modelistica.com

Trip Generation Rate, les valeurs initiales ont été fixées au début de la modélisation selon les indications présentes dans l'ERMD de 2009, en représentant le point de départ dans la procédure de calibration. Ensuite ces valeurs ont représenté deux des indicateurs les plus importants à *ajuster* dans la phase de calibration. Il faut en fait considérer que les valeurs estimées initialement sont référées à la totalité de déplacements effectués, pendant que le modèle *Tranus* considère exclusivement les déplacements interzonaux, en excluant de la modélisation tous les déplacements qui se déroulent à l'intérieur de chaque zone.

Dans le modèle ont été créés 11 types de modes de transport (*Voiture, Bus urbain, Bus suburbain, Tramway, Metro, Train Régional, TGV, TGV Régional, Vélo, Piéton, Poids Lourdes/Camions*) et pour chacun le paramètre *Time Factor*, qui représente le temps de référence pour la modélisation, a été fixé à la valeur de 3, car on se réfère à l'heure de pointe et donc aux trois heures qui représentent normalement le pic de trafic pour les

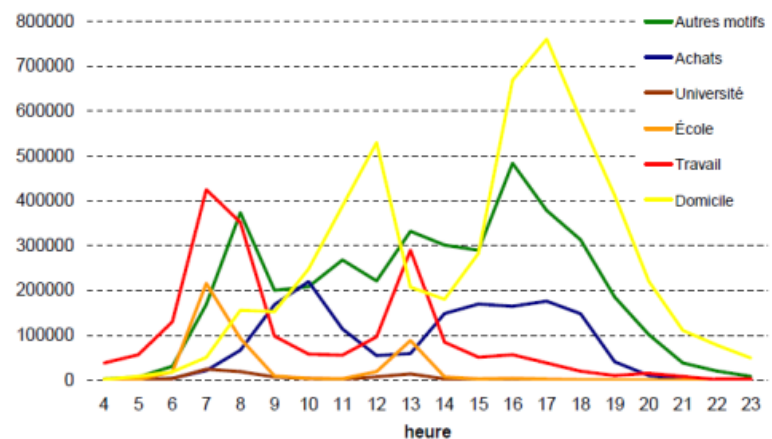


Figure 60: Volume de déplacements selon l'heure et le motif. (Conseil Régional NPDC, 2010)

déplacements du type domicile-travail (06h00-09h00). En ce qui concerne le calcul des paramètres relatifs au coût de l'énergie, a été utilisée la méthode de calcul proposée par le manuel mathématique de *Tranus* (sur le site internet de *Modelistica*⁷¹). Les paramètres de base utilisés dans cette méthode de calcul sont la consommation moyenne d'énergie par Km parcouru, selon les différents modes de transport et le coût d'énergie par unité de distance.

$$ce_o = [ed_o^{min} + (ed_o^{max} - ed_o^{min}) * \exp(-\delta^o V_o)] pe_o$$

ce_o Coût de l'énergie par unité de distance d'un véhicule de l'opérateur o

ed_o^{min} Consommation minimale d'énergie par unité de distance quand un véhicule d'un opérateur o voyage avec une vitesse à flux libre

ed_o^{max} Consommation maximale d'énergie par unité de distance quand un véhicule d'un opérateur o voyage avec une vitesse proche à 0

V_o Vitesse d'un véhicule de l'opérateur o , après une réduction de capacité

δ^o Paramètre qui règle la pente de la courbe de consommation d'énergie

pe_o Prix par unité d'énergie

Équation 1: Calcul du coût d'énergie (Modelistica, 2013).

A été également définie la matrice des coûts de transfert entre modes de transport (*operators*), qui représentent le coût monétaire des transferts et grâce à laquelle on peut par exemple

⁷¹ *ibidem*

représenter les politiques d'intégration tarifaire dans les services de transport en commun. Dans la figure suivante, les transferts qui portent le symbole *INF* ne sont pas permis dans le modèle, ceux qui portent le chiffre 0 sont à titre gratuit et ceux avec un chiffre différent de 0 prévoient un coût de transfert.

	1 Car	2 Bus Urbain	3 Bus Suburbs	4 Tramway	5 Metro	6 Train TER	7 Train TER GV	8 Train TGV	9 Bike	10 Walk	11 Trucks
1 Car	0	INF	INF	INF	INF	INF	INF	INF	INF	INF	INF
2 Bus Urbain	INF	0	1.45	0	0	1.5	1.8	1.8	INF	0	0
3 Bus Suburbs	INF	1.4	0	1.4	1.4	1.5	1.8	1.8	INF	0	0
4 Tramway	INF	0	1.45	0	0	1.5	1.8	1.8	0	0	0
5 Metro	INF	0	1.45	0	0	1.5	1.8	1.8	0	0	0
6 Train TER	INF	1.4	1.45	1.4	1.4	1.5	1.8	1.8	0	0	0
7 Train TER GV	INF	1.4	1.45	1.4	1.4	1.5	1.8	1.8	0	0	0
8 Train TGV	INF	1.4	1.45	1.4	1.4	1.5	1.8	1.8	0	0	0
9 Bike	INF	INF	INF	INF	INF	1.5	1.8	INF	0	INF	0
10 Walk	INF	1.4	1.45	1.4	1.4	1.5	1.8	1.8	INF	0	0
11 Trucks											0

Figure 61: Matrice qui représente les transferts entre opérateurs de transports dans le modèle.

Dans le modèle a été chargé l'ensemble de l'offre régionale des transports collectifs, c'est-à-dire l'ensemble des lignes de transport en commun actives en 2009 (période de référence du scénario de base). Ce sont les lignes ferroviaires régionales et nationales et les lignes de bus urbains et suburbains opérant dans la région, ainsi que les lignes urbaines de tramway (Lille et Valenciennes) et de métro automatique (VAL) de Lille. Les principaux paramètres à régler pour chaque ligne de transport en commun sont liés à la fréquence du service, à la vitesse de circulation et au tarif pour l'utilisateur (qui peut être en fonction de la distance ou du temps de déplacement). À cet égard, la fréquence moyenne a été calculée sur un jour de la semaine type pour le service ferroviaire (selon les horaires fournis par l'opérateur ferroviaire). Pour les lignes de bus urbains et suburbains et tous les autres opérateurs de transport en commun (tram et métro), la plus haute fréquence pendant les heures de pointe a été considérée comme celle de référence. En outre, pour chaque mode de transport capable de se déplacer sur un type particulier de *link* ou connecteur, doivent être également défini, la vitesse de circulation, le coût de consommation d'énergie par unité de distance et le paramètre de véhicules équivalents par rapport à la voiture (par exemple pour le bus ce dernier paramètre a été fixé à 2,5). Pour l'estimation de la vitesse de circulation, ont été utilisées les valeurs correspondant aux vitesses commerciales moyennes dans les situations de flux réels. Le paramètre de véhicules équivalents a été considéré égal à 2,5 pour les autobus et les camions, alors que pour les autres paramètres relatifs à la réduction de vitesse en situation de congestion, ont été utilisés ceux définis par défaut.

Opérateurs de transport	Typologies d'infrastructure de transport	Typologies de connexions	Lignes des transports en commun
VOITURE	Réseau ferroviaire régionale	Gares	Bus urbains
BUS URBAIN	Réseau ferroviaire à grande vitesse	Métro	Bus suburbains
BUS SUBURBAIN	Autoroutes	Tramway	Métro - VAL
TRAMWAY	Routes nationales	Zones internes	Tramway
METRO	Routes urbaines	Zones externes	TER
TER – Transport Express Régional	VAL - Véhicule Automatique Léger (Métro Lille)	Réseau ferroviaire - zones externes	TER-GV
TGV – Train Grande Vitesse	Tramway	Autoroutes – zones externes	TGV
TER-GV – Transport Express Régional Grande Vitesse			
Vélos			
Piétons			

Tableau 4: Typologies des données d'entrée dans le modèle relatives au système de transport.

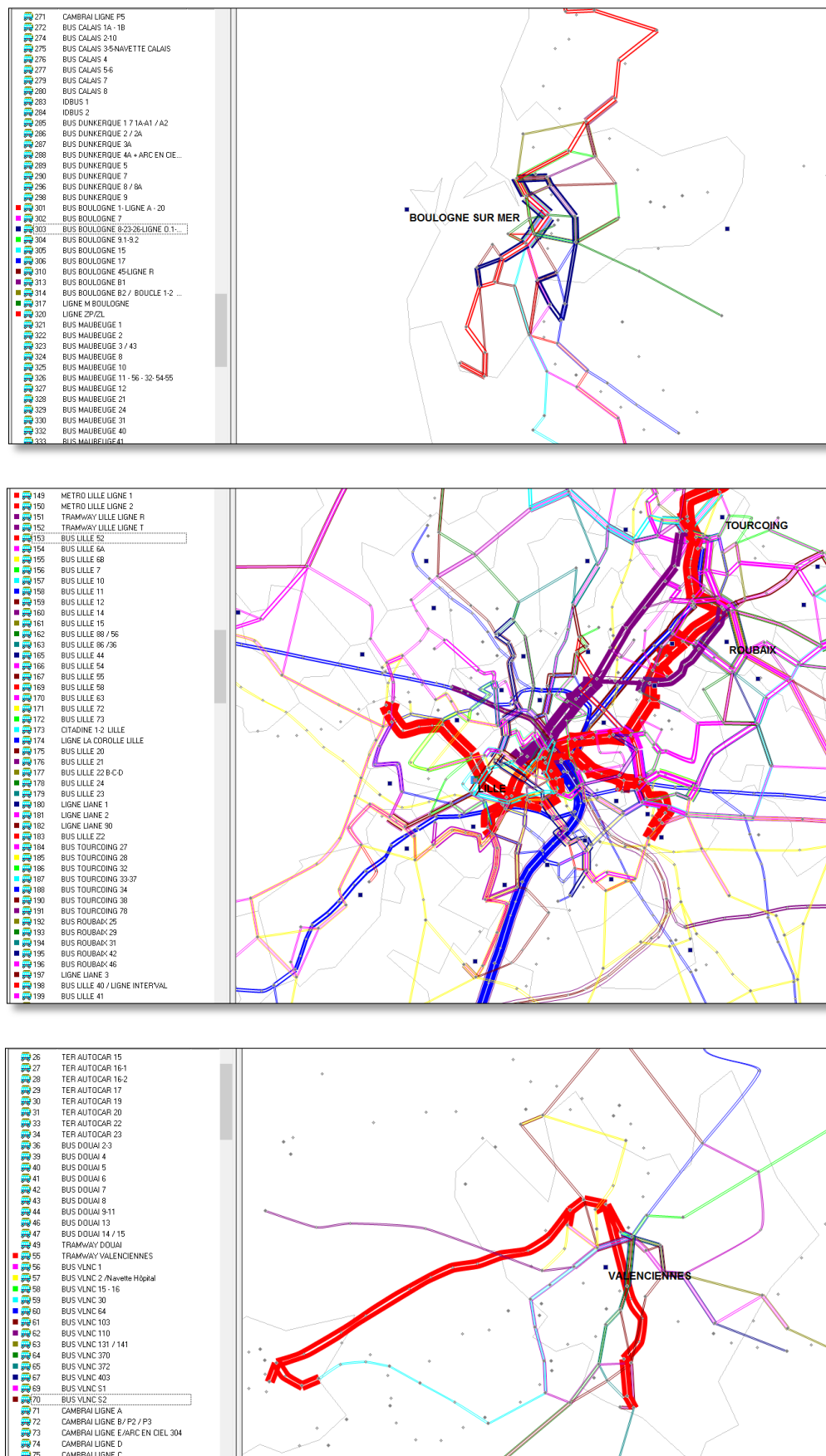


Figure 62: Exemples des représentations graphiques, dans le modèle, de l'offre de transport en commun dans les agglomérations urbaines de Boulogne sur Mer, Lille, Roubaix, Tourcoing et Valenciennes.

Par ailleurs des catégories correspondant aux différentes typologies de secteurs d'activités et d'usage des sols dans la zone d'étude, ont été définies dans le but de reproduire la structure du système résidentiel et des activités de la région. Ce travail a été réalisé à partir des bases de données fournies par le système SIGALE (Système d'Information Géographique (SIG) de la Région Nord-Pas-de-Calais) et en utilisant les données sur les dynamiques liées à l'emploi et aux activités productives de la région, fournies par l'INSEE. En particulier, par rapport aux secteurs productifs ont été introduits 2 secteurs d'activités *exogènes*⁷² (*secteur industriel et des constructions ; secteur agricole*), pour lesquels les ressources nécessaires à la production viennent de l'extérieur de la zone d'étude, et deux secteurs d'activités *endogènes*⁷³ ou *induits* (*tertiaire service et tertiaire public*), pour lesquels les ressources nécessaires à la production viennent des secteurs exogènes. En relation avec ces secteurs ont été introduites dans le modèle



Figure 63: Définition des secteurs d'activités relatifs aux différents secteurs productifs de la région. (F. Lo Feudo, 2014)

les données relatives au nombre d'emplois par secteurs d'activité et par zone du modèle.

Enfin par rapport à l'occupation du sol ont été identifiées 6 typologies principales

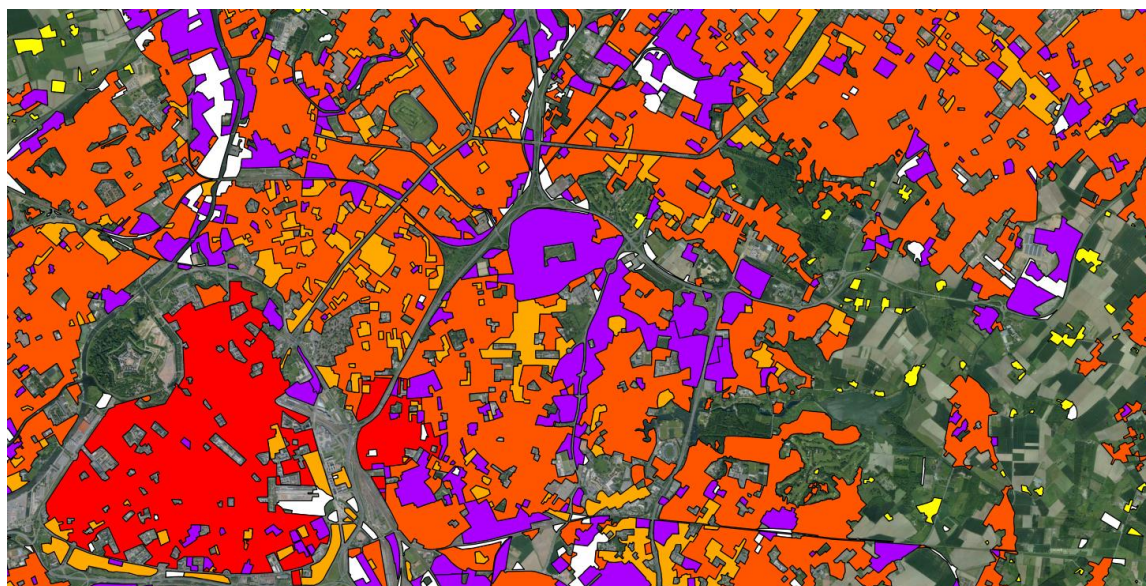
d'usages du sol, correspondant à la quasi-totalité des surfaces urbanisées de la région Nord-Pas-de-Calais, à l'exception des établissements hospitaliers et scolaires et des infrastructures de transports.

Les typologies qui ont été choisies sont les suivantes: *terrain résidentiel; terrain urbain continu dense ou mixte; terrains résidentiels collectifs; terrains résidentiels isolés; terrains en zones d'activités; espaces en friche et à bâtir; terrain TOD*. Plus en détail, dans le cas des secteurs *résidentiel, collectifs, isolés et d'activités*, ont été définis deux sous-secteurs correspondants à l'échelle *urbaine et rurale* ; caractérisés donc par des densités d'occupation des sols différentes pour une même typologie d'usage. Bien évidemment, même dans ce cas, le choix des types d'usages des sols insérés dans le modèle est dû aussi à la disponibilité des données et à la

⁷² "The location of exogenous production does not depend on the internal logic implicit in the model. Instead depends on elements not modelled or external to the system. Exogenous production is not subject to the spatial and sectorial distribution procedures of the model. It is a given input, to be added to endogenous, induced production." (Modelistica, 2013)

⁷³ "Induced production is production generated by internal or external demands. It is allocated to zones with the spatial and sectorial distribution model. The growth of induced production depends on the growth of those sectors that demand it." (Modelistica, 2013)

nécessité de simplifier autant que possible la réalité contenue dans le modèle, tout en essayant de reproduire au mieux la réalité observée.



Typologies d'usage du sol :

Urbain continue dense/mixte

Zones d'Activité

Résidentiel

Résidentiel Isolé

Résidentiel collectif

Espace en Friche

Figure 64: Représentation graphique des différentes typologies d'usages du sol considérées dans la modélisation : le cas de la métropole lilloise. (F. Lo Feudo, 2014)

Pour ces secteurs qui représentent les différents types d'usage des sols, les données relatives à la superficie disponible de chaque type de terrain ont été chargées à l'intérieur du modèle, pour chaque zone. Ont été également calculés les prix des sols par unité de surface, pour chaque type d'utilisation des sols et pour chacune des zones du modèle. Ils ont ensuite été insérés dans la section appropriée de *Tranus*.

Pour le calcul du prix du sol a été appliquée une procédure selon laquelle, à partir du prix de vente moyen (par unité de surface), on fournit le prix correspondant au paiement mensuel d'une hypothèque ou d'un emprunt sur le montant total du prix de vente de la surface. Dans *Tranus*, pour reproduire les dynamiques économiques particulières liées aux marchés immobiliers et fonciers, est préférable d'utiliser le prix de location par unité de surface que les prix de vente⁷⁴.

“Dans les données économiques, pour chaque secteur d'usage du sol et zone de développement, vous devez entrer un prix du sol. Les prix des sols doivent être exprimés en unités correspondant à la période de votre modèle de Tranus. Par exemple, si votre modèle représente l'heure de pointe

⁷⁴ En particulier, la fonction *Excel* utilisé pour effectuer cette conversion des prix est la fonction *VPM*, dans laquelle doit être défini le taux d'intérêts, la durée du prêt et la valeur actuelle et future de la tranche mensuelle.

ou un journée, alors vous exprimez les prix des sols en termes de valeur locative mensuelle équivalente” (B. Morton, 2009)⁷⁵

Dans le détail, l'estimation des prix fonciers relatifs aux typologies d'usages du sol considérées dans le modèle a été effectuée en utilisant, comme source principale, les données fournies par le site internet *www.meilleursagents.com*. Il s'agit de la base de données immobilières des notaires, disponible gratuitement en ligne, relative aux actes de mutations, aux opérations foncières et immobilières d'aménagement, réalisées et enregistrées par l'ensemble des études notariales de France. La base de données du site *meilleursagents* concerne les prix de vente au m² pour les typologies immobilières des maisons et des appartements. Pour traduire ces données en prix fonciers, nous avons défini des hypothèses de conversion, en fonction des surfaces moyennes des logements, des parcelles et des densités moyennes d'occupation des sols par typologie d'usage. La difficulté principale dans un enjeu d'usage du sol consiste à mettre en correspondance des données de surface de plancher (*floor-space*) et des données de surface de sol (*land-space*). En particulier, à partir d'une valeur de densité moyenne de nombre de logements par hectare, issue de la littérature spécialisée et par des indications fournies par l'INSEE, pour chaque typologie d'usage du sol la valeur totale de surface occupée par les différentes typologies immobilières a été calculée. Ensuite, à partir du rapport entre surface moyenne du logement (maison ou appartement) et surface totale occupée dans la parcelle type, une valeur équivalente à un coefficient d'occupation du sol a été calculée pour les différentes typologies d'usages considérées dans le modèle. Ce coefficient multiplié par le prix estimé fourni par la base de données des notaires (*meilleursagents*), établit donc le prix de vente d'une unité de surface de sol pour chaque zone considérée dans le modèle, à partir d'une donnée initiale qui était un prix de vente par unité de surface de plancher. La dernière étape pour obtenir des données relatives aux prix foncières à entrer dans le modèle *Tranus*, est la conversion du prix de vente foncière, en prix de location par unité de surface, en utilisant le logiciel *Excel*, et la méthode de calcul décrit précédemment (fonction VPM).

⁷⁵ Extrait d'une discussion sur les stratégies de calibration sur le forum en ligne du logiciel *Tranus* : [https://groups.google.com/forum/?fromgroups#!searchin/tranus/About\\$20demand\\$20function/tranus/gPEA15FDvA/qOOHghNNcJMj](https://groups.google.com/forum/?fromgroups#!searchin/tranus/About$20demand$20function/tranus/gPEA15FDvA/qOOHghNNcJMj)

Typologie d'usage du sol	Typologie immobilière	Densité [log/ha]	A - Surface moyenne de plancher [m ²]	B – Surface de sol occupé [m ²]	Coefficient d'occupation du sol [A/B]
Résidentiel isolé	Maison	15	150	667	0.23
Résidentiel collectif	Appartement	60	64	167	0.38
Urbain continu dense/mixte	Maison	120	104	83	1.25
	Appartement		64		0.76
Résidentiel	Maison	100	100	100	1.00
	Appartement		60		0.60

Tableau 5: Calcul du coefficient d'occupation du sol pour les typologies immobilières et typologies d'usages du sol.

$$\text{Prix de vente "meilleurs agents"} * \left[\frac{A}{B} \right] = \text{Prix de vente par unité de surface occupée au sol}$$

Équation 2: Calcul pour la conversion depuis le prix de vente par unité de surface du logement au prix de vente par unité de surface au sol.

La section *Intersector* représente enfin le cœur du modèle, en tant que module d'interface entre le module transport et le module usage du sol. En effet elle permet de définir toutes les relations et interactions entre les différents secteurs économiques et d'usage des sols.

Dans le cas de la simulation *Tranus* pour la région du Nord-Pas-de-Calais, le modèle a donc été conçu de sorte que les secteurs peuvent interagir de la façon suivante:

- Les secteurs d'activités peuvent «consommer» de la main d'œuvre, composée par les catégories d'emplois, classées par salaire moyen et catégories socio-professionnelles, ainsi que certains types de sols. En générant dans le modèle, respectivement les flux de type *domicile-travail* et les dynamiques de choix de localisation des activités;
- Les catégories de populations (ménages) peuvent à leur tour «consommer» les secteurs d'activités endogènes (tertiaire) et certains types de sols (terrains résidentiels). En générant dans le modèle, respectivement les flux de type *domicile-service* et les dynamiques de choix de localisation résidentielle des ménages.

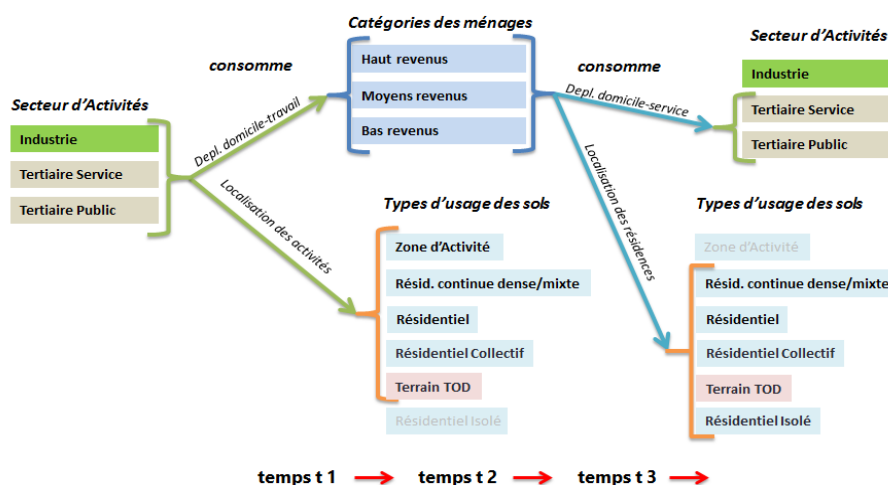


Figure 65: Représentation des interactions entre les secteurs d'activités, des ménages et d'usage des sols dans le modèle de simulation *Tranus* pour le Nord-Pas-de-Calais.

« La quantité d'inputs qu'une unité de production d'un secteur exige d'un autre secteur est déterminée par une fonction de demande. Le modèle *Tranus* inclut comme options: une demande fixe (l'équivalent de coefficients techniques dans un modèle d'entrée-sortie), une demande variable (élastique) et la possibilité de spécifier des substituts. Le sol est l'exemple typique d'un substitut, quand différents types de sol sont présents dans le système, comme les sols à basse densité, à haute densité, industrielle, commerciale, etc. » (Modelistica, 2013).

La fonction de demande qui dans *Tranus* règle la relation entre consommation et prix et donc entre offre et demande, est la suivante :

$$a_i^{mn} = \min^{mn} + (\max^{mn} - \min^{mn}) * \exp(-\delta^{mn} U_i^n)$$

a_i^{mn}	Quantité de production du secteur <i>n</i> demandée par une unité du secteur <i>m</i> dans la zone <i>i</i>
$\min^{mn}$	Quantité minimale de <i>n</i> demandée par une unité de production de <i>m</i>
$\max^{mn}$	Quantité maximale de <i>n</i> demandée par une unité de production de <i>m</i>
δ^{mn}	Paramètre d'élasticité de <i>m</i> en relation avec le coût de l'input <i>n</i>
U_i^n	Désutilité de consommation de <i>n</i> en <i>i</i>

Équation 3: Forme générale de la fonction de demande en *Tranus*.

Les secteurs « transportables » qui peuvent être consommés aussi hors de leur zone de production sont réglés par des fonctions de demande de type inélastiques. À partir des valeurs totales de production, pour chaque catégorie d'emplois et de population créés dans le modèle, on peut calculer les coefficients qui représentent la quantité de demande consommée pour chaque unité de production d'un secteur endogène ou induit dans le modèle.

Production totale dans le modèle	INDUSTRIE/ COSTRUCTIONS	AGRICULTURE	Tertiaire Service	Tertiaire Public	Ménages Hauts Revenus	Ménages Moyens Revenus	Ménages Bas Revenus
Scénario A - 2009	Nb emplois	Nb emplois	Nb emplois	Nb emplois			
	328297	26544	623798	502763	190369	415379	365322

Tableau 6: Production totale des ménages et emplois dans le scénario de base du 2009.

La procédure pour effectuer ce calcul utilise la fonction *solve* d'*Excel* et permet de déterminer les coefficients intersectoriels de la fonction de demande. Ces paramètres sont donc générés sur *Excel* et ensuite multipliés par la production totale du secteur de demande consommée par la catégorie générique. On parvient à une estimation correcte quand on obtient comme résultat les valeurs totales de production correspondantes aux valeurs d'entrées. Ce calcul permet de générer, par conséquent, les valeurs unitaires des salariés "consommés" pour chaque unité de production et pour chaque secteur d'activités.

	INDUSTRIE/ CONSTRUCTIONS	AGRICULTURE	Tertiaire Service	Tertiaire Public	Ménages hauts Revenus	Ménages Moyens Revenus	Ménages Bas Revenus	Générés	Donnés	Differ.
INDUSTRIE/ CONSTRUCTIONS										
AGRICULTURE										
Tertiaire Service					0.346983755	0.757107330	0.665868915	623798	623798	0
Tertiaire Public					0.279658789	0.610206433	0.536670930	502763	502763	0
Ménages hauts Revenus	0.083288109	0.006734144	0.158255956	0.127549686				190369	190369	0
Ménages Moyens Revenus	0.181731959	0.014693686	0.345309378	0.278309290				415379	415379	0
Ménages Bas Revenus	0.159831582	0.012922961	0.303696413	0.244770454				365322	365322	0

Tableau 7: Calcul des coefficients intersectoriels à travers la fonction *solve*.

Par contre pour estimer les paramètres de la fonction de demande des différents secteurs « *non transportables* » du modèle (c'est-à-dire les secteurs qui sont consommés exclusivement dans leur zone de production et pour lesquels la distribution de la demande se modifie en fonction du prix), réglés par une fonction de demande de type *élastique*, il faut estimer le paramètre d'élasticité qui définit par exemple la relation entre l'évolution du prix foncier et la consommation des sols. Pour chaque type d'usage du sol doivent, en outre, être définies les quantités maximales et minimales de surfaces consommées en moyenne, par chaque catégorie de demande (de population ou d'activité économique). Il s'agit d'estimer en fait des valeurs de consommation du sol par unité de population et d'emplois et donc d'introduire dans le modèle des indicateurs qui seront sous la forme de *surface/habitant* par type de sol (donc l'inverse de la densité).

Pour arriver à l'estimation de ces valeurs, la quantité moyenne de surface de sols résidentiels et productifs occupés, relative à chaque

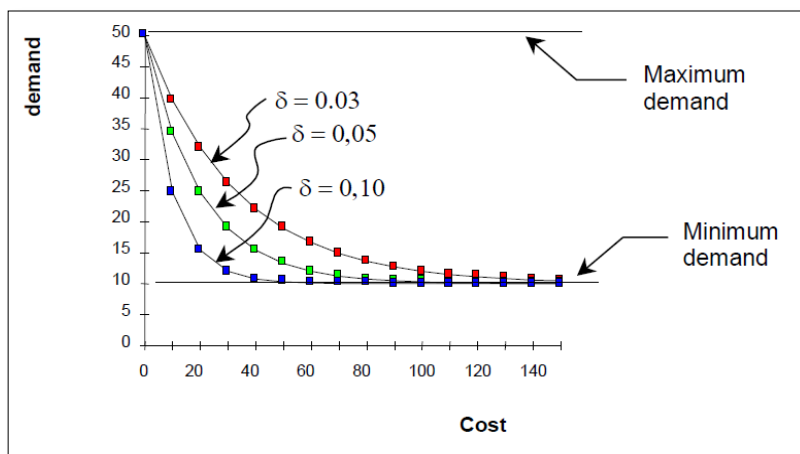


Figure 66: Exemples de fonctions de demande avec des différentes valeurs d'élasticité δ (Modelistica, 2013).

catégorie de demande, ainsi aussi la densité des logements et des activités (pour chaque zone du modèle), doivent être pris en compte afin d'obtenir des valeurs qui puissent reproduire le plus possibles la réalité effectivement observée. Pour effectuer ce type de calcul, une méthode a été créée dans le cadre de cette de thèse. La méthode se base sur l'explicitation des rapports de densité entre les différentes catégories de demande, consommatrices de chaque type de sol. À travers cette méthode, il a été possible d'estimer les paramètres min^{mn} et max^{mn} de la fonction

de demande, relatifs à chaque catégorie d'usage du sol, lesquels représentent essentiellement l'inverse d'une densité. En annexe à cette thèse est la procédure de calcul détaillée et exhaustive est consultable.

Tous ces indicateurs qui sont bien évidemment estimés en fonction de la situation présente dans le scénario de référence peuvent, pendant le processus de calibration du module *land use* en *Tranus*, subir des ajustements et des corrections (surtout par rapport à la *distance* entre quantité minimale et maximale d'input demandée et aux pénalités relatives aux différentes substituts), qui sont effectuées à travers un travail très fin de « *trial et error* », qui permet d'arriver à obtenir la convergence du modèle et à reproduire les données observées.

5.3. Conclusions

Dans ce chapitre nous avons introduit les principes à la base de la technique de modélisation intégrée d'usage du sol et des transports. Il s'agit d'un outil pour la représentation du fonctionnement du territoire, en fonction des dynamiques liées aux transports, à la localisation des ménages, des emplois et des activités dans l'espace et aux évolutions du marché foncier et immobilier. On parvient de ce fait à modéliser les interactions entre transport et usage du sol, sur des horizons temporels projetés et à modéliser les relations entre offre et demande relatives aux services de transport et au fonctionnement socio-économique de la zone d'étude, en fonction notamment des niveaux d'accessibilité, des coûts de transport, des comportements de mobilité et de localisation ainsi que des prix fonciers et immobiliers. À différence des modèles de type classique où les données d'usage du sol sont entrées de manière exogène, dans les modèles MUST ou LUTI les données sur l'usage du sol sont directement générées en fonction des niveaux d'accessibilité et des coûts de transport, ainsi que d'autres paramètres spécifiques relatifs aux comportements dans les choix de localisation. Cette technique de modélisation est basée sur l'intégration de plusieurs théories, dont celle des interactions spatiales de Lowry, celle de la maximisation de l'entropie, celle de la microéconomie urbaine de Von Thünen, celle des utilités aléatoires de McFadden et celle des modèles économétriques *d'entrées-sorties* de Leontief. Elle représente une aide à la résolution des questions des aménageurs et des urbanistes, en permettant une analyse globale et inclusive des dynamiques de fonctionnement dans les terrains d'études. Dans le même temps la grande complexité relative à la conception, à la mise en œuvre et à la calibration et la nécessité d'une approche multi-échelle et multidisciplinaire, ainsi que d'une expertise spécialisée, posent un problème d'ingénierie, de compétence et de temporalité dans l'application des MUST, ainsi que de capacité de reproductibilité et de partage des objectifs de modélisation entre décideurs et modélisateurs. On observe donc également l'importante fonction pédagogique des MUST qui peuvent représenter un moyen pour faciliter la rencontre et la compréhension réciproque entre le monde de la recherche et les acteurs de la sphère décisionnelle.

Le logiciel de simulation intégrée *Tranus* a été cependant choisi dans le cadre de cette recherche de doctorat, parce que considéré comme le plus adapté pour analyser et évaluer l'applicabilité des politiques de *Transit Oriented Development* sur le territoire du Nord-Pas-de-Calais. *Tranus* est un modèle d'économie spatiale, basé sur un modèle *logit* emboîté multinomial et sur le modèle spatial *d'entrées-sorties*, qui considère l'espace comme une surface à consommer (ou occuper) et également comme un ensemble des distances à franchir, pour passer d'une fonction à une autre du territoire. Il englobe une approche basée sur l'équilibre général entre la demande

et l'offre (de transport et d'usage du sol), en fonction des facteurs d'équilibre du temps et du prix, en arrivant à reproduire le mécanisme de compétition propre du marché foncier et immobilier et, dans le même temps, les dynamiques liées à la mobilité, en simulant dans le temps l'évolution de l'intégration entre transport et usage du sol. Le modèle *Tranus* est constitué par des zones, des catégories de transport et de population et par des secteurs d'activités. Le mécanisme de localisation et de distribution des ménages et des emplois dans l'espace suit le principe de la minimisation du coût généralisé d'implantation et donc de la maximisation de la fonction d'utilité. La fonction d'utilité inclut donc à la fois les coûts généralisés de transport et le coût de localisation et, en plus, le modèle peut tenir compte de contraintes de capacités du réseau de transport et des phénomènes de congestion. Il permet ainsi de reproduire les flux économiques entre les secteurs d'activités et de les transformer en flux de transport. Ensuite l'algorithme du modèle calcule les coûts et les désutilités de transport qui vont influencer sur le modèle des activités dans les temps de simulation successifs, en reproduisant ainsi un système de boucles de rétroaction. En utilisant le logiciel *Tranus* on peut donc étudier les effets relatifs à l'introduction d'une nouvelle infrastructure ou d'une ligne de transport en commun, mais également les effets liés à des changements dans les politiques d'usage du sol (p.ex. opérations de renouvellement urbain ou de densification) et les caractéristiques du marché foncier et immobilier.

Dans la suite du chapitre on illustre : les principes à la base du processus de calibration du logiciel *Tranus*. Par calibration on entend la capacité du modèle à reproduire les données observées avec une erreur et un niveau de précision suffisamment acceptable. Dans *Tranus* le processus de calibration n'est pas totalement automatisé et nécessite un travail lourd et minutieux d'essais et erreurs par le modélisateur. La calibration est achevée à travers un processus itératif, pendant lequel le modèle ajoute ou soustrait aux prix de référence du scénario de base des quantités appelés *prix d'ajustements*, en s'arrêtant une fois que le modèle converge. D'autres paramètres et indicateurs peuvent aussi nécessiter un ajustement et être calibrés. Il s'agit de facteurs difficilement définissables de manière empirique (sinon à travers des campagnes d'entretiens auprès des usagers), qui touchent les comportements de mobilité, le choix de localisation et les fonctions de demande relatives à la consommation de sol (notamment les paramètres de substitution qui définissent la préférence de choix entre les différentes possibilités de localisation dans l'espace). En conclusion, dans ce chapitre, nous avons exposé les hypothèses de base, les données, la structure générale et la démarche d'implémentation du modèle *Tranus* pour la région Nord-Pas-de-Calais. Le travail de modélisation a donc consisté en la définition du zonage, et la définition de catégories des ménages, d'emplois, d'activités productives et des types d'usage du sol ; dans le chargement des

toutes les données relatives à l'offre physique et opérationnelle de transport (infrastructures et services), et ensuite dans la conception et l'implémentation des trois différents scénarios alternatifs de développement territorial régional avec un horizon temporel fixé à 2025. Un scénario "*au fil de l'eau*" est mis en œuvre, pour disposer d'un aperçu de l'évolution du système intégré régional, en ne supposant aucun changement dans les politiques futures de transports et d'usage des sols. Ce scénario sera également utile pour disposer de résultats comparables avec ceux du scénario consacré à la simulation des politiques de TOD. Deux autres scénarios sont en fait également mis en œuvre, avec des hypothèses de développement urbain orienté vers les transports en commun et vers le rail (TOD), sur des nœuds et corridors ferroviaires sélectionnés sur la base du niveau d'insertion urbaine des quartiers de gare considérés, à travers des interventions de densification urbaine et d'amélioration progressive de l'offre de transports collectifs. Dans le troisième scénario, en plus des hypothèses de TOD introduites dans le deuxième scénario, ont été ajoutées plusieurs interventions d'une politique d'amélioration du fonctionnement du système de transport, telles qu'elles figurent dans le Schéma Régional de Transport et de la Mobilité du Nord-Pas-de-Calais. Cette région, comme nous l'avons expliqué dans le chapitre précédent, est caractérisée par le rôle attractif de l'aire métropolitaine de Lille, par son caractère transfrontalier et par la présence de plusieurs aires urbaines attractives dans la partie centrale ainsi que par des disparités régionales persistantes (de niveau social et économique) localisées surtout dans l'ancien bassin minier et dans certaines zones côtières.

La présence d'un système ferroviaire régional, bien structuré et avec des niveaux élevés d'efficacité et de qualité de service, considéré comme un élément clé du développement dans les plans stratégiques régionaux, nous a conduit à l'hypothèse d'un plan de développement régional structuré principalement sur le réseau ferroviaire. L'infrastructure ferroviaire régionale existante est en effet considérée, dans les documents de planification stratégique régionale, comme l'élément sur lequel fonder et construire le futur développement régional, en suivant des principes de durabilité et de croissance économique, qui devraient être porteurs d'une meilleure qualité de vie.

6. Résultats et enseignement de la modélisation

« En définitive le grand enjeu de l'urbanisme, c'est la pensée de l'incertitude. La tradition, en particulier celle de la pensée des ingénieurs, consiste à inventer des procédures pour réduire l'incertitude. Le projet en est une, qui permet de le faire dans un contexte très mobile. Mais on doit aller plus loin, c'est-à-dire faire la ville avec l'incertitude. Cela signifie penser et agir en système ouvert, créer des possibles et pas seulement des faits, se situer dans le mouvement pour essayer d'agir sur lui, non en dehors. »

L'urbanisme d'après crise – 2014 – Alain Bourdin.

Suite à l'implémentation et à la mise en œuvre du modèle intégré d'usage du sol et des transports pour la région Nord-Pas-de-Calais, à travers le logiciel de modélisation *Tranus*, il a été possible de générer et de sortir plusieurs résultats relatifs aux évolutions des dynamiques liées au système de transport et à l'usage des sols. En particulier *Tranus* permet d'évaluer plusieurs paramètres explicatifs du fonctionnement territorial de la zone d'étude. Dans ce cas spécifique une première analyse a été effectuée, en particulier sur les effets induits par les interventions de densification urbaine (résidentielle et d'activités) et d'amélioration de l'offre des transports en commun, dans les zones du modèle sélectionnées en considération d'une hypothèse de potentiel de développement orienté vers les rails et les transports en commun (TOD). L'intérêt principal est d'estimer si, effectivement, ces interventions de densification autour des gares et d'intensification de l'offre de transport en commun, progressives dans le temps, contribuent à modifier les choix de localisation des ménages et des activités productives, en favorisant une densification des zones déjà urbanisées, sans pour autant consommer des espaces naturels et sans alimenter l'étalement et la dispersion urbaine. En outre, le paramètre de répartition modale globale entre la voiture particulière et les transports en commun a été retenu comme une valeur fondamentale d'analyse, avec un intérêt spécifique à l'analyse de l'impact des hypothèses de modélisation sur l'évolution de la fréquentation des services ferroviaires régionaux. Comme nous l'avons précédemment décrit, trois scénarios (A, B et C) ont été implémentés dans le modèle, avec un horizon temporel de 16 ans (2009-2025).

Les résultats du modèle indiquent de très grands mouvements de population entre zones spatiales et entre types de tissus urbains et cet élément pourrait sembler irréaliste. Pourtant la présentation des résultats du modèle à plusieurs acteurs territoriaux clés, n'a pas suscité de réaction de rejet. Au contraire, face à l'ampleur des incertitudes de la prospective, en matière énergétique, en matière sociétale, en matière d'aspiration au bien-être des individus et des

ménages, en matière de mode de vie, ces acteurs ont exprimé l'idée que l'on ne peut balayer la possibilité de changements radicaux dans les structures spatiales de l'occupation humaine de ces territoires qu'ils connaissent bien. Les tendances lourdes, inscrites depuis de plusieurs décennies de l'étalement urbain et de la massification de l'usage de l'automobile, sont aujourd'hui vues par ces acteurs comme fragiles et susceptibles de s'arrêter voire de s'inverser. Rien n'interdit alors d'envisager des modifications de l'ampleur de celles que les résultats du modèle indiquent.

A ce propos, dans le présent chapitre, nous exposons en détail la démarche d'implémentation des scénarios de simulations et en particulier la manière selon laquelle, à travers des hypothèses de densification et de transformation progressive de l'usage du sol, il a été possible de proposer un plan régional de densification autour des gares, en se basant sur les principes du TOD. Ensuite le travail de calibration sera décrit au travers de toutes ses phases et procédures, qui concernent les deux sous-modèles de transport et d'usage du sol. On entend de ce fait illustrer la signification des équations et des paramètres qui ont été objet d'ajustements pendant le processus de calibration. Enfin les résultats du travail de modélisation, sont exposés avec l'aide de cartes thématiques et de graphiques, concernant les sorties du modèle relatives aux dynamiques de mobilité et d'usage du sol pour la zone d'étude. Nous nous situons dans l'optique d'évaluer l'incidence de l'application au niveau régional d'un plan de TOD, sur l'évolution des phénomènes d'étalement urbain, de dépendance de la voiture et donc sur le taux l'utilisation des transports en commun.

6.1. Implémentation du scénario de référence et des différents scénarios de simulation à l'horizon 2025

Introduit dans le chapitre précédent, le travail de modélisation intégrée, mis en place en utilisant le logiciel *Tranus*, sur le terrain de la région Nord-Pas-de-Calais, prévoit trois scénarios différents de simulation. Les scénarios se développent sur un horizon temporel de 16 ans et considèrent comme période de départ et de référence l'année 2009 et comme année terminale à 2025 à travers quatre simulations, relatives aux périodes 2013, 2017, 2021 et enfin 2025.

Le choix de 2009 comme date de référence est lié essentiellement à la disponibilité des données, qui pour cette période sont en libre accès, grâce aux résultats du recensement fournis par l'INSEE. En particulier, le site internet des cartes thématiques et des statistiques locales de l'INSEE a été utilisé comme source pour le recueil des données relatives à la distribution de la population et des emplois dans les zones d'études. Pour les données d'usage du sol, la base de données provenant du Système d'Information Géographique et d'Analyse de L'Environnement (SIGALE) de la région Nord-Pas-de-Calais a été utilisée et enfin, en relation avec l'estimation des prix fonciers, la base de données immobilière des notaires, (disponible en ligne sur le site *meilleuragents.fr*⁷⁶) a été considérée comme source.

Le premier scénario de simulation, désigné par la lettre A, est un scénario « *au fil de l'eau* », c'est-à-dire qui ne prévoit pas de changements importants, dans le temps, dans les caractéristiques du système de transport et d'usage du sol de la région. L'unique variation présente dans ce scénario est relative au coût du carburant qui, selon une hypothèse très restrictive (et d'ailleurs favorable au trafic routier), a été augmenté depuis une valeur de 1.4 euros par litre en 2009 jusqu'à une valeur de 2 euros par litre en le 2025.

Une autre variation présente dans le scénario A, qui d'ailleurs est commune à tous les autres scénarios (comme dans le cas de l'évolution du coût du carburant), est relative aux hypothèses de croissance démographique et d'emplois considérées pour la zone d'étude. En accord avec les prévisions fournis par l'INSEE (INSEE - NPDC, 2012), un taux de croissance démographique de 0,1% par an a été considéré, et reporté dans le modèle.

En effet *Tranus* permet d'insérer dans le modèle des valeurs de croissance globale (avec des restrictions ou caractérisations qui peuvent éventuellement être spécifiées zone par zone) exclusivement pour les secteurs de type exogène (dans ce cas il s'agit des secteurs de l'industrie,

⁷⁶ M. Goodarz Shafiei a travaillé pendant cinq mois en tant que stagiaire près du Laboratoire Ville Mobilité et Transports - LVMT (UMR de l'IFSTTAR), en collaborant dans l'implémentation du modèle présenté dans cette thèse. En particulier M. Shafiei s'est occupé de la collecte et manipulation des données sur l'offre des transports collectifs, la situation démographique, l'emploi, l'usage des sols et le marché immobilier, à travers la création de macros sur Excel et l'utilisation des SIG.

des constructions et de l'agriculture). Une fois calculée la valeur globale de croissance pour les secteurs exogènes, le logiciel *Tranus*, à travers les coefficients intersectoriels relatifs aux diverses catégories de population et d'emplois, précédemment calculées (il s'agit des coefficients des fonctions de demande pour les secteurs transportables, donc de type inélastiques), adopte le même taux de croissance pour les autres secteurs endogènes ou induits (emplois du secteur tertiaire et ménages).

“La croissance peut être représentée par une augmentation de la demande exogène, ou, si nécessaire, par une augmentation de la population, des ménages, ou de l'emploi total, si une seule de ces projections est disponible. En plus, on peut “forcer” les changements démographiques, tels que l'immigration des ménages à faible scolarité les données du modèle pour les changements dans les revenus, les salaires et les loyers. L'exode des ménages retraités aussi peut être modifié manuellement, pour remplacer les projections du modèle.” (Johnston & de la Barra, 1998)

Donc, par rapport au scénario A nous n'avons pas fait d'hypothèses sur l'évolution de la demande de localisation des ménages et des activités né, non plus en relation avec les changements dans la distribution de la demande de transport et dans les niveaux d'offre d'infrastructures et des services de transport en commun sur le territoire régional.

Bien évidemment c'est dans les autres scénarios (B et C) qu'ont été proposées des hypothèses plus spécifiques par rapport aux directions possibles du développement régional. L'intention a été d'étudier la réponse de plusieurs indicateurs par rapport à la perspective, déjà évoquée plusieurs fois dans ce texte, de structurer l'évolution urbaine future le plus possible le long du réseau ferroviaire régional. Le scénario B considère l'hypothèse de mise en œuvre d'un Plan Régional de TOD, qui consiste en substance dans l'activation d'une politique de densification mixte et multifonctionnelle (résidences et activités), progressive et concentrée dans des zones sélectionnées pour leur potentialité et leur prédisposition à accueillir des interventions de développement orienté vers le rail et les transports en commun (TOD). Le Plan Régional de TOD (scénario B) prévoit donc une modification de l'usage du sol pour les communes qui contiennent des quartiers de gares sélectionnés pour leur potentiel de TOD, en laissant inchangées les hypothèses de croissance démographique et d'emplois ainsi que l'augmentation des prix des carburants, considérées dans le scénario A. La modification de l'usage du sol est essentiellement une opération de densification, selon les principes propres au TOD et prévoit la transformation d'un pourcentage des terrains de type en friche et résidentiel en terrain résidentiel continu dense (mixte) et d'une part de ce dernier en terrain de type TOD. Une nouvelle typologie

d'usage du sol, définie comme terrain TOD, a été aussi introduite dans le modèle, pour représenter des terrains avec une densité moyenne de l'ordre de 10% - 15% supérieure à celle des terrains du type résidentiel continu dense (correspondant en fait au cœur des centres urbains). Elle se caractérise par une haute qualité du design et d'aménagement urbain. Cet attribut relatif à la qualité de l'espace urbain n'est pas modélisable, mais a été reproduit dans *Tranus* en utilisant le paramètre des attracteurs de zone et donc en supposant un léger gain d'attractivité pour les zones concernées par des interventions de densification mises en œuvre selon les principes du TOD.

“Lorsque le sol d'un certain type d'une zone est modifié de, disons, résidentiel vers mixte, nous qualifions ce projet de réaménagement” (Modelistica, 2011)

Dans le Tableau 8 est illustrée la manière selon laquelle, à travers les hypothèses de transformation progressive de l'usage du sol dans certaines zones spécifiques du modèle (zones TOD), il a été possible proposer un plan régional de densification autour des gares, en tenant compte des principes du TOD.

Typologie d'usage du sol	2013	2017	2021	2025
Terrain en Fiche		5% se transforme en résidentiel continue dense	10% se transforme en résidentiel continue dense	15% se transforme en résidentiel continue dense
Terrain Résidentiel		5% se transforme en résidentiel continue dense	15% se transforme en résidentiel continue dense	20% se transforme en résidentiel continue dense
Résidentiel Continu Dense (Mixte)		15% se transforme en terrain TOD	25% se transforme en terrain TOD	35% se transforme en terrain TOD

Tableau 8: Pourcentage de terrain de chaque type d'usage du sol transformée dans les différents périodes de simulations dans un autre type d'usage. (F. Lo Feudo, 2014)

Pour clarifier cet aspect, des images ont été créées qui représentent de manière qualitative les hypothèses de densification, appliquées, à titre d'exemple, sur le site de la gare de Saint Amand les Eaux (voir Figure 67). Il s'agit d'un exemple de représentation graphique de type qualitatif, effectué avec l'intention de montrer les hypothèses de densification progressive, qui ont été appliquées dans les zones du modèle possédant un potentiel de TOD, mais il ne s'agit pas d'une proposition effective de réorganisation de l'usage du sol du site, sinon à titre purement illustratif. Dans le Tableau 9 qui suit, pour la zone TOD de Saint Amand les Eaux, on expose en outre les valeurs de surface pour chaque typologie d'usage du sol, qui changent en fonction des différents périodes de simulation.

Par rapport aux changements proposés dans le système de transport, dans le scénario B, en plus des hypothèses de densification précédemment décrites, une augmentation progressive de l'offre des services de transports en commun a été supposée pour les zones TOD. En particulier, pour les

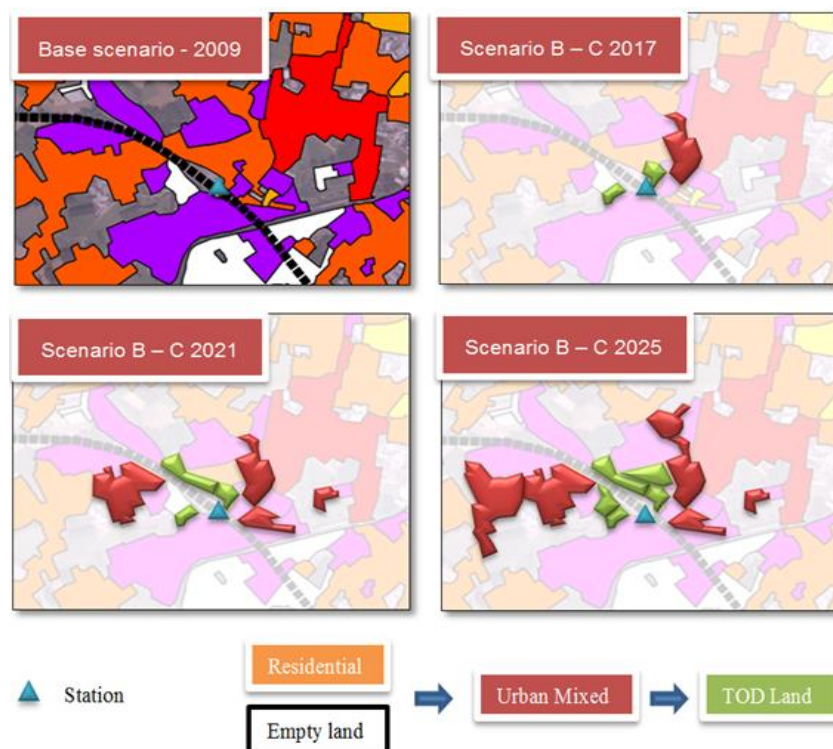


Figure 67: Représentation graphique et qualitative de l'application des hypothèses de densification progressive sur le site de Saint Amand les Eaux.

lignes de bus urbains et suburbains et pour les lignes du service ferroviaire régional (TER), desservant les zones TOD, le scénario B prévoit une augmentation des fréquences du service de l'ordre de 10% dans la période de simulation de 2017, qui reste stable dans la période 2021 et augmente ultérieurement du 10% en 2025 (+20% par rapport au scénario de référence).

TOD Zone Saint Amand les eaux					
		Urban Dense	Residential	Empty Land	TOD Land
Consumed Land [ha]	2009	36	442	42	0
	2013	36	442	42	0
	2017	51	420	40	9
	2021	127	357	36	32
	2025	204	286	31	71
Évolution of land consumption [ha]	2009	0	0	0	0
	2013	0	0	0	0
	2017	+15	-22	-2	+9
	2021	+76	-63	-4	+23
	2025	+77	-71	-5	+39

Tableau 9: Changement des valeurs de surface pour chaque typologie d'usage du sol en fonction des différents périodes de simulation, sur le site de Saint Amand les Eaux.

Cette hypothèse a été proposée également dans le troisième scénario de modélisation (Scénario C), avec une augmentation supplémentaire du niveau des fréquences pour les mêmes lignes de transport en commun. Dans le cas du scénario C, l'augmentation des fréquences prévue est de l'ordre de 20%, pour la période de simulation 2017, stable pour

la période 2021 et de 30% en 2025. Le scénario C a été, en outre, conçu avec l'intention de tester les effets des politiques de TOD, introduites déjà dans le scénario B, en intégrant avec des hypothèses encore plus orientées vers le découragement de l'usage de la voiture et l'incitation à

l'usage des transports collectifs. En particulier, toutes les hypothèses additionnelles relatives au système de transport, ont été inspirées par les indications et les actions stratégiques proposées et préconisées dans le cadre des documents de planification régionale sur les transports et la mobilité (SRTM) du Nord-Pas-de-Calais (Conseil Régional NPDC, 2013). L'introduction du péage autoroutier dans la région et, en même temps, celle d'un système d'intégration tarifaire entre le service ferroviaire régional et les lignes de bus urbains et suburbains, sont les principales mesures adoptées. Par intégration tarifaire, on entend le fait que les transferts entre les modes concernés (bus et train), ne prévoient pas un coût additionnel (le coût relatif au déplacement n'est payé qu'au moment de la montée dans le premier mode de transport utilisé). Le logiciel *Tranus* permet de représenter assez facilement les coûts de transfert entre les différents modes de transports, à travers la définition d'une matrice spécifique, modifiable dans les différentes périodes et scénarios de simulation. Concernant le péage autoroutier a été prévue, à partir du 2017, l'introduction d'un coût additionnel pour les usagers des infrastructures routières, de l'ordre de 0,08 € par km.

	1 Car	2 Bus Urban	3 Bus Suburb	4 Tramway	5 Metro	6 Train TER	7 Train TER GV	8 Train TGV	9 Bike	10 Walk	11 Trucks
1 Car	0	INF	INF	INF	INF	INF	INF	INF	INF	INF	
2 Bus Urb	INF	0	1.45	0	0	1.5	1.8	1.8	INF	0	
3 Bus Sub	INF	1.4	0	1.4	1.4	1.5	1.8	1.8	INF	0	
4 Tramwa	INF	0	1.45	0	0	1.5	1.8	1.8	0	0	
5 Metro	INF	0	1.45	0	0	1.5	1.8	1.8	0	0	
6 Train TE	INF	1.4	1.45	1.4	1.4	1.5	1.8	1.8	0	0	
7 Train TE	INF	1.4	1.45	1.4	1.4	1.5	1.8	1.8	0	0	
8 Train TC	INF	1.4	1.45	1.4	1.4	1.5	1.8	1.8	0	0	
9 Bike	INF	INF	INF	INF	INF	1.5	1.8	INF	0	INF	
10 Walk	INF	1.4	1.45	1.4	1.4	1.5	1.8	1.8	INF	0	
11 Trucks											0

Figure 68 : Matrice des coûts de transfert entre les différents modes de transports dans le scénario de référence en 2009, sans intégration tarifaire.

	1 Car	2 Bus Urban	3 Bus Suburb	4 Tramway	5 Metro	6 Train TER	7 Train TER GV	8 Train TGV	9 Bike	10 Walk	11 Trucks
1 Car	0	INF	INF	INF	INF	INF	INF	INF	INF	INF	
2 Bus Urb	INF	0	0	0	0	0	1.8	1.8	INF	0	
3 Bus Sub	INF	0	0	1.4	1.4	0	1.8	1.8	INF	0	
4 Tramwa	INF	0	1.45	0	0	1.5	1.8	1.8	0	0	
5 Metro	INF	0	1.45	0	0	1.5	1.8	1.8	0	0	
6 Train TE	INF	0	0	1.4	1.4	1.5	1.8	1.8	0	0	
7 Train TE	INF	1.4	1.45	1.4	1.4	1.5	1.8	1.8	0	0	
8 Train TC	INF	1.4	1.45	1.4	1.4	1.5	1.8	1.8	0	0	
9 Bike	INF	INF	INF	INF	INF	1.5	1.8	INF	0	INF	
10 Walk	INF	1.4	1.45	1.4	1.4	1.5	1.8	1.8	INF	0	
11 Trucks											0

Figure 69: Matrice des coûts de transfert entre les différents modes de transports dans le scénario C en 2017, avec intégration tarifaire entre les services de bus et trains régionaux.

6.2. Le processus de calibration du scénario de référence

Avant de pouvoir passer à la simulation et à l'analyse des résultats générés par les scénarios A, B et C qui viennent d'être introduits, le scénario de référence du modèle (scénario de base au 2009) doit être calibré. Le travail de calibration du modèle d'usage du sol et du transport pour la Région Nord Pas-de-Calais, réalisé avec le logiciel *Tranus*, a pris une durée d'environ 10 mois, dont les dernières 5 semaines effectuées dans le cadre d'une visite de recherche, financée par l'IFSTTAR et par le laboratoire LVMT, auprès du bureau d'étude Modelistica situé à Caracas (Venezuela) et effectuée sous la supervision directe du Prof. Tomàs de la Barra, concepteur et créateur du logiciel de simulation *Tranus*. Cette mission de recherche a représenté une

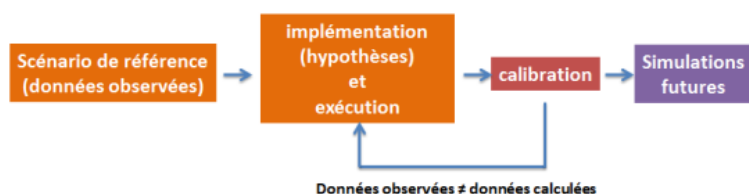


Figure 70: Les processus de modélisation. (F. Lo Feudo, 2014)

opportunité très enrichissante et stimulante qui a permis d'approfondir la maîtrise du logiciel et d'explicitier et d'affiner certaines hypothèses relatives au modèle décrit dans cette thèse, de manière à effectuer une calibration pertinente pour obtenir des résultats plausibles face aux questionnements théoriques et conceptuels à la base de ce travail de doctorat. En particulier, le travail de calibration consiste en l'ajustement de certaines valeurs et indicateurs du modèle, qui ne sont pas estimables empiriquement, dans le but de reproduire dans les résultats issus de la modélisation, les données d'entrée réellement observées pour la période de base (2009). Dans le chapitre précédent (voir paragraphe 5.1.3) on a illustré les principes et les fondements théoriques à la base du processus de calibration dans *Tranus*, en expliquant les difficultés et la complexité que cette étape comporte pour le modélisateur. Maintenant on entend entrer plus dans le détail, en expliquant les étapes les plus importantes qui ont permis de réaliser la calibration. Le processus de calibration dans *Tranus* prévoit plusieurs phases et consiste essentiellement dans une première calibration du modèle transport, dans le passage ensuite à la calibration du modèle d'usage du sol et enfin, dans le retour au modèle transport pour la calibration finale. Ce processus est répété dans la pratique plusieurs fois, dans une dynamique continue d'essais et erreurs, en considération du fait que pendant la calibration il peut s'avérer nécessaire de modifier et d'affiner certaines hypothèses et paramètres du modèle, ce qui, à chaque fois, impose de relancer depuis le début l'exécution du modèle.

"Au fil des années, nous avons développé des stratégies pour calibrer les modèles, mais le processus continu à être humain, et à exiger la connaissance de première main du terrain

d'étude. Parce que les modèles sont intégrés, il est important de vérifier la sortie de chaque modèle et de ne pas permettre à des erreurs de se propager" (Juancarlo Anez, 2007)⁷⁷

6.2.1. La calibration du modèle transport

Concernant le modèle transport, l'ajustement des paramètres est fondamental pour la réalisation de la convergence. Il s'agit des paramètres non modélisables et difficilement définissables de manière empirique, sinon à travers des entretiens avec les habitants, qu'il n'a pas été possible d'effectuer dans le cadre de ce travail de thèse⁷⁸. En particulier, les paramètres qui définissent le comportement des différentes catégories de transport, comme les valeurs maximum et minimum du taux de génération des déplacements par catégorie de transport et le paramètre d'élasticité⁷⁹ correspondant (en fonction des désutilités composées de transport, qui définissent le mode préféré dans la série de choix possibles), les facteurs de pénalité et de préférence des modes de transports pour chaque catégorie de transport⁸⁰ et les valeurs du temps de déplacement et du temps d'attente, représentent les indicateurs que ont subi des ajustements pendant la phase de calibration du modèle transport. Concernant les taux de génération des déplacements, ont été considérées comme valeurs de départ celles fournies par l'ERMD (2010) de la région Nord-Pas-de-Calais, qui concernent tous les motifs de déplacements, alors que dans ce cas spécifique on considère exclusivement les motifs *domicile-travail* et *domicile-service*⁸¹. Les valeurs initiales de la valeur du temps de déplacements et du temps d'attente au départ ont été par contre définies à travers le calcul décrit dans le chapitre précédent (voir paragraphe 5.2). Par rapport aux facteurs de pénalité et de préférence des modes de transports pour la catégorie de population à haut revenus, a été considérée comme hypothèse de départ une préférence pour l'usage de la voiture et ensuite pour le transport en commun (avec une pénalité pour le TGV). Pour la catégorie des ménages à moyen revenus la voiture reste toujours le mode préféré, mais avec moins de différence de préférence par rapport aux transports en commun et enfin, pour la catégorie des ménages à bas revenus, les transports collectifs présentent une préférence supérieure à celle de la voiture. La fonction qui dans *Tranus* règle la génération des déplacements est la suivante :

⁷⁷ Extrait de la discussion « *calibration strategies* » sur le forum en ligne du logiciel *Tranus* : <https://groups.google.com/forum/?fromgroups#!forum/tranus>

⁷⁸ Ceci constitue une piste pour des recherches ultérieures visant à mieux caractériser les mécanismes clés qui sont à l'œuvre dans l'articulation transport/urbanisme.

⁷⁹ Section du logiciel *Tranus* : *Transport ; Category ; min/ max trip génération rate ; elasticity*.

⁸⁰ Section du logiciel *Tranus* : *Transport ; Operators ; modal factor; penal factor by category*.

⁸¹ En faisant référence au dictionnaire des variables de l'Enquête Régionale Mobilité et Déplacements 2010, au fin de la modélisation ont été considérés les déplacements avec *motif à la destination agrégé* du type : travail ; école, collège, lycée, université ; achat ; démarches privées ; loisir ; autre motif.

$$T_{ij}^s = F_{ij}^s [v_{min}^s + (v_{max}^s - v_{max-min}^s) * \exp(-\eta^s \tilde{c}_{ij}^s)]$$

F_{ij}^s Flux de la catégorie de transport s depuis i à j

v_{min}^s nombre minimum de déplacements par unité de flux effectués par la catégorie de transport s , quelconque valeur de désutilité composée

v_{max}^s nombre maximum de déplacements par unité de flux effectués par la catégorie s , avec la désutilité composée qui tend vers zéro

η^s Élasticité de la catégorie s en fonction de la désutilité composée

Équation 4: Équation pour la génération des déplacements dans *Tranus* (Modelistica, 2013).

Les autres indicateurs (facteurs de pénalité et de préférence des modes de transports ; valeurs du temps de déplacements et du temps d'attente) apparaissent dans les équations suivantes :

$$RT_m^s = tv_m \left(tt_o + \frac{ct_o tc_o}{to_o} \right) pc_o^s + tv_m (vv^s pt_m pg_o pp_o^s)$$

RT_m^s Coût du temps pour la combinaison opérateur/connecteur m selon la perception du voyageur s

tv_m Durée du trajet pour l'opérateur o dans le connecteur l , qui est fonction de la longueur du connecteur et de la vitesse de l'opérateur

tt_o Prix lié au temps pour l'opérateur o

ct_o Coût lié au temps pour l'opérateur o

tc_o Proportion des coûts d'exploitation que l'opérateur o transfère aux usagers

to_o Taux d'occupation pour l'opérateur o

pc_o^s Proportion du prix payé par la catégorie s à l'opérateur o

vv^s Valeur du temps de déplacement de la catégorie s

pt_m Facteur de pénalité associé au type de connecteur de la combinaison $m(l,o)$

pg_o Facteur de pénalisation associé à l'opérateur o

pp_o^s Facteur de pénalisation associé à l'opérateur o et à la catégorie de demande de transport s

Équation 5: Équation pour le calcul des coûts en fonction du temps (Modelistica, 2013).

$$TR_m^s = \left(tf_o + \frac{cf_o tc_o}{to_o} \right) pc_o^s + te_m ve^s, 0 \in m$$

TR_m^s Coût de transfert pour la catégorie s à l'embarquement dans l'opérateur o dans le connecteur l

tf_o Prix d'embarquement de l'opérateur o

cf_o Coût d'exploitation fixe pour l'opérateur o

tc_o Proportion des coûts d'exploitation que l'opérateur o transfère aux usagers

to_o Taux d'occupation pour l'opérateur o

pc_o^s Proportion du prix payé par la catégorie s à l'opérateur o

te_m Temps d'attente d'un véhicule de l'opérateur o dans le connecteur l (seulement pour les transports en commun)

ve^s Valeur du temps d'attente pour la catégorie s

Équation 6: Équation pour le calcul des coûts de transfert (Modelistica, 2013).

$$Pr_{ij}^{ks} = \frac{\exp \left(-\lambda^s \left(\frac{\tilde{c}_{ij}^{ks}}{(\min_k(\tilde{c}_{ij}^{ks}))^{\theta^s}} \right) \right)}{\sum_k \exp \left(-\lambda^s \left(\frac{\tilde{c}_{ij}^{ks}}{(\min_k(\tilde{c}_{ij}^{ks}))^{\theta^s}} \right) \right)}, k \in K^s$$

λ^s Paramètre de dispersion du modèle *logit* de choix modale

K^s ensemble de modes k disponible pour la catégorie s

$\tilde{c}_{ij}^{ks}$ Désutilité composée pour le mode k

$\min_k(\tilde{c}_{ij}^{ks})$ Désutilité composée pour le meilleur mode dans l'ensemble des choix

θ^s Paramètre qui règle le degré de normalisation de la catégorie s

Équation 7: Modèle *logit* multinomiale pour l'estimation de la probabilité de choix modale (Modelistica, 2013).

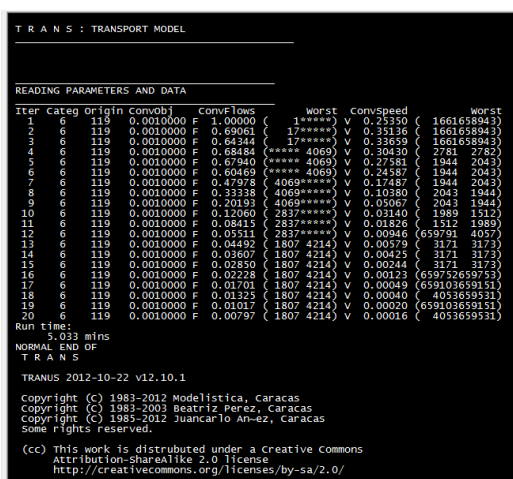


Figure 72: Sorties de Tranus qui démontre la convergence du modèle de transport avec un facteur de convergence de 0,001.

nous représentons les résultats de la calibration du modèle transport et leur correspondance avec les données observées. Concernant la charge du réseau ferroviaire, le logiciel *Tranus* permet également de visualiser des cartes qui reproduisent, à travers des épaisseurs variables, les différents taux d'occupation

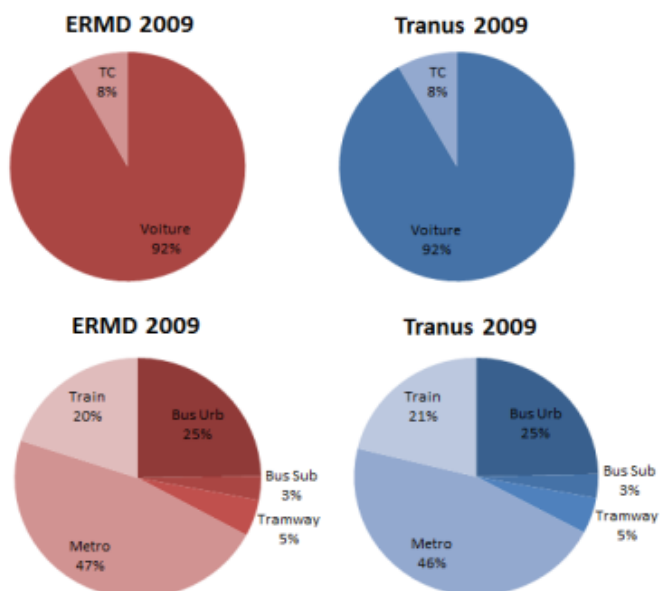


Figure 71 : Résultats de la calibration du modèle transport. Valeurs observés (en rouge) et calculés (en bleu) de la répartition modale entre voiture et TC.

peut voir la sortie du programme logiciel *Tranus* qui certifie la convergence pour le modèle transport en respectant le niveau de convergence précédemment fixé (0,001).

Pour le calcul des paramètres de références relatifs au scénario de base de 2009, les logiciels open source MySQL (*Structured Query Language*, en français *langage de requête structurée*) et *phpMyAdmin*⁸² ont été utilisés. Grâce à ces outils informatiques qu'il a été possible de définir des valeurs de référence, en relation avec la répartition modale de la demande de transport en fonction des modes de transport motorisés, à confronter avec les sorties du modèle, pour pouvoir valider et vérifier la calibration effective de la partie transport. Dans le Tableau 10 et dans la Figure 72

OPÉRATEUR/MODE DE TRANSPORT	Nbr. Depl. ERMD 2009	Nbr. Depl. Modèle Tranus 2009
Voiture	470556	483893
Bus urb	10254	10564
Bus sub	1336	1319
Tramway	2031	2018
Metro	19537	19131
Train	8265	8501
TOT	511980	525425

Tableau 10: Nombre de déplacements par mode de transport motorisé. Correspondance entre valeurs observées (ERMD, 2009) et valeurs calculés avec *Tranus*.

sur chaque tronçon du réseau. On a donc utilisé cette sortie du modèle pour confronter les données reproduites avec les données réelles fournies par la Région Nord-Pas-de-Calais (voir Figure 71). Effectivement, à travers l'observation de ces cartes on peut conclure que l'on arrive à reproduire assez fidèlement les dynamiques du trafic ferroviaire régional et donc que le modèle de transport s'avère correctement calibré. En outre, sur la Figure 71 on

⁸² Logiciels téléchargeables sur les sites www.mysql.fr et www.phpmyadmin.net

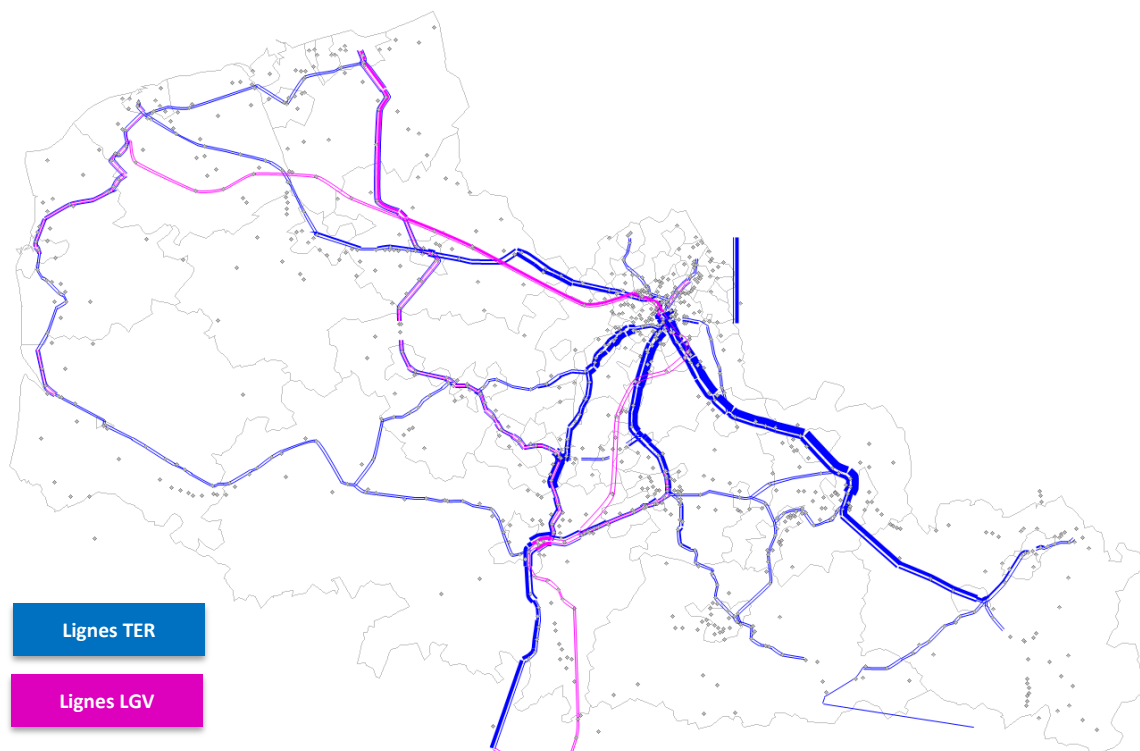


Figure 74: Sortie du modèle Tranus relative à la charge du réseau ferroviaire (TER en bleu et LGV en violet), dans le scénario de référence du 2009.

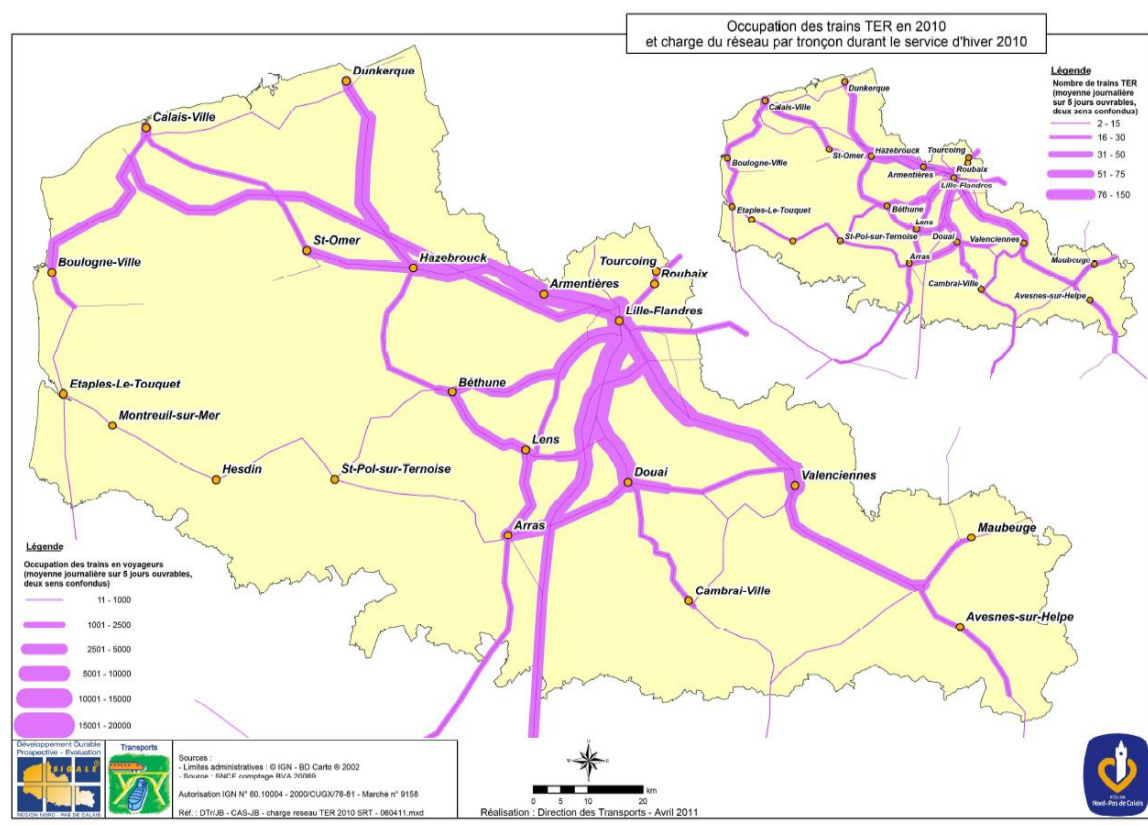


Figure 73: Occupation des trains TER en 2010 et charge du réseau par tronçon durant le service d'hiver 2010.

6.2.2. La calibration du modèle d'usage du sol

Si on considère les paramètres du modèle relatifs aux dynamiques d'usage du sol, le processus de calibration s'avère plus complexe et concerne une quantité d'indicateurs beaucoup plus large.

*“La calibration des paramètres des fonctions de demande élastiques avec des substitutions et des pénalités est, peut-être, le travail le plus dur dans l'application de *Tranus*. Par comparaison calibrer le modèle de transport est trivial ” (T. de la Barra, 2012)⁸³*

Pour pouvoir comprendre le rôle des paramètres qui ont fait l'objet d'ajustements pendant la phase de calibration du modèle d'usage du sol de *Tranus*, on commence par l'explicitation des équations dans lesquelles ceux-ci apparaissent. Il s'agit seulement d'une partie des 61 équations qui sont à la base des algorithmes de fonctionnement du logiciel de simulation *Tranus* (voir l'Annexe II de cette thèse), amplement expliquées et explicitées dans les documents fournis en ligne sur le site officiel de *Tranus* et en particulier dans le manuel mathématique du logiciel (Modelistica, 2013).

La localisation de la production induite par les secteurs *non-transportables* (ex. types d'usage du sol ou de secteurs immobiliers), est assignée directement dans la zone. Pour les secteurs transportables la demande est distribuée par zones de productions à travers un modèle *logit* multinomial. Le modèle *logit* fournit la fonction d'utilité de chaque zone, qui est dépendante du prix de production, du prix d'ajustement (voir paragraphe 5.1.3), des désutilités de transport et d'un paramètre (λ^n) qui règle l'importance des prix en fonction des désutilités de transport (voir Équation 8). L'utilité de chaque zone est ensuite divisée par la meilleure option (utilité), pour obtenir une valeur d'utilité normalisée (voir Équation 9). Le paramètre qui définit le niveau de normalisation de la désutilité (égal à 0 si le modèle n'est pas normalisé et à 1 si le modèle est totalement normalisé) est défini dans *Tranus* sous le nom de *Logit Scaling* (θ^n). L'utilité normalisée est enfin introduite dans le modèle *logit* multinomial pour estimer la probabilité que la production du secteur n , localisée dans la zone j , soit demandée dans la zone i . S'agissant par exemple d'un ouvrier localisé en j , l'utilité normalisée indique la probabilité que celui-ci aille travailler en i . Le facteur d'attractivité (α^n) règle enfin l'importance relative de la fonction d'attractivité par rapport à la fonction de désutilité dans la localisation du secteur n (voir

⁸³ Extrait de la discussion « *Understanding example C* » sur le forum en ligne du logiciel *Tranus*.
<https://groups.google.com/forum/?fromgroups#!forum/tranus>

Équation 10). Les paramètres λ^n, θ^n et α^n , avec la valeur de dispersion (ou élasticité)⁸⁴ de l'équation n°7 (β^n), nécessitent des ajustements pendant la phase de calibration, pour permettre d'atteindre la convergence du modèle d'usage du sol.

$$U_{ij}^s = \lambda^n(p_j^n + h_j^n) + t_{ij}^n$$

p_j^n Prix du secteur n dans la zone de production j

h_j^n Prix d'ajustement du secteur n dans la zone de production j

t_{ij}^n Désutilité de transport pour le secteur n depuis la zone de production j à la zone de consommation i

λ^n Paramètre qui règle l'importance des prix par rapport à la désutilité de transport

Équation 8: Fonction d'utilité dans *Tranus* (Modelistica, 2013).

$$\tilde{U}_{ij}^n = \frac{U_{ij}^n}{(\min_j U_{ij}^n)^{\theta^n}}$$

θ^n Niveau de normalisation de la fonction

Équation 9: Fonction pour le calcul de l'utilité normalisée dans *Tranus* (Modelistica, 2013).

$$Pr_{ij}^s = \frac{(A_j^n)^{\alpha^n} \cdot \exp(-\beta^n \tilde{U}_{ij}^n)}{\sum_j (A_j^n)^{\alpha^n} \cdot \exp(-\beta^n \tilde{U}_{ij}^n)}$$

A_j^n Facteur d'attractivité de la production du secteur n dans la zone j

α^n Paramètre qui règle l'importance des attracteurs par rapport à la fonction d'utilité dans la localisation du secteur n

$\tilde{U}_{ij}^n$ Utilité normalisée de la localisation de n dans la zone j pour satisfaire la demande dans la zone i

β^n Paramètre de dispersion du modèle *logit* multinomial

Équation 10: Modèle *logit* multinomiale pour l'estimation de la probabilité de localisation (Modelistica, 2013).

Ensuite les autres paramètres qui nécessitent des ajustements pendant la calibration du modèle d'usage du sol, font partie des équations qui règlent les interactions entre les secteurs d'activités, les catégories de population et les types d'usage du sol, définis précédemment. En particulier la section *Land - Use; Intersectors* du logiciel *Tranus*, se réfère à ces indicateurs et, dans la section *inputs*, on procède à la définition des paramètres qui servent pour le calcul de la fonction de génération de la demande induite :

$$a_i^{mn} = \min^{mn} + (\max^{mn} - \min^{mn}) \cdot \exp(-\delta^{mn} U_i^n)$$

a_i^{mn} Quantité de production du secteur n demandée par une unité du secteur m dans la zone i

$\min^{mn}$ Quantité minimale de n demandé par une unité de production de m

$\max^{mn}$ Quantité maximale de n demandé par unité de production de m ⁸⁵

δ^{mn} Élasticité de m par rapport au coût de l'input n

U_i^n Désutilité de consommation de n dans la zone i

Équation 11: Équation pour la génération de la demande induite dans *Tranus* (Modelistica, 2013).

Pour la définition de valeurs initiales de la fonction de demande, pour chaque type d'usage du sol, nous avons développé une méthode propre de calcul en fonction des rapports de densité,

⁸⁴ La valeur de dispersion du modèle *logit* multinomial est définie *elasticity* dans la section *Land – Use, Sectors, Data* en *Tranus*.

⁸⁵ L'équation donne cette valeur si l'élasticité est égale à 0 (par exemple dans les secteurs non-transportables), ou si la désutilité de consommation est proche à 0.

qui est détaillée en annexe de ce document. En détail le besoin de concevoir cette méthode naît de la nécessité de convertir tout un appareil de données, construit sur une approche de surface de plancher (*floor-space*), alors que la modélisation est basée sur une compréhension de l'usage du sol (*land-space*). Le passage non trivial de l'une à l'autre des perspectives a nécessité l'élaboration d'un protocole de calcul particulier permettant de saisir les dynamiques urbaines et en substance d'adapter et associer à chaque typologie d'usage du sol des densités (différentiées par contexte territoriale urbain, suburbain et rural) résidentielles et d'emplois, correspondantes à des typologies immobilières présentes en prévalence dans chaque type de sol. Pour chaque secteur il est en outre nécessaire de définir l'ensemble des secteurs qui contribueront à satisfaire sa propre demande. C'est-à-dire que par exemple une catégorie de population peut consommer plusieurs typologies d'usage sol et donc sa demande est satisfaite par plusieurs alternatives (*substitutes*). *Tranus* règle cette dynamique à travers un modèle de choix discret de type *logit*, lequel, en fonction des facteurs de pénalité de substitution définis par le modélisateur, permet de répartir la demande selon plusieurs choix différents et donc de définir quel substitut serait préféré par chaque secteur. Tous les secteurs définis dans cette section affecteront de manière directe ou indirecte la probabilité que le secteur quelconque n , pris dans un ensemble des alternatives (*substitutes*) possibles pour le secteur m , puisse couvrir la demande de m dans la zone i , en suivant la relation suivante :

$$S_i^{mn} = \frac{\exp(-\delta \tilde{U}_i^{mn})}{\sum_k \exp(-\delta \tilde{U}_i^{mk})}, \forall k, n \in K^n$$

δ^{mn} Elasticité de m par rapport au coût de l'input n

$\tilde{U}_i^{mn}$ Désutilité normalisée

K^n Ensemble des substitutes pour le secteur n

Équation 12: Modèle *logit* multinomiale de substitution (Modelistica, 2013).

La désutilité normalisée présente dans le modèle de substitution est définie à travers l'équation suivante :

$$\tilde{U}_i^{mn} = \frac{a_i^{mn} \tilde{c}_i^n \tilde{\omega}^{mn}}{[\min_k (a_i^{mn} \tilde{c}_i^n \tilde{\omega}^{mn})]^{\theta^m}}$$

$a_i^{mn} \tilde{c}_i^n$ Quantité de n que le secteur m consommera dans la zone i , multiplié pour le coût de consommation de n dans la zone i

$\tilde{\omega}^{mn}$ Facteur de pénalité

K^n Ensemble des substitutes pour le secteur n

θ^n Niveau de normalisation de la fonction

Équation 13: Désutilité normalisée présente dans le modèle de substitution (Modelistica, 2013).

L'indicateur d'élasticité (δ^{mn}) et les indicateurs ($\min^{mn}$) et ($\max^{mn}$) de l'Équation 11, ainsi que les facteurs de pénalité ($\tilde{\omega}^{mn}$) de l'Équation 13, sont donc les autres paramètres qui ont subi des ajustements pendant la procédure de calibration. Dans ce cas des valeurs initiales des facteurs

de pénalité de substitution ($\tilde{\omega}^{mn}$) ont été fixées selon des hypothèses de départ, respectueuses du contexte territorial de référence et sont différentes pour chaque catégorie du modèle.

“Ce que nous faisons actuellement est une estimation initiale des paramètres, particulièrement les min et max. Compte tenu d'une ville avec un type d'usage du sol donné, vous avez normalement des données sur les densités minimales et maximales, d'où vous pouvez déduire les paramètres. [...] Vous pouvez également faire des estimations initiales sur les paramètres de substitutions, à travers la connaissance du fonctionnement réel du marché immobilier.” (T. de la Barra, 2012)⁸⁶

Les activités industrielles préfèrent se localiser dans les zones d'activités périurbaines et en dernière option dans des sols pour l'habitat collectif (on trouve une même dynamique mais avec une différence moindre de préférence pour les secteurs tertiaires) ; les ménages à hauts revenus ont une préférence de choix égale pour tous les types d'usage du sol (résidentiel et isolée) mais prennent l'habitat collectif comme dernière option ; les ménages à moyen revenus préfèrent⁸⁷ l'habitat isolé, ensuite l'habitat résidentiel et enfin l'habitat collectif ; les ménages à bas revenus préfèrent l'habitat collectif et l'habitat isolé, avec une pénalité plus grande pour l'habitat résidentiel et urbain continu dense. En plus de ces hypothèses de substitution, la valeur d'élasticité (δ^{mn}) s'est avérée très importante. Celle-ci traite du changement de choix de localisation de la demande en fonction du changement de prix. Comme hypothèse de départ, une valeur d'élasticité supérieure pour les ménages à bas revenus (plus sensibles aux changements des prix) a été fixée. Concernant les secteurs d'activités, le secteur tertiaire a été supposé aussi plus sensible que le secteur industriel aux changements des prix des sols. Tous ces ajustements ont été effectués à travers un travail d'*essais et erreurs*, en tenant comme paramètre de référence la variance des prix d'ajustement générés par *Tranus* pour chaque secteur.

Type d'usage du sol)	Variance des prix d'ajustement
Urbain continu dense	32.60
Résidentiel Urbain	38.99
Zone d'Activité Urbain	36.56
Habitat Collective	30.63
Habitat Isolé Urbain	16.22
Résidentiel Rurale	14.19
Zone d'Activité Rurale	10.53
Habitat Isolé Rurale	15.53

Tableau 11: Variance des prix d'ajustement (*shadow prices*) pour chaque secteur d'usage du sol du modèle.

⁸⁶ Extrait de la discussion « *max and min demand for intersector data* » sur le forum en ligne du logiciel *Tranus* : <https://groups.google.com/forum/?fromgroups#!forum/tranus>

⁸⁷ La notion de préférence fait ici état des choix observés sur le terrain et non pas d'une préférence choisie: il s'agit pour une bonne part de choix contraints par les budgets des ménages et par l'offre immobilière disponible

“Mettez toutes les données dans votre modèle et vous allez faire un premier essai avec le calibrage de l'année de base, en utilisant l'option freeze. Avec cette option, le modèle prend les données des secteurs transportables: tels que l'emploi et la population, et ne cherche pas à les reproduire. Le modèle se dirige ensuite vers les secteurs non-transportables avec des élasticités et des substitutions et calcule la consommation de sol et/ou de surface sur la base de vos paramètres initiaux. Vous voulez 1) minimiser les prix d'ajustement, 2) obtenir une correspondance étroite entre les données d'entrée et les valeurs simulées, et 3) que le modèle converge en moins de 300 itérations. Le reste est un travail d'essais et d'erreurs avec les paramètres, jusqu'à ce que vous atteigniez 1) 2) et 3). Après cela, vous relâchez l'option 'freeze' et vous devriez obtenir un très bon modèle” (T. de la Barra, 2012)⁸⁸

En outre *Tranus* permet de définir des facteurs de convergence tant pour le modèle transport que pour le modèle d'usage du sol, de manière à fixer une limite d'acceptation qui puisse permettre au logiciel de terminer son calcul itératif, une fois que la convergence est atteinte.

“Dans *Tranus* la chaîne de production-consommation du modèle d'entrées-sorties est résolue de manière itérative par un algorithme numérique. La première itération commence avec la production exogène et calcule la production induite correspondante. La deuxième itération calcule la production induite qui dérive de la production exogène et la production induite de l'itération précédente, et ainsi de suite, jusqu'à ce que toute la production soit calculée et localisée. [...] Le modèle de la période de référence commence la première itération avec les prix d'ajustements égaux à zéro et réalise environ 20 itérations avec les prix d'ajustements fixés à zéro. À partir de la 21ème itération le modèle compare la production modélisée avec les données fournies et calcule progressivement une valeur positive ou négative pour les prix d'ajustements” (T. de la Barra, 2013)

Donc pour la variance des prix d'ajustement, l'output de *Tranus* relatif à la réalisation de la calibration, en respectant les facteurs de convergence précédemment fixés, permet au modélisateur de comprendre quand le modèle est calibré. En particulier, comme montré dans le Tableau 11, si on considère les valeurs de variance des prix d'ajustement (*shadow prices*),

Iter 249							
Convergence indicators							
Sector	ConvPric	Zon	ConvProd	Zon	ExogProd	InducProd	
1 employ	0.000128	3	0.000000	0	328304.	0.	
2 agricol	0.000140	3	0.000000	0	63688.	0.	
4 Tertiair	0.004319	55	0.000004	21	0.	629481.	
5 Tertiair	0.004365	55	0.000005	21	0.	507343.	
10 HI	0.004300	98	0.000017	55	0.	192103.	
11 MI	0.004431	91	0.000008	55	0.	419163.	
12 LI	0.004422	91	0.000008	55	0.	368650.	
21 Urban m	0.000008	55	0.000002	24	0.	3370.	
22 Resid ur	0.000006	21	0.000001	24	0.	52892.	
23 Activity	0.000013	26	0.000006	23	0.	16007.	
24 Collectiv	0.000008	55	0.000002	13	0.	2326.	
25 Detached	0.000079	37	0.000236	37	0.	3144.	
26 Resid ru	0.000008	55	-0.000000	91	0.	56448.	
27 Activity	0.000006	55	-0.000000	64	0.	7005.	
28 Detached	0.000010	55	0.000013	53	0.	11677.	
40 Farm	0.000000	0	0.000000	0	0.	0.	
41 Empty	0.000000	0	0.000000	0	0.	0.	
42 TOD LAND	0.000000	0	0.000000	0	0.	0.	
Iter 250							
Run time:							
0.667 mins							
NORMAL END OF							
L C A L							

Figure 75: Sorties de *Tranus* qui démontre la convergence du modèle d'usage du sol en considération d'un facteur de convergence de 0,001.

⁸⁸ Ibidem

on peut noter que pour quatre des secteurs d'usage du sol du modèle nous allons légèrement au-delà du seuil des valeurs de l'ordre de 15 – 20 %, qui sont les cibles admises pour la réalisation de la convergence (voir paragraphe 5.1.3). On peut cependant constater que le modèle permet d'obtenir un niveau de convergence suffisamment acceptable (qui respecte les critères de convergence précédemment fixés) pour tous les secteurs d'usage du sol (voir Figure 75).

6.3. Résultats relatifs à l'usage du sol

Les résultats relatifs aux évolutions des dynamiques d'usage du sol et aux choix de localisation des ménages et des activités sur le territoire, ainsi que les résultats sur l'évolution des prix fonciers, montrent que sans l'adoption d'actions et de politiques spécifiques pour limiter l'artificialisation des sol, une intensification de l'étalement urbain serait observée, en particulier dans l'aire au sud de la communauté urbaine lilloise et dans l'aire urbaine centrale qui englobe les espaces environnant les villes de Lens, Béthune, Douai et Valenciennes. A travers les résultats relatifs à l'évolution de la localisation des ménages et des emplois, on observe en fait, à l'horizon 2025 du scénario A (« *au fil de l'eau* »), une augmentation de la pression foncière dans les zones périurbaines et en même temps une baisse d'attractivité et une dépréciation des centres urbains, en dehors de l'aire urbaine centrale, que l'on peut mettre en relation avec une intensification du phénomène de migration vers des zones périurbaines et rurales et donc d'étalement urbain (voir Figure 76 et Figure 77). Les interventions de densification urbaine multifonctionnelle, concentrées dans les communes situées le long des corridors et des nœuds ferroviaires, sélectionnés pour leur potentiel de TOD, qui ont été simulées dans le *scénario B* (« *plan régionale de TOD* »), montrent une tendance inverse. Les ménages et les emplois se situent dans ce cas, principalement dans les *zones TOD* (corridors et nœuds ferroviaires sélectionnés), selon une tendance à la mixité fonctionnelle et au dynamisme socio-économique de ces zones, qui s'affirme de manière encore plus nette dans le *scénario C*, lequel prévoit des mesures d'accompagnement à la densification, dans le sens d'une incitation à l'usage des transports en commun. On voit en particulier que ce sont les corridors qui lient la métropole lilloise aux villes de l'arc sud (Lens, Douai, Béthune) et la zone TOD au sud de Valenciennes (Denain, Somain, Bouchain), qui donnent une réponse positive aux hypothèses de densification et d'amélioration de l'offre des transports en commun. On peut émettre l'hypothèse selon laquelle la position stratégique de ces corridors, situés sur l'axe Lille – Paris, et surtout situés entre une polarité d'emplois attractive et un vaste bassin de résidence à l'échelle régionale, et donc concernés par des flux de transport importants et par une demande croissante de

déplacements vers la métropole lilloise, favorise une réponse positive aux interventions de type TOD. Rendre plus attractifs et plus performants les services de transport en commun (notamment ferroviaires), s'avère donc un élément porteur d'attractivité supplémentaire pour les espaces sur lesquels ont été activées des interventions de densification multifonctionnelle progressive (TOD). Si on considère en outre les résultats relatifs à l'évolution des prix fonciers dans les scénarios B et C, on voit aussi une confirmation de la capacité des interventions de TOD à reproduire une élévation de la valeur du sol, qui correspond effectivement à ce à quoi on peut s'attendre (voir Figure 78). Les scénarios montrent clairement la possibilité d'un jeu de *vases communicants* dans lequel une partie de la croissance urbaine attendue dans de vastes espaces périurbains, pourrait se localiser sur les quelques espaces stratégiques identifiés dans le scénario de TOD régional. Il s'agit d'un de nos principaux résultats.

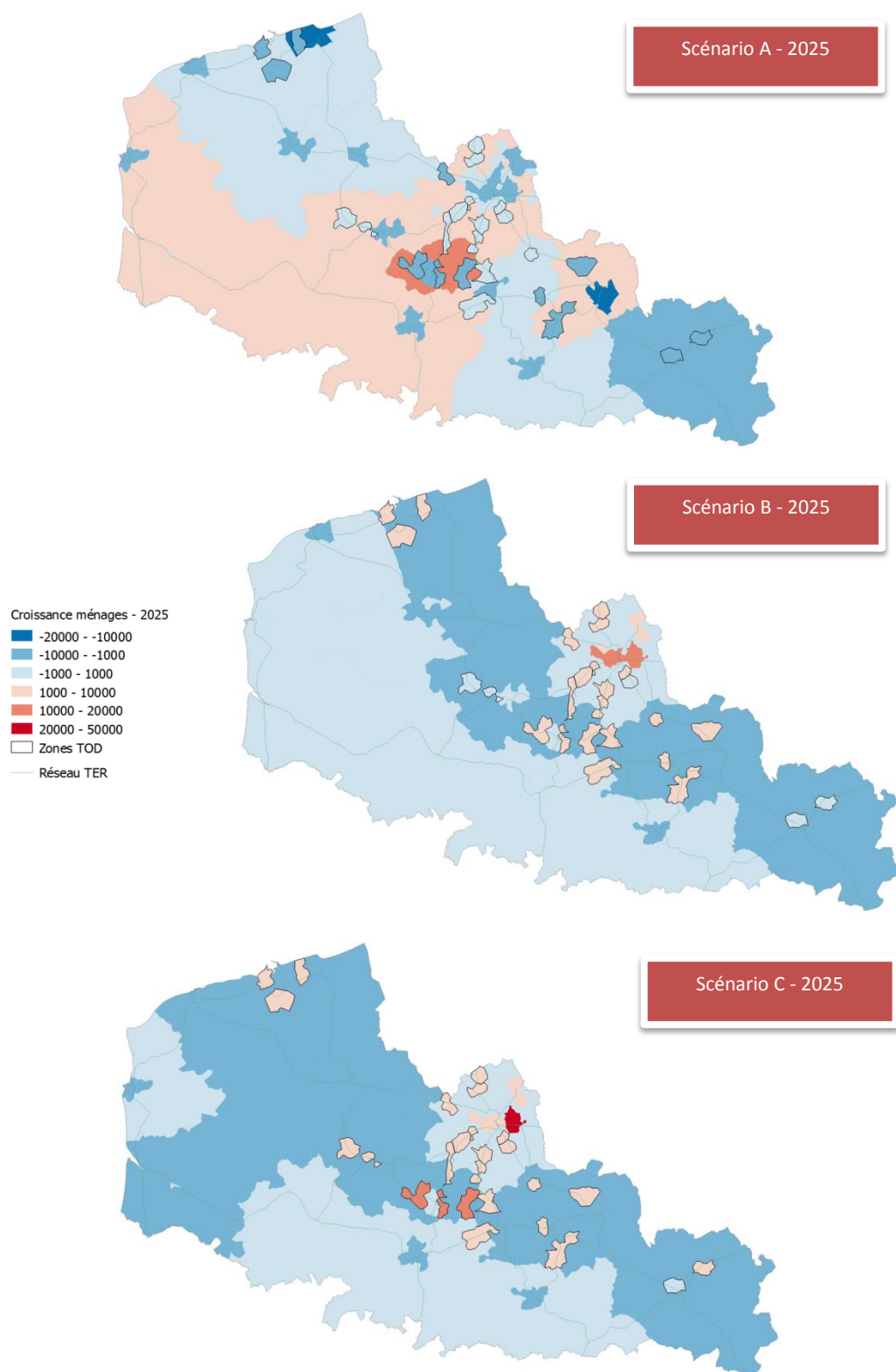


Figure 76: Évolution et croissance de la distribution des ménages au 2025 dans les trois scénarios de simulation

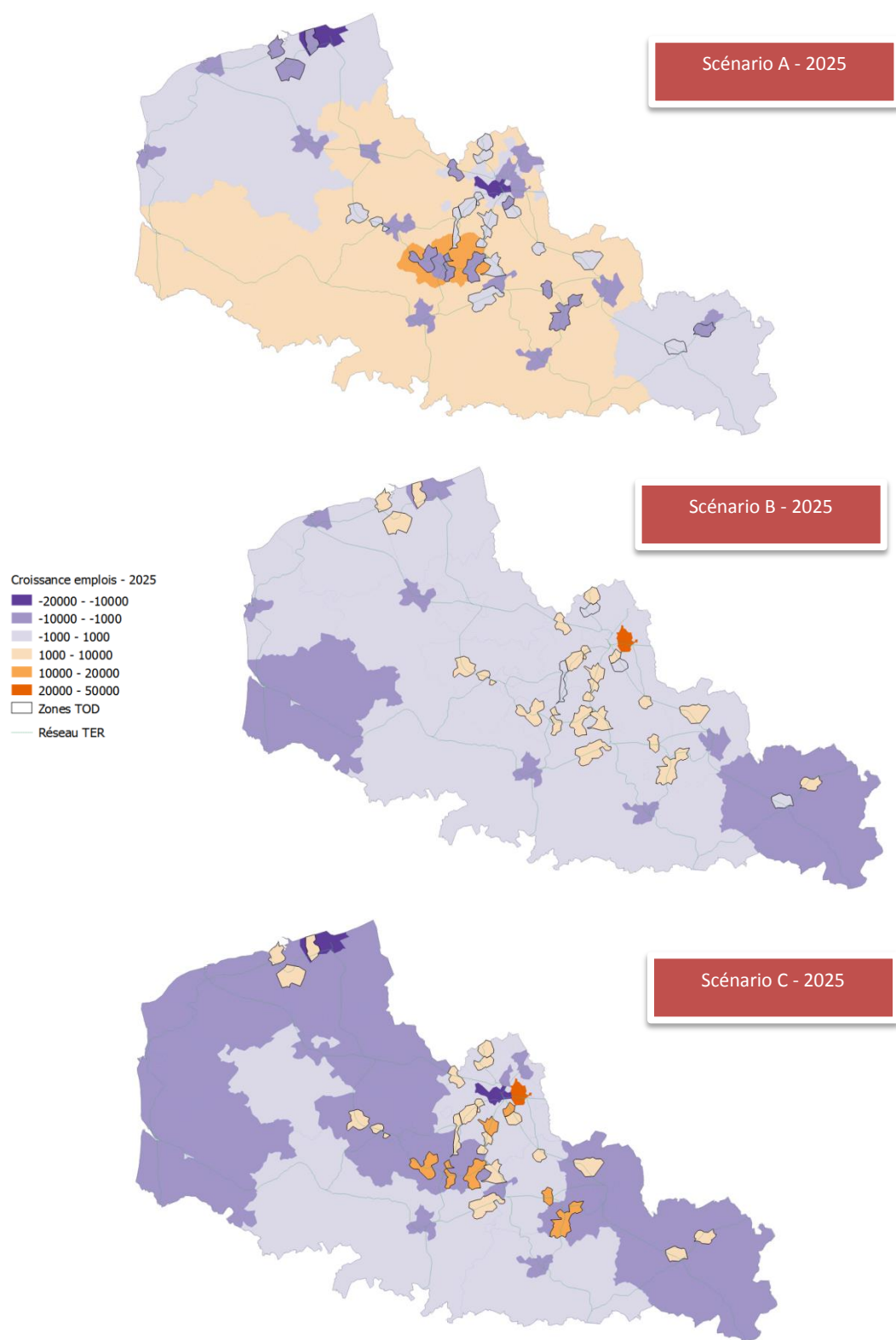


Figure 77: Évolution et croissance de la distribution des emplois au 2025 dans les trois scénarios de simulation

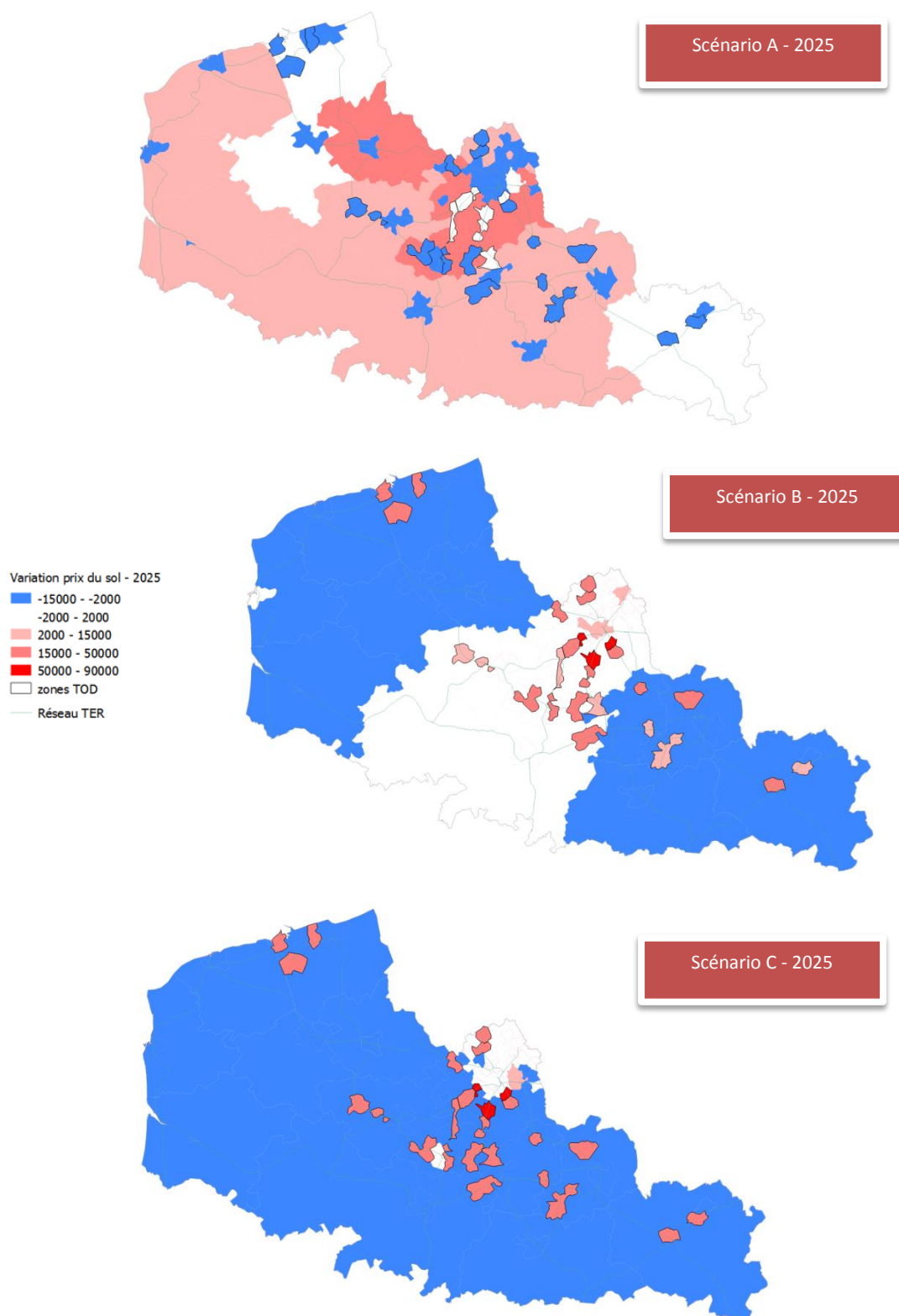


Figure 78: Évolution et variation des prix des sols dans les scénarios A, B et C au 2025.

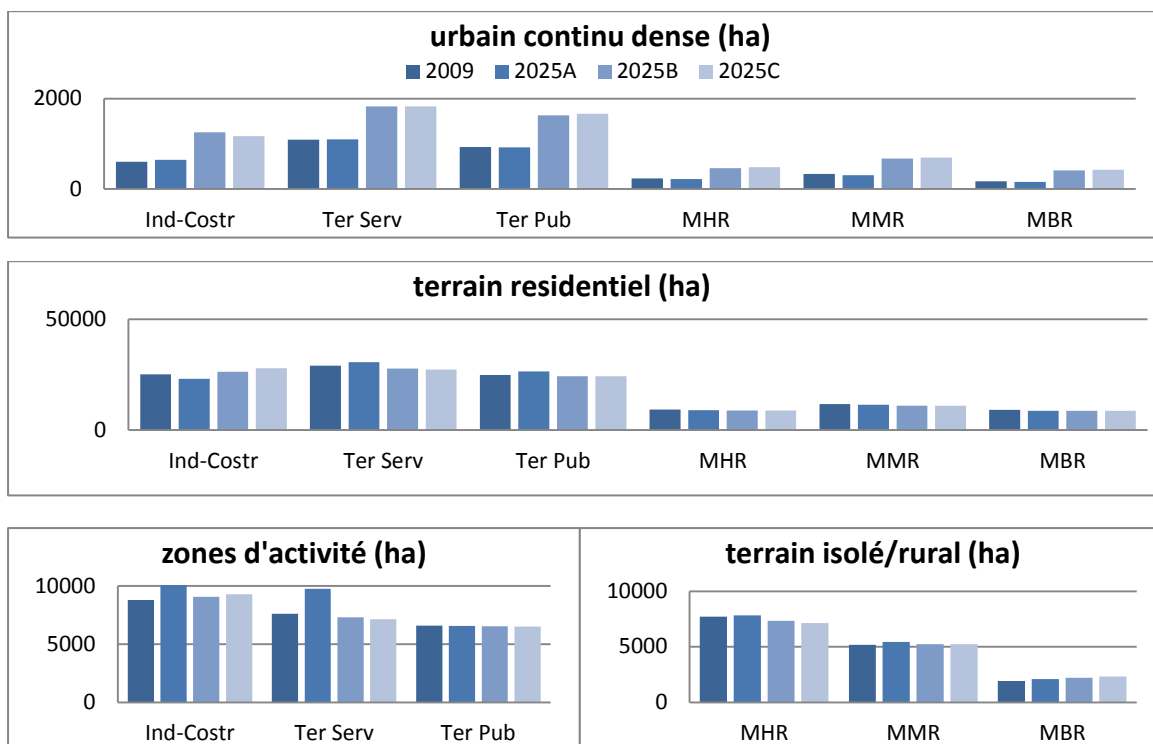


Figure 79: Histogrammes sur l'évolution de la consommation totale des sols.

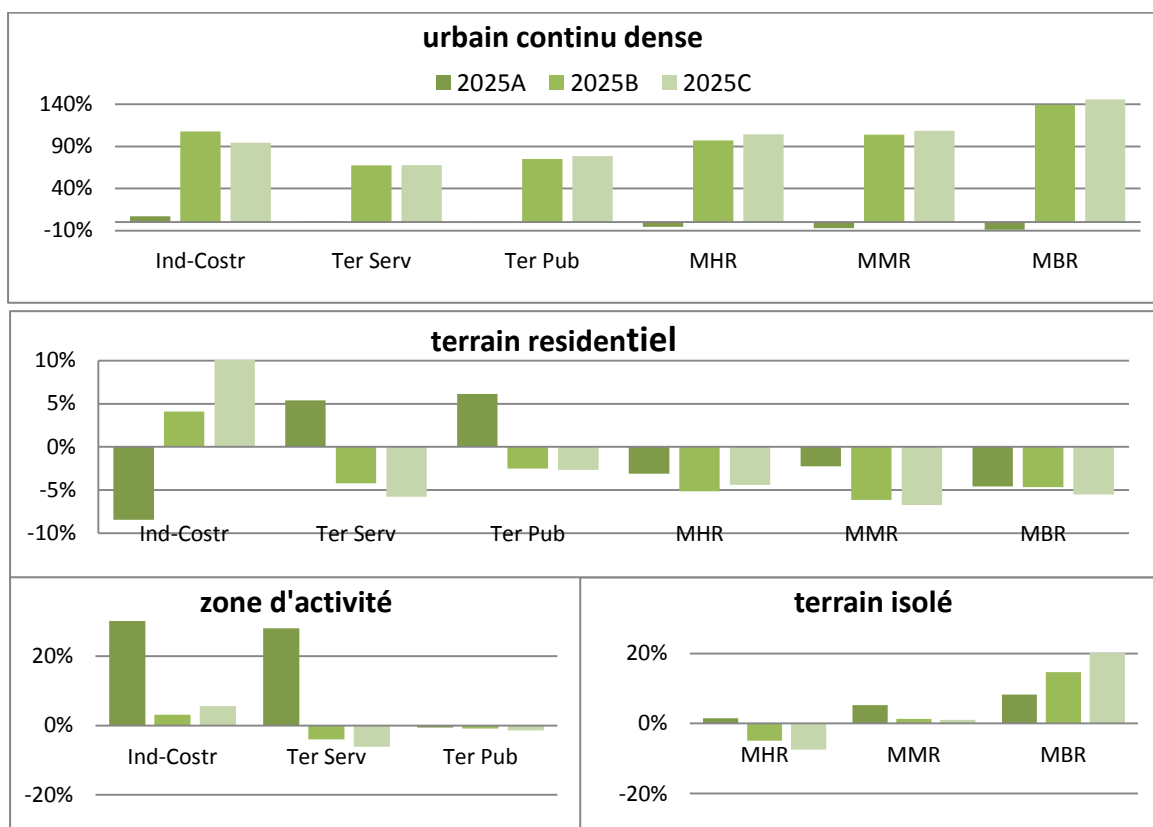


Figure 80: Histogrammes sur l'évolution en pourcentage de la consommation totale de sol.

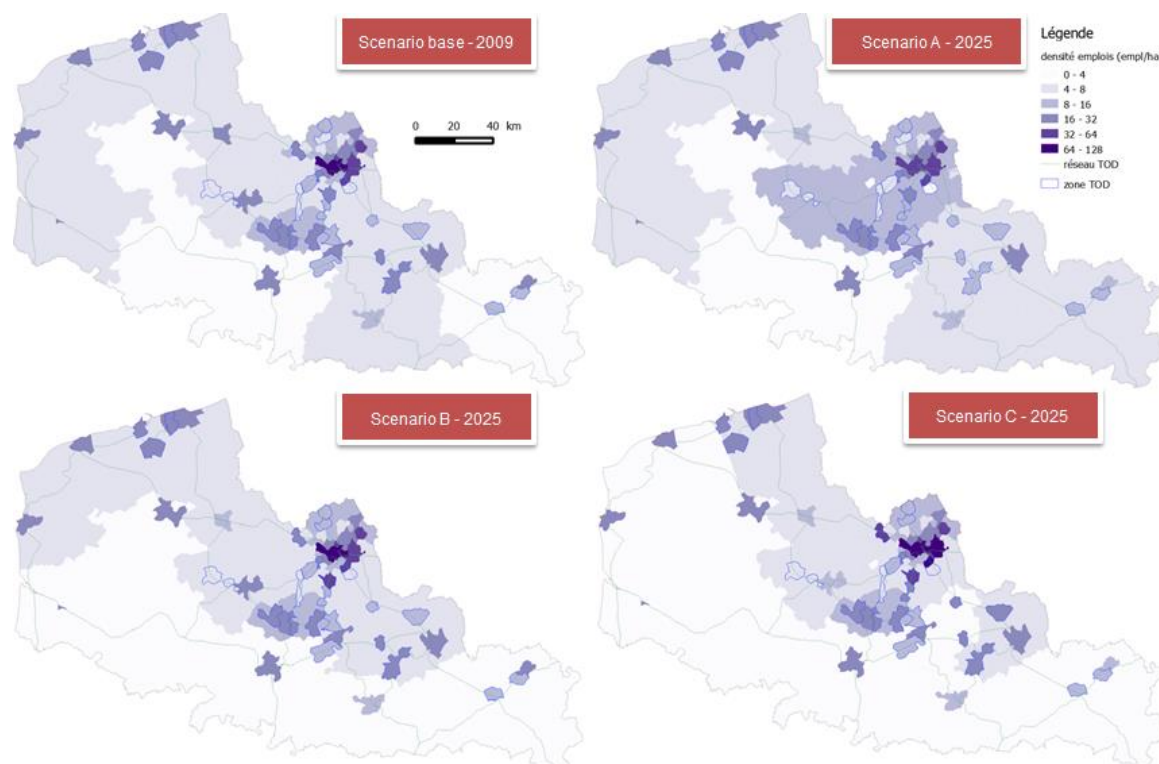


Figure 81: Évolution de la densité des ménages.

Dans toutes les zones considérées comme possédant un potentiel de TOD et donc intéressées par des interventions de densification de type mixte (résidences et activités), on constate en fait une augmentation de la valeur du sol. Ces résultats sont cohérents avec l'idée d'un potentiel de valorisation foncière généré par le TOD et donc de retour économique pour les projets et les interventions de densification autour des gares ou le long des corridors ferroviaires, qui pourrait constituer un élément d'attraction pour les investisseurs et les aménageurs publics et privés. Toutefois, ces résultats démontrent également les risques qu'une telle politique de densification et de réaménagement à grande échelle pourrait représenter, en termes d'aggravation des phénomènes d'exclusion sociale et de gentrification. La hausse des prix observée appelle la nécessité d'un accompagnement de ce type d'interventions, par des actions guidées par les collectivités publiques, qui devraient assurer la production d'une certaine quantité de logements sociaux, à prix abordables, pour les catégories de population les plus défavorisées, de manière à limiter la spéculation foncière et à assurer un système d'accès au logement le plus égalitaire et équitable possible.

Si l'on considère, en outre les sorties de *Tranus* relatives aux taux globaux de consommation des sols dans les différents scénarios de simulation (voir fig. Figure 79 et Figure 80), il peut être également observé que, après l'introduction des interventions de TOD, la consommation des terrains de type isolés reste généralement constante, avec une tendance à la baisse pour les catégories des ménages à hauts et moyens revenus et une augmentation pour le bas revenus. Les interventions de TOD provoquent également une diminution généralisée de la

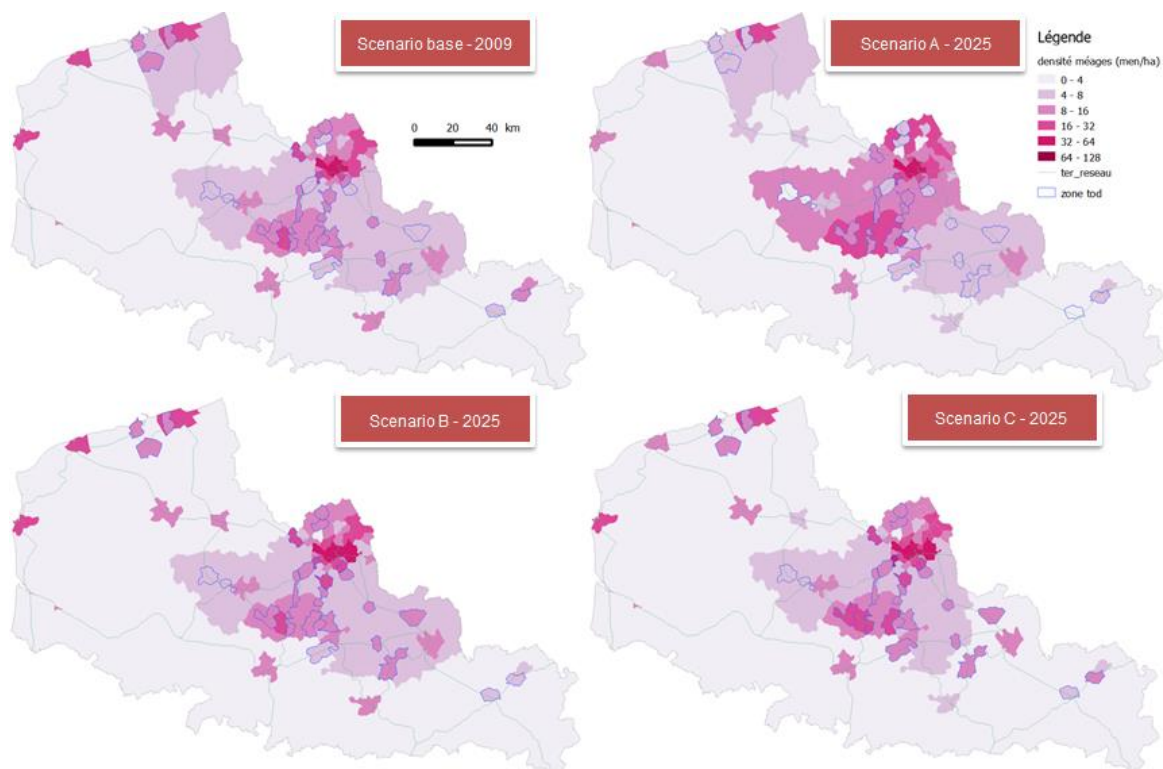


Figure 82: Évolution de la densité des emplois.

consommation de sols de type résidentiels pour tous les secteurs, à l'exclusion du secteur industriel.

La migration des ménages et des services vers les fonciers urbains denses, laisse évidemment plus d'espace à l'implantation d'emprises du secteur industriel dans des espaces qui étaient en grande partie résidentiels, dans le scénario initial. En conséquence, la consommation des terrains des zones d'activités a tendance à diminuer dans les scénarios B et C, en lien avec l'hypothèse favorable à la mixité fonctionnelle dans les zones urbaines et à la limitation de la spécialisation fonctionnelle des sols régionaux. La consommation des sols de type urbain continu dense augmente, par contre, pour toutes les catégories, en lien aussi avec les principes à la base du *Plan Régional de TOD* proposé. Ont été produites également des cartes relatives à l'évolution des valeurs de densités dans la région, avec lesquelles on observe une confirmation des tendances déjà observées dans les cartes de localisation des ménages et des emplois. On constate en fait de nouveau un renforcement des densités dans les zones urbaines et dans les zones TOD (en particulier dans le corridor Lille – Douai et dans les communes de l'arc sud) dans les scénarios B et C, alors que dans le scénario A on observe une augmentation des densités surtout pour les aires périurbaines environnant les communes de Lens, Béthune et au nord et l'est de la métropole lilloise.

En conclusion de ce paragraphe on présentera les résultats sur l'évolution des dynamiques de localisation des ménages et des emplois, que l'on vient de décrire de manière globale, avec une caractérisation de type socio-économique et donc en analysant le comportement de chaque

secteur. Le logiciel *Tranus* permet, en fait, de désagréger les résultats en fonction de chaque catégorie de ménage et de secteur d'emplois et donc de générer des histogrammes qui montrent l'évolution de la répartition des catégories qui consomment du sol, sur les différentes

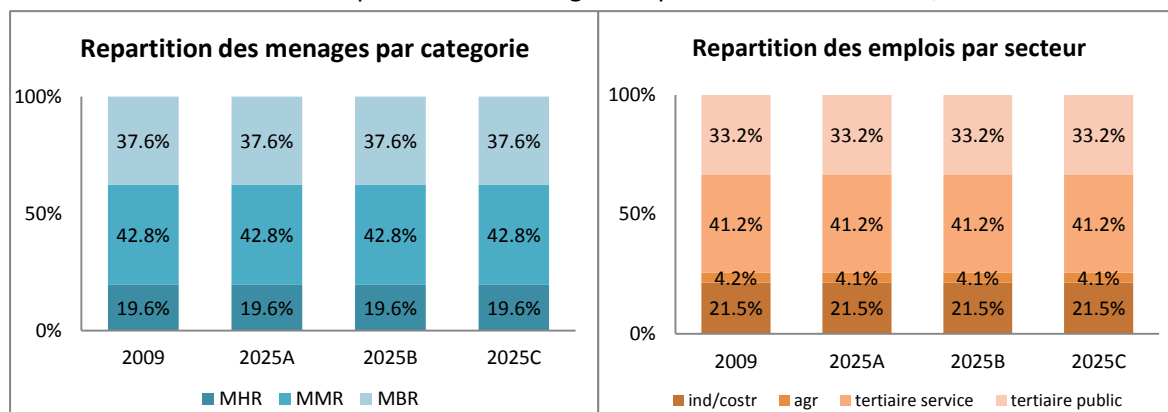


Figure 83: Répartition globale des ménages par catégorie socio-économique (haut, moyen et bas revenus) et des emplois par secteur d'activité.

typologies du territoire régional. Si au niveau global le pourcentage de répartition relative de chaque catégorie de ménages et secteurs d'emplois reste inchangé pour tous les scénarios de simulation (voir Figure 83), en analysant les mêmes résultats en fonction de chaque typologie spatiale considérée dans le modèle (villes centre, communes de LMCU, zones TOD, zones rurales), on peut observer des tendances plus diversifiées (voir Figure 84 et Figure 85).

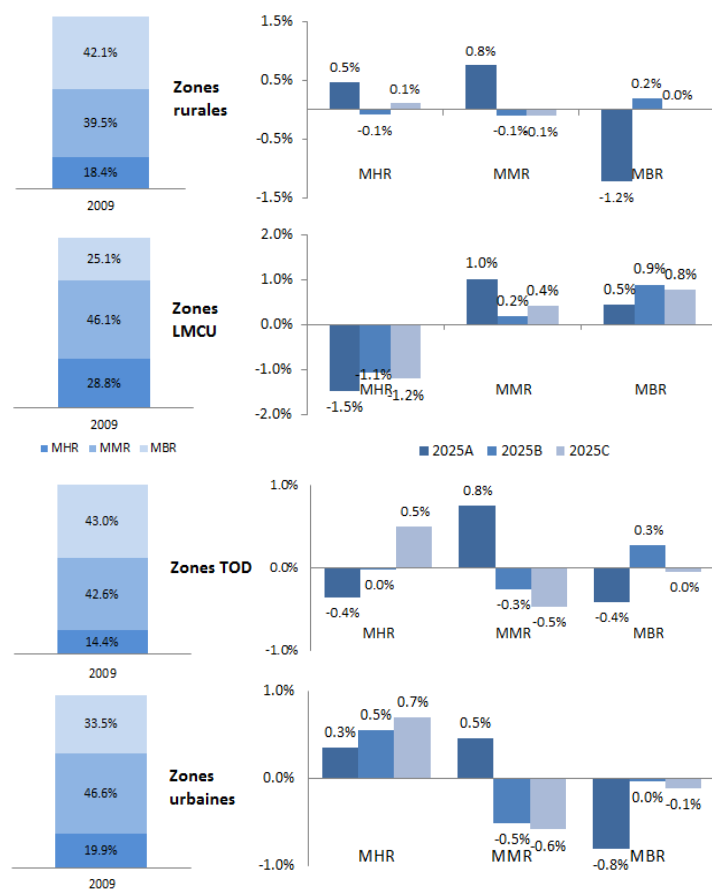


Figure 84: Répartition des catégories des ménages dans les scénarios de simulation en fonction des typologies territoriales.

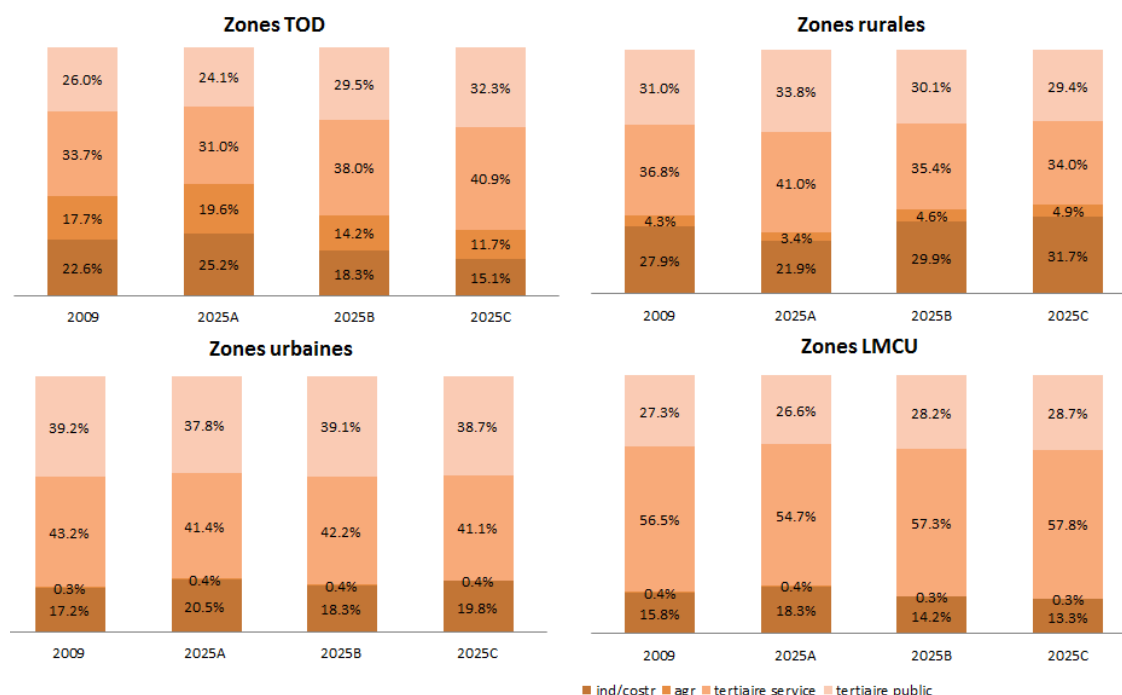


Figure 85: Répartition des emplois dans les scénarios de simulation en fonction des typologies territoriales.

En particulier, par rapport aux types de ménages, les changements dans la répartition des différentes catégories de revenus s'avèrent assez limités et ne dépassent pas 1,5%. Dans le détail, on peut observer que dans les zones TOD les ménages à hauts revenus augmentent le plus dans le dernier scénario (en confirmant le risque de gentrification déjà surligné précédemment), au détriment surtout des ménages à revenus moyens, tandis que le nombre de ménages à bas revenus reste stable (alors qu'il diminue dans le scénario A). Par rapport aux zones urbaines, les ménages à hauts revenus augmentent dans tous les cas et toujours au détriment des ménages à revenus moyens, tandis que la diminution des ménages à bas revenus devient moins importante dans les scénarios B et C, par comparaison avec le scénario A (« *au fil de l'eau* »). Les zones rurales, qui dans le scénario A présentent une augmentation du nombre des ménages à hauts et moyens revenus (que l'on peut lire comme une tendance à la périurbanisation et à l'étalement urbain), se stabilisent dans les scénarios B et C. Enfin, dans les zones des communes de LMCU, on observe une diminution des ménages à hauts revenus et en revanche une augmentation des ménages à moyens et bas revenus, avec des pourcentages légèrement variables en fonction des différents scénarios. Si on considère en outre les histogrammes relatifs à l'évolution de la répartition des emplois dans les zones du modèle, on peut observer des changements plus marqués que dans le cas des ménages. Dans les zones TOD on observe en fait une augmentation importante des emplois des secteurs tertiaires (service et public), au détriment surtout du secteur industriel. Par rapport aux zones urbaines et aux zones correspondant aux communes de LMCU, les pourcentages de répartition de chaque secteur

restent essentiellement stables dans tous les scénarios de simulation, avec une légère augmentation des secteurs tertiaires dans le cas des zones de LMCU. Dans les zones rurales enfin les emplois du secteur industriel augmentent le plus dans les deux scénarios avec des hypothèses de TOD (B et C), au détriment des secteurs tertiaires. La hausse de la valeur du sol dans ces espaces stratégiques pousse à une relocalisation des activités industrielles qui s’y étaient installées.

6.4. Résultats relatifs au système de transport

En considérant les résultats relatifs au système de transport, l’intérêt principal est d’analyser l’évolution de la demande de transport et en particulier de sa répartition modale, en réponse à l’application des politiques de TOD (*scénario B*), liées à l’introduction d’un système de tarification intégrée et de péage autoroutier (*scénario C*). En particulier, on va s’intéresser à l’impact des hypothèses de densification autour des certains corridors et nœuds ferroviaires de la région, sur l’évolution du taux d’utilisation des services ferroviaires.

À cet égard, il faut toutefois considérer et préciser que dans les calculs relatifs à la répartition modale, on considère seulement les déplacements de type motorisés et pas la mobilité active

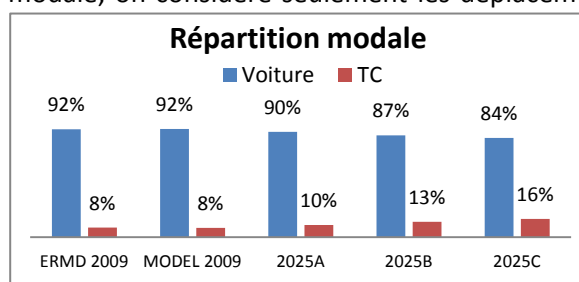


Figure 87 : Histogramme sur l’évolution de la répartition modale entre voiture et Transports en commun.

(cyclable et piétonne). La raison est due au fait que *Tranus* simule seulement les relations *inter-zonaux* (d’une zone à une autre) et ne simule pas les déplacements à l’intérieur de chaque zone (*intra-zonaux*). De ce fait, les déplacements à pied et en vélo simulés dans le modèle sont essentiellement ceux qui

permettent le transfert vers les autres opérateurs de transport de type motorisés. Il s’agit d’ailleurs d’une condition qui, dans ce cas spécifique, s’avère défavorable à l’évaluation des effets attendus du TOD, car normalement les effets les plus importants des interventions des TOD concernant la mobilité de proximité et plus souvent non motorisée. En particulier les résultats relatifs au *scénario C* font apparaître les tendances les plus marquées pour la mobilité de proximité, c’est-à-dire la mobilité active et non motorisée, dans les secteurs TOD. En plus les résultats

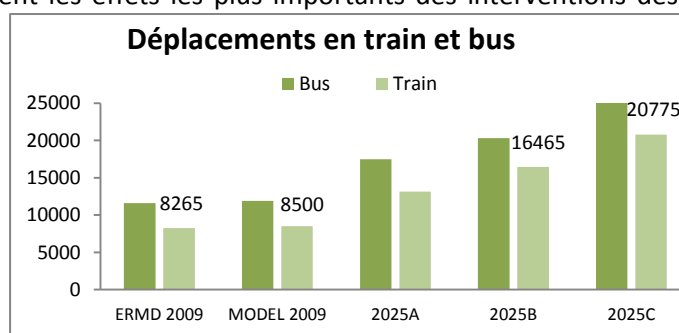
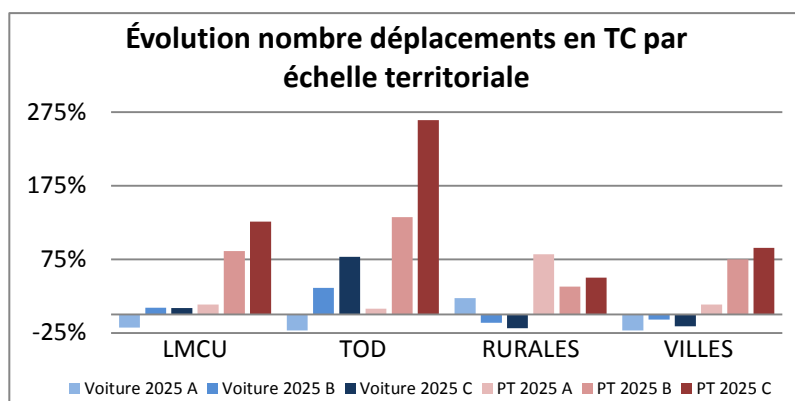


Figure 86: Histogramme sur l’évolution du nombre des déplacements en bus et trains.

relatifs au *scénario C* sont aussi, bien sûr, les plus favorables en termes d'évolution de l'usage des transports collectifs (voir Figure 87). Dans l'histogramme en Figure 86, qui montre le nombre de déplacements en train et en bus, on observe en outre qu'à l'horizon 2025, on arrive à atteindre (*scénario B*) et à dépasser (*scénario C*) l'objectif considéré comme stratégique dans le SRTM du Nord-Pas-de-Calais, de doubler la fréquentation des services de transports ferroviaires



dans la région.

Si on analyse l'évolution du nombre des déplacements, en considérant les différentes échelles territoriales présentes dans le modèle (zones TOD, villes centres, communes

de LMCU et zones rurales), on peut aussi constater que les zones TOD arrivent à enregistrer une

Figure 88: Évolution en pourcentage du nombre des déplacements en voiture et en transports en commun.

croissance plus élevée du nombre des déplacements

en transports en commun, surtout dans le *scénario C* (avec une augmentation supérieure au double pour ce type de déplacements) (voir Figure 88). Dans les zones rurales, par contre, on observe que le nombre des déplacements en transports en commun augmente de manière plus faible dans les scénarios *B* et *C*, à cause de la diminution générale de demande de transport, conséquence de la délocalisation des ménages et des emplois depuis les zones rurales vers les zones urbaines et les zones TOD (voir Figure 76 et Figure 77). En analysant la sortie du modèle *Tranus* qui détaille le volume des déplacements effectués en train dans l'année de référence 2009 et en 2025, on constate que, dans le *scénario C* (le plus favorable aux transports collectifs), l'augmentation de la fréquentation des services ferroviaire s'exerce de manière homogène et proportionnelle sur l'ensemble du réseau, avec une augmentation concentrée en particulier sur les grands corridors, qui étaient déjà les plus fréquentés en 2009. Le corridor Lille – Douai et ensuite celui vers Valenciennes, se trouvent de ce fait accueillir la plus grande augmentation du trafic ferroviaire (voir Figure 89, Figure 90 et Figure 91).

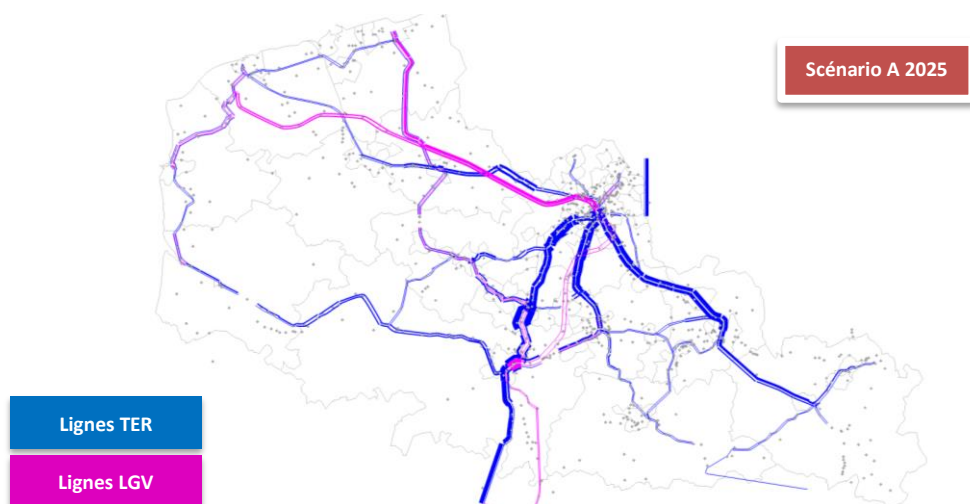


Figure 89: Volume des déplacements en train dans le scénario A « *au fil de l'eau* » au 2025.

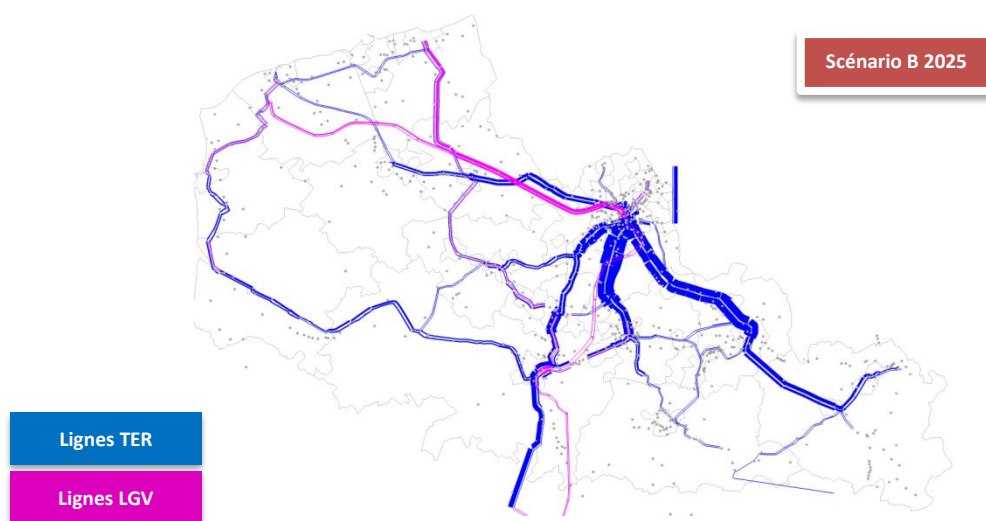


Figure 90: Volume des déplacements en train dans le scénario B « *Plan régionale de TOD* » au 2025.

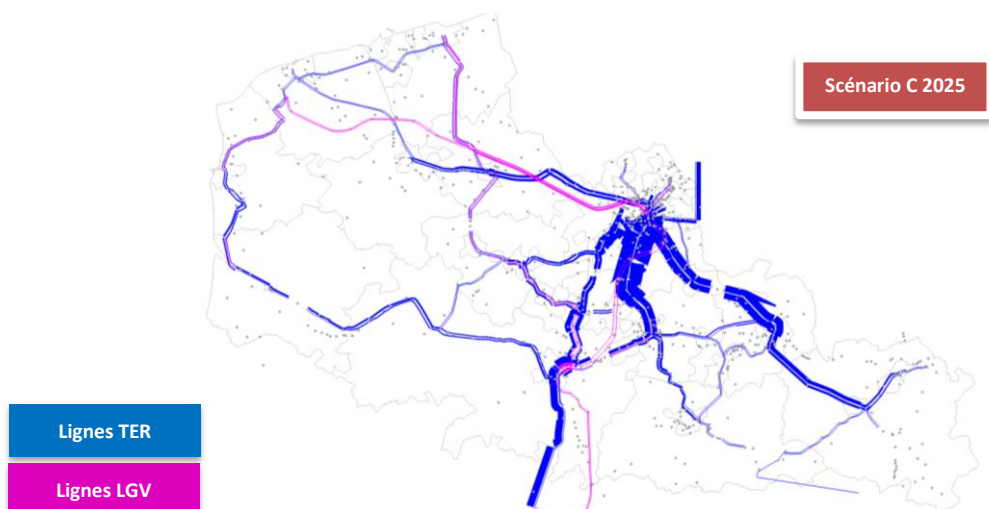


Figure 91: Volume des déplacements en train dans le scénario C au 2025.

S'agissant des zones du modèle qui ont été touchées par des interventions de densification et d'amélioration de l'offre des transports en commun (zones TOD), on propose à ce stade une

analyse plus détaillée. Si on considère la répartition modale entre voiture et transports en commun, pour les zones TOD (voir Figure 92), on observe une réponse très différenciée, mais avec une tendance toujours favorable aux transports en commun, surtout dans le dernier scénario de simulation (*scénario C*). Les résultats les plus favorables aux transports en commun peuvent être repérés dans les cas des zones TOD d’Haubourdin, Seclin, Ostricourt, Santes-Wavrin et Phalempin-Libercourt et donc dans les corridors ferroviaires qui relient Lille à Lens, Douai et Béthune. Toutefois on observe dans quelques zones TOD, en particulier dans la zone TOD d’Armentières et dans la zone TOD située au sud de Valenciennes (zone TOD Denain, Somain, Bouchain), une tendance différente, avec la part modale du transport collectif qui diminue dans le dernier scénario (le plus favorable à l’utilisation du transport). Pour vérifier et analyser la raison de cette tendance inattendue, la sortie du logiciel *Tranus* relative à l’évolution du niveau de service du réseau routier a été analysée.

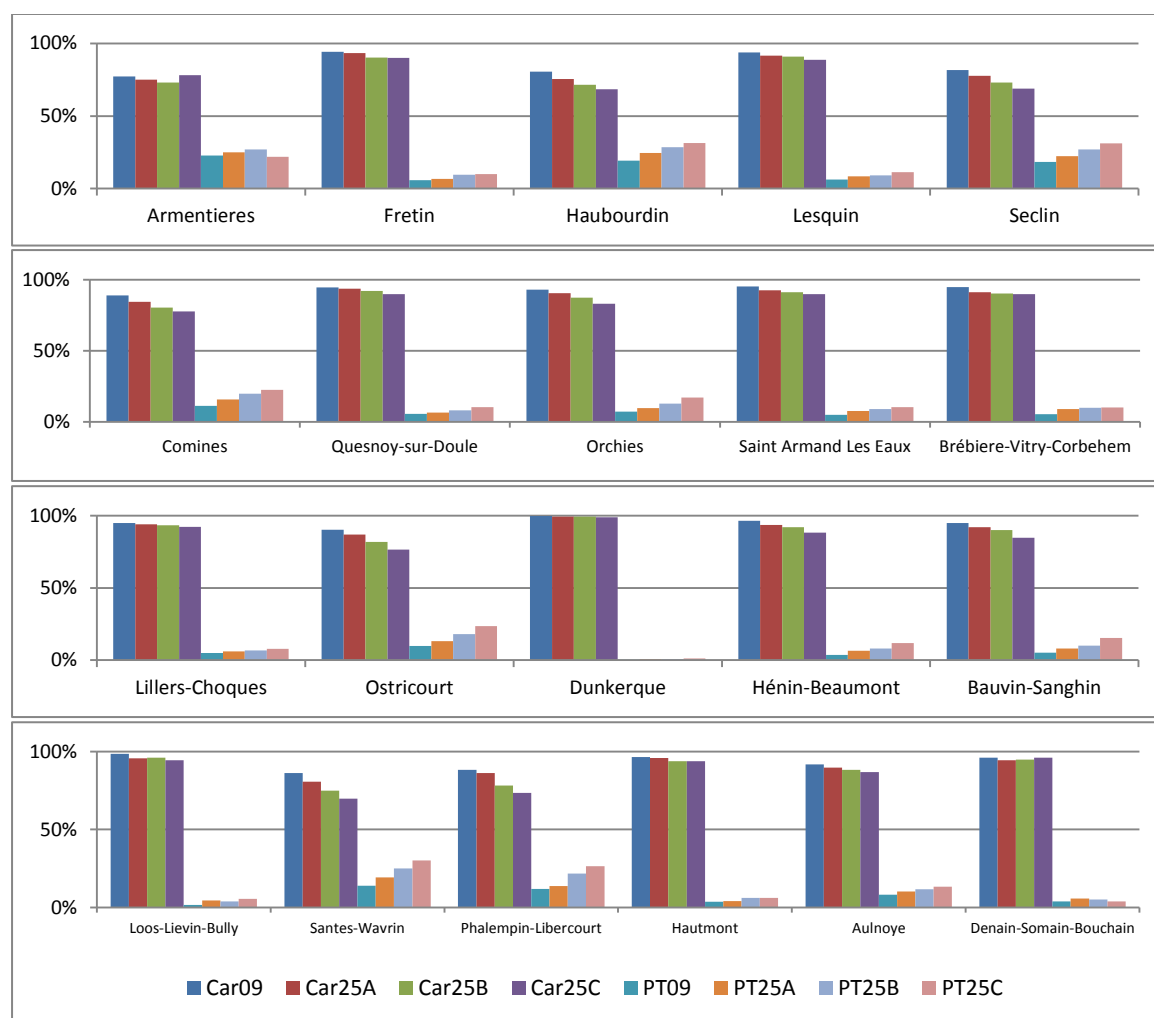


Figure 92: Histogrammes sur la répartition modale entre voiture et transports en commun pour les zones TOD.

Comme le montrent les cartes relatives au niveau de service routier global (voir Figure 93, Figure 94, Figure 95 et Figure 96), dans le *scénario C* on constate une réduction importante des niveaux de congestion autoroutier et donc une augmentation de la vitesse moyenne de circulation. Si on

considère par contre le cas spécifique de la zone TOD d'Armentières, on peut affirmer que la réduction progressive de la congestion routière de l'autoroute A25, ajoutée à un important niveau d'accessibilité et de connexion routière sur cette zone, induisent dans le *scénario C* initialement une augmentation de la fréquentation des transports en commun (périodes de simulation 2013, 2021, 2017) et ensuite un *retour* d'attractivité et donc une augmentation de l'utilisation de la voiture (période de simulation du 2025) sur le tronçon d'autoroute qui relie Armentières à la métropole lilloise (voir Figure 97). La réduction du temps de circulation routière au fil du temps de la simulation redonne un avantage comparatif à la voiture sur le train sur cette porte d'entrée des flux régionaux. Il s'agit d'un phénomène que l'on peut qualifier de *vases communicants*, qui invite à la réflexion sur la nécessité d'accompagner les interventions d'amélioration de l'offre des transports en commun par des actions qui vont réduire en même temps la capacité ou la vitesse de circulation routière.



Figure 93: Carte du niveau de service du réseau routier dans le scénario de référence en 2009.



Figure 94: Carte du niveau de service du réseau routier dans le scénario A en 2025.



Figure 95: Carte du niveau de service du réseau routier dans le scénario B en 2025.



Figure 96: Carte du niveau de service du réseau routier dans le scénario C au 2025.

La même dynamique peut être retrouvée en correspondance de la zone TOD située au sud de Valenciennes (Denain, Somain, Bouchain), où dans le *scénario C* le tronçon de l'autoroute A2 qui met en relation la zone TOD avec Valenciennes au nord et Cambrai au sud, devient complètement décongestionné et caractérisée par le niveau de service maximum (niveau A sans coloration) (voir Figure 97), redonnant un avantage comparatif en termes de temps, donc de coût de transport à la voiture sur le train. Ces deux cas sont particuliers, car ils concernent des espaces bien desservis par un réseau autoroutier, qui se trouve cependant saturé ou en voie de saturation. Une action amenant à une amélioration significative des conditions de circulation voit alors ces espaces retrouver une attractivité automobile. Cette situation est cependant assez limitée car dans tous les autres cas la fréquentation du train croît dans les étapes des scénarios TOD, malgré l'amélioration des conditions de circulation routière. On peut supposer alors que les effets de *retour* d'attractivité de la voiture, que l'on peut relever dans le cas de la zone d'Armentières et dans celle du sud de Valenciennes (Denain, Somain, Bouchain), pourraient se vérifier également dans d'autres zones avec des temporalités différentes, qui vont au-delà des horizons de simulations qu'on a pris en considération dans ce travail. Il s'agit d'une dynamique de vases communicants et d'équilibre entre offre de transports en commun, coûts des déplacements et niveau de congestion routière, qui se déroule selon différentes temporalités et conditions, en fonction du contexte spécifique.

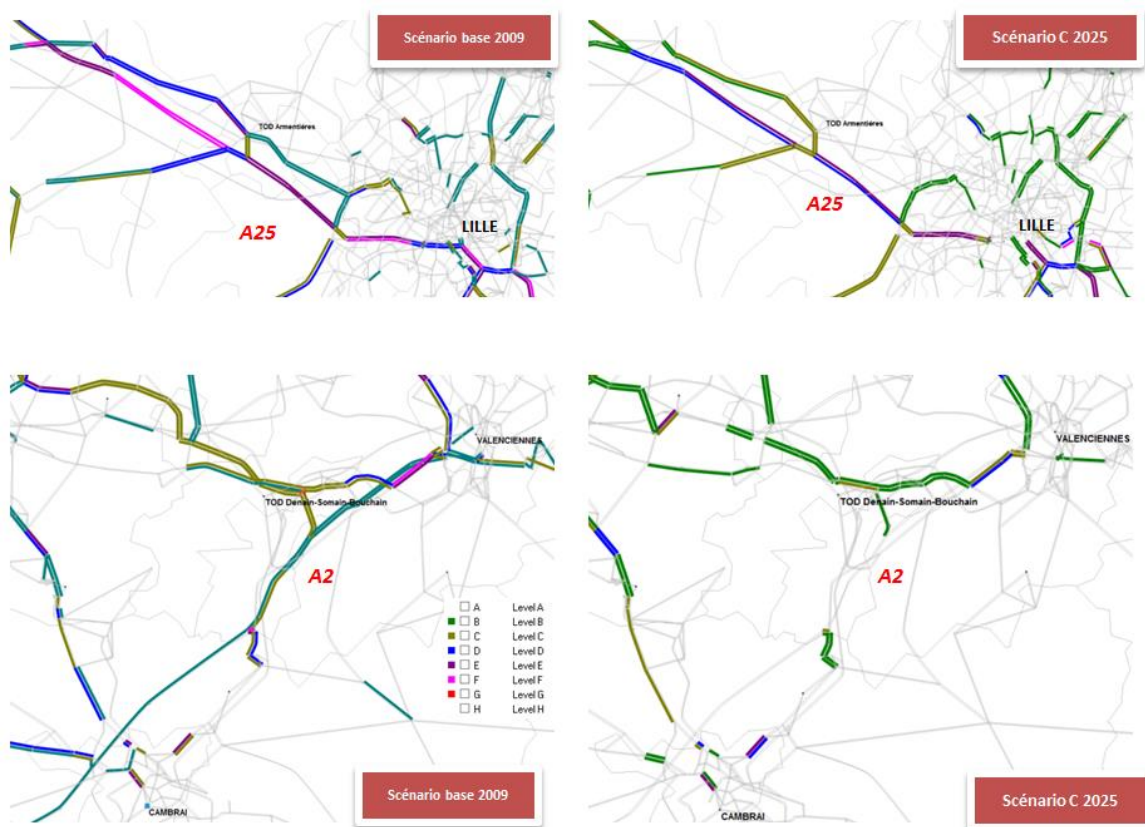


Figure 97: Évolution du niveau de service routier sur les tronçons de l'autoroute A25 entre Armentières et Lille et de l'autoroute A2 entre Cambrai et Valenciennes.

On entend enfin considérer les données relatives à l'évolution de la fréquentation de principales gares considérées dans le modèle (nombre des montées et descentes) et en particulier des gares situées dans les zones avec un potentiel de TOD (voir Figure 99). En faisant référence à l'heure de pointe du matin (6h -9h) dans les différents scénarios de simulation, on peut observer que la fréquentation des gares augmente de manière assez uniforme sur tout le réseau. Dans le détail, ce sont surtout les gares de Lesquin, Seclin, Saint Armand Les Eaux et les gares situées dans les corridors Lille-Lens, Lille-Douai et Arras-Douai, qui présentent l'augmentation la plus importante du nombre de montées et descentes dans le dernier scénario. En correspondance avec les résultats précédents, la gare d'Armentières témoigne la tendance déjà observée dans les histogrammes sur l'évolution de la répartition modale entre voiture et TC, avec une légère diminution de la fréquentation de la gare dans le *scénario C*. La cause de ce phénomène, en contre-tendance par rapport aux autres zones du modèle, est à associer, comme nous l'avons expliqué, au retour d'attractivité de la voiture, produite par le décongestionnement de l'autoroute A25 vers Lille. En observant, en outre, la Figure 98 on peut effectuer une comparaison avec les gares situées en zones urbaines, où le taux de fréquentation des gares reste plutôt stable, à l'exception de Lille, Arras, Lens et Valenciennes, qui présentent une légère

augmentation du nombre des montées et descentes et de Dunkerque où le taux de fréquentation diminue.

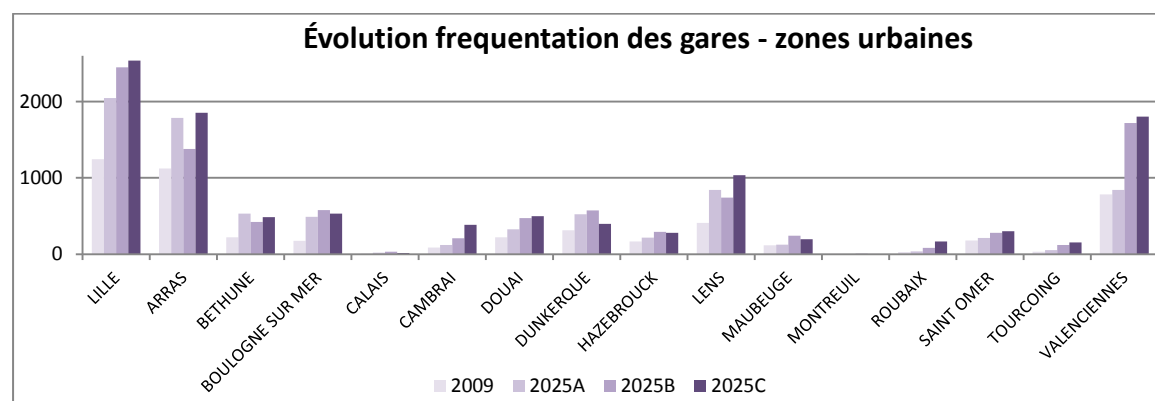


Figure 98: Histogramme sur l'évolution de la fréquentation des gares ferroviaires dans les zones urbaines du modèle.

On peut donc conclure que, par rapport à l'utilisation des services ferroviaires régionaux (TER), les hypothèses de TOD mis en place dans les scénarios de simulation B et C, comportent une augmentation importante et généralisée de la demande dans les zones sélectionnées pour leur potentiel de TOD. Cette augmentation s'avère plus marquée en correspondance des gares situées le long des corridors ferroviaires centraux de la région, lesquels à cause de leurs positions stratégiques (liaison directe avec la métropole lilloise et positionnement sur l'axe Bruxelles-Lille-Paris), arrivent facilement à attirer de nouveaux passagers.

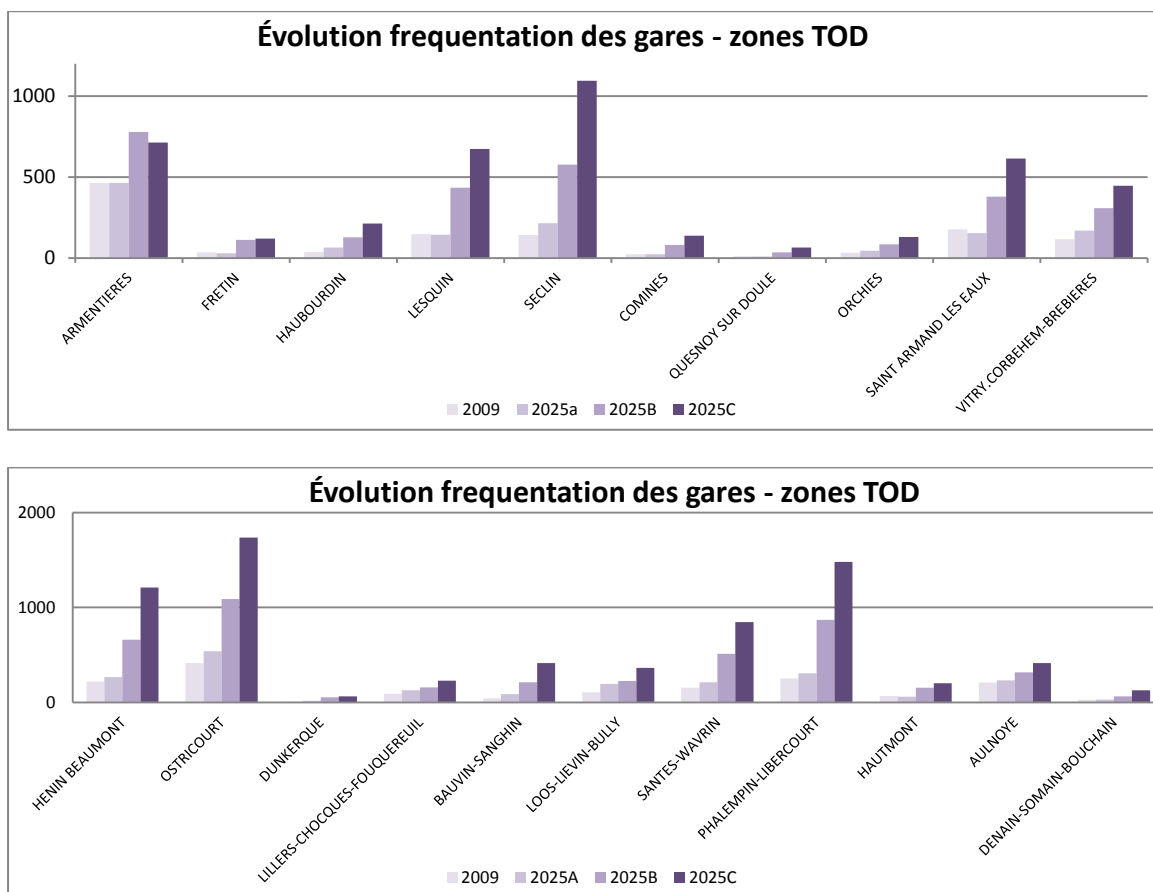


Figure 99: Histogrammes sur l'évolution de la fréquentation des gares ferroviaires dans les zones TOD du modèle.

En conclusion, grâce aux résultats fournis à l'aide de *Tranus* relatifs à la distance parcourue par mode de transport (*units-dist by operator ; [pass*km]*) et à la distance parcourue par véhicule de chaque mode de transport (*veh.dist by operator ; [km]*), on peut procéder au calcul des émissions de CO² en fonction des différents scénarios de simulation.

<i>Units-dist by oper</i>	2009	2025A	2025B	2025C
Voiture	28524804	26512160	24645524	22861462
Bus urbain	78184	120117	128763	150330
Bus suburbain	49574	79218	74483	93104
<i>Veh-dist by oper</i>	2009	2025A	2025B	2025C
Voiture	21942210	20394030	18958146	17585778
Bus urbain	44842	44892	47488	48717
Bus suburbain	9158	9157	9982	10398

Tableau 12: distance parcourue par mode de transport (*units-dist by operator ; [pass*km]*) et distance parcourue par véhicule de chaque mode de transport (*veh.dist by operator ; [km]*).

Comme valeurs de référence pour le calcul des émissions de CO² par mode de transport, on a utilisé les données fournies dans le cadre du projet britannique « *Clear Zones Partnership (CZP)* » et disponibles en ligne sur le site *travelfootprint.org*.

Source des données: Camden council/Travelfootprint.org/ Clear Zone Partnership					
Mode	Détail	Taux d'occupation	commentaire	co2_gkm	co2_gpkm
BUS	Diesel (from 2006): Urban use	50% occupancy	Buses registered from Oct 2006 onwards conform to the latest Euro IV emissions standards.	892	51
BUS	Diesel (from 2006): Rural use	50% occupancy	Buses registered from Oct 2006 onwards conform to the latest Euro IV emissions standards.	597	34
CAR	Average city-car diesel	Average occupancy (1.6 passengers)	Diesel fuel is assumed to be Ultra Low Sulphur Diesel (ULSD).	133	83

Tableau 13: Valeur d'émission de CO² par mode de transport fournis par le site internet travelfootprint.org.

Il s'agit d'un projet promu par le *London Borough of Camden, Transport for London* et le *Department of Environment, Food and Rural Affairs* du Royaume-Uni. Dans ce cas spécifique on est intéressé à analyser l'évolution de la quantité d'émissions produites dans la zone d'étude, par les voitures et les bus urbains et suburbains.

Dans le Tableau 13 on peut trouver les typologies des véhicules considérées comme référence et leurs émissions de CO². On a donc calculé le pourcentage d'émissions de CO₂ économisées en 2025 par rapport à l'année de départ de 2009, dans les trois scénarios de simulation (voir Figure

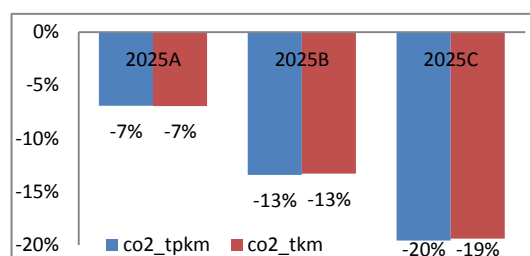


Figure 100: Réduction des émissions de CO² en pourcentage (dans les trois scénarios de simulation), par rapport à la période de référence du 2009.

100). Les résultats de cette analyse sont très positifs et signalent une réduction des émissions de CO² en 2025, de trois fois supérieure dans le scénario C par rapport au scénario A, et donc une contribution importante des politiques de TOD et de promotion de l'usage des transports collectifs à la réduction des émissions polluantes dans la région.

6.5. Conclusions

Dans ce dernier chapitre les résultats du travail de modélisation intégrée d'usage du sol et du transport, appliqué sur le terrain de la région Nord-Pas-de-Calais, ont été illustrés pour évaluer l'applicabilité et les effets d'un plan régional de *Transit Oriented Development* ou d'urbanisme orienté vers les transports en commun. Les résultats du modèle mettent en évidence la capacité d'une intervention de type TOD, étendue à l'ensemble du territoire régional, à limiter ou du moins adoucir le phénomène d'étalement urbain et à favoriser la concentration du développement urbain le long du réseau ferroviaire régional, ainsi que l'augmentation de l'usage des transports en commun. On observe cependant des résultats et des effets inattendus, notamment liés au *retour* d'attractivité de la voiture conséquence du décongestionnement de

l'autoroute, dans deux zones TOD (zone TOD d'Armentières et zone TOD du sud de Valenciennes) dans le dernier scénario (le plus favorable aux transports en commun). Un phénomène que l'on explique à travers une dynamique de *vases communicants* qui détermine la répartition de la demande de transport entre réseau routier et services de transport en commun, en fonction des coûts de déplacement et des niveaux de congestion routière. En outre, le fait que cette dynamique n'apparaisse pas dans d'autres zones également très bien connectées au réseau routier, nous indique que ce phénomène des *vases communicants* se produit selon différentes temporalités, en fonction du contexte et donc des niveaux de demande de transport et surtout de congestion présentes l'année de référence pour la modélisation. Celle-ci (2009) a été en fonction de la disponibilité des données relatives au dernier recensement de l'Insee. L'accès aux données représente en fait une contrainte décisive dans le cadre de la conception et de la mise en œuvre d'un travail de modélisation. Les données disponibles vont influencer et conditionner principalement le choix du zonage (dans ce cas spécifique l'échelle la plus fine est celle de la commune), la façon de classifier la population, l'emploi, les secteurs d'activités et les types d'usages du sol, ainsi que l'analyse des résultats de la modélisation, de manière à pouvoir comparer les données calculées avec celles réellement observées. Par rapport aux autres scénarios, l'application d'un plan régional de TOD a été testé à travers des hypothèses de densification mixte et multifonctionnelle (résidentielle et des activités), de type progressif dans le temps et appliquées à des zones sélectionnées pour potentialité et leur prédisposition à accueillir des interventions TOD. Il s'agit de communes qui possèdent des gares et quartiers de gares sélectionnés en fonction de leur type d'insertion et leur niveau d'intégration dans la forme urbaine existante. À partir des données relatives aux surfaces disponibles pour chaque type d'usage du sol, des interventions d'urbanisation nouvelle et de renouvellement urbain (sans consommer d'espaces naturels ou agricoles) ont été prévues, dans le sens d'une densification et d'une transformation d'une partie des terrains en friche et résidentiels, en terrains résidentiels continus denses (mixtes) et d'un pourcentage de cette dernière catégorie en terrains de type TOD. On considère en fait une nouvelle typologie d'usage du sol (terrain TOD), caractérisée par une densité de l'ordre du 10%-15% supérieure à celle des terrains du type résidentiel continu dense (correspondant au cœur des centres urbains) et par une haute qualité du design et de l'aménagement urbain. En complément à ces hypothèses relatives à l'usage du sol, sur le versant des transports en commun une augmentation progressive des fréquences a été prévue pour les services desservant les nœuds et les corridors comportant un potentiel de TOD. L'augmentation des fréquences a en outre été fixée sur l'ensemble du réseau TER de la région. Enfin, dans le scénario le plus favorable aux transports en commun des hypothèses supplémentaires ont été introduites, inspirées par les indications et les

actions stratégiques proposées et préconisées dans le cadre du *Schéma Régional des Transports et des Mobilités* du Nord-Pas-de-Calais. Il s'agit de l'introduction du péage autoroutier et d'un système tarifaire intégré entre le service ferroviaire régional et les lignes de bus urbaines et suburbaines.

La phase de calibration du scénario de référence du modèle a été sans doute la plus complexe et la plus délicate dans le travail de modélisation. La difficulté principale a consisté en l'identification des paramètres et indicateurs du modèle susceptibles d'être l'objet d'un éventuel ajustement pendant le processus de calibration et ensuite en la définition de la procédure effective de calibration de ces paramètres, rendue compliquée par l'interdépendance et la corrélation entre les facteurs en jeu. Il s'agit finalement d'un ensemble de choix qui répondent pour une part à des règles issues de la pratique habituelle de modélisation, et pour une part à la sensibilité et à l'expertise du modélisateur. C'est donc grâce à l'étude des manuels du logiciel *Tranus* et d'autres travaux scientifiques spécialisés, ainsi que grâce à la collaboration et à l'échange avec d'autres modélisateurs et chercheurs appartenant à l'environnement scientifique du laboratoire de recherche LVMT et de l'Université de Calabre (Italie), ayant déjà développé de l'expertise sur les MUST, ainsi que grâce au précieux support scientifique du prof. Tomàs de la Barra (concepteur et créateur du logiciel *Tranus*), qu'il a été possible de réaliser la calibration du modèle. En particulier, les paramètres et indicateurs ayant subi des ajustements pendant la phase de calibration sont essentiellement ceux qui définissent le comportement et les préférences des choix de mobilité et de localisation des ménages et des activités, et notamment les fonctions de demande qui règlent la consommation du sol en fonction du prix foncier.

En analysant les résultats de la modélisation on peut conclure que sans l'adoption d'actions et de politiques spécifiques (scénario A : « *au fil de l'eau* »), une intensification de l'étalement urbain est à attendre, en particulier dans l'espace situé au sud de la communauté urbaine lilloise et dans l'aire urbaine centrale de la région, ainsi qu'une consolidation du rôle prépondérant de la voiture dans les habitudes de mobilité. Les scénarios B et C, qui contiennent les hypothèses de densification urbaine multifonctionnelle (TOD), montrent une tendance inverse, avec un important mouvement des ménages et des emplois depuis les espaces ruraux vers les zones urbaines ou zones TOD (corridors et nœuds ferroviaires sélectionnés) et avec un effet général de valorisation du foncier mobilisé dans les zones TOD. Au niveau global, ce mouvement ne porte pas de grands changements dans la composition sociale et dans la répartition des emplois dans la région. Mais, si on analyse les différentes zones spatiales on observe, par contre, pour les ménages, un risque de gentrification dans les zones urbaines et aussi dans les zones TOD mais avec une moindre intensité, une stabilisation du nombre d'implantations dans les zones rurales et une tendance à la mixité sociale dans les communes de la communauté urbaine de Lille. Par

rapport à l'emploi sur les zones TOD connaissent une augmentation importante de l'emploi tertiaire, tandis que les zones rurales sont sujettes à une forme de spécialisation fonctionnelle de type industriel, due à la baisse du prix des terrains. L'augmentation des fréquences des transports en commun, s'avère également favorable à l'accroissement de l'attractivité des zones TOD et à l'usage des transports en commun, notamment de type ferroviaire. La hausse de la part modale des transports en commun est cependant relativement contenue (dans le scénario le plus favorable on observe un doublement du taux de fréquentation des TC), car *Tranus*, par son approche de type entrée-sortie entre zones sans traiter la mobilité à l'intérieur des zones, considère essentiellement les déplacements de type motorisés et non la mobilité active (condition défavorable aux hypothèses de TOD, qui sont normalement particulièrement favorables sur la mobilité de proximité et donc non motorisée).

Ces résultats montrent en conclusion une réponse différenciée en fonction des zones et des contextes territoriaux. Les résultats les plus intéressants peuvent être repérés dans les corridors qui lient la métropole lilloise aux villes de l'Arc sud (Lens, Douai, Béthune) et dans la zone TOD au sud de Valenciennes (Denain, Somain, Bouchain) ainsi que dans le corridor transversal entre Douai et Béthune. À cause de leur situation stratégique (en lien direct avec la métropole lilloise et positionné sur l'axe Bruxelles-Lille-Paris), le gain d'attractivité sur ces corridors se traduit rapidement et distinctement dans une augmentation importante des implantations des ménages et des activités ainsi que du taux d'utilisation des transports en commun et des services ferroviaires. Ces résultats et réflexions nous amènent à conclure que les interventions de TOD fonctionnent notamment lorsque sont vérifiés, de manière simultanée, trois principaux facteurs clés. La présence d'un territoire relativement dynamique, du point de vue socio-économique, du point de vue productif et du point de vue des flux de transports ; la mise en place d'une urbanisation attractive et de qualité, conçue et mise en œuvre en intégration avec des services de transport en commun performants; l'activation d'un processus d'action conjointe entre les acteurs de l'urbanisme et de l'aménagement et les acteurs des transports. Dans le cas spécifique considéré dans cette recherche (application d'un plan de TOD régional), la réponse différenciée qu'on observe dans les zones TOD, nous confirme la nécessité d'adapter les hypothèses de TOD à chaque contexte, en fonction de ses propres spécificités. Toutefois, les effets positifs observés sur les corridors ferroviaires énumérés précédemment, dépendent également de l'*effet réseau* provoqué par l'application répartie sur l'ensemble du territoire régional des hypothèses des TOD. Adapter et différencier les hypothèses de densification et de développement urbain, en fonction des contextes spécifiques, avec une approche détaillée sur chaque gare, chaque quartier de gare et chaque corridor ferroviaire, représente certainement une piste pour prolonger ce travail de modélisation qui s'avère tout à fait possible sans modifier

les hypothèses de base et le zonage du modèle. Il s'agit d'un travail qui prévoit une action d'observation ponctuelle, pour pouvoir ensuite définir les trajectoires et les niveaux de densification possibles, différenciées zone par zone.

Conclusions générales

Cette thèse a cherché à proposer des pistes de réflexions et des réponses à plusieurs questions de recherche. L'intérêt de cette étude est de montrer l'apport que l'application des principes du *Transit Oriented Development* (TOD) ou de l'urbanisme des transports en commun peut constituer dans le contexte de la région Nord-Pas-de-Calais. On a testé, en particulier, la capacité d'une intervention de TOD étendue à l'échelle d'une région à limiter les phénomènes d'étalement urbain, de consommation excessive des sols naturels et donc de fragmentation du tissu urbain et d'exurbanisation. Il s'agissait, dans cette perspective, de renverser le paradigme *auto-centré* qui actuellement prévaut largement dans les pratiques de mobilité et dans la façon de concevoir le développement urbain et les choix d'urbanisme.

En s'interrogeant sur le sens du TOD dans le Nord-Pas-de-Calais, on se pose également la question de savoir comment adapter et reproduire dans un contexte territorial spécifique des principes théoriques et des notions d'urbanisme et d'aménagement qui, même s'ils ont déjà été appliqués avec succès dans d'autres territoires, ne sont pas forcément applicables partout et surtout ne donnent pas des résultats systématiquement identiques.

En fait l'idée de promouvoir des actions et des projets urbains dans le sens d'une articulation entre politiques de transport et d'urbanisme, en valorisant l'utilisation de services de transport en commun, apparaît abondamment partagée et débattue dans le monde scientifique mais aussi dans la sphère opérationnelle et décisionnelle de la planification et de l'aménagement.

Par contre la façon de traduire ces idées en projets et actions s'avère encore très incertaine, subjective, complexe et dépendante des facteurs externes et des contraintes multiples (l'orientation politique d'une collectivité, le consensus de l'opinion publique, la conjoncture économique, etc.). Cette complexité s'avère cependant inévitable, à cause des spécificités qui caractérisent chaque espace et chaque échelle du territoire. Elle rend nécessaire pour les aménageurs, la lecture du territoire et la compréhension de ses besoins spécifiques, pour ensuite décliner des stratégies de développement.

Par ailleurs, cette thèse a permis d'aborder une seconde question de recherche qui porte sur la capacité des outils de modélisation intégrée d'usage du sol et des transports, à fournir une aide et un soutien à la réflexion et à la compréhension des dynamiques qui traduisent cette complexité. Concevoir et appliquer un *Modèle d'Usage du Sol et des Transports* (MUST) pour la région Nord-Pas-de-Calais, en utilisant le logiciel de simulation *Tranus* nous a permis de tester et d'évaluer l'aptitude de ce type d'outil à modéliser le TOD, à l'échelle d'une région. De nombreux exemples d'interventions de TOD peuvent être en effet trouvés à l'échelle urbaine et métropolitaine, avec des caractéristiques différentes selon les contextes d'application, alors que

les interventions à l'échelle régionale sont plus rares. Dans ce domaine, l'exemple le plus significatif, en Europe, est probablement le projet néerlandais *StedenbaanPlus*. En outre aucune expérience de modélisation avec *Tranus* à l'échelle régionale n'est référencée dans la littérature scientifique et, plus généralement, les MUST utilisés pour évaluer le TOD à l'échelle d'une région sont très rares.

Les résultats du travail de modélisation nous indiquent cependant que l'application d'un plan régional de TOD, structuré le long du réseau ferroviaire du Nord-Pas-de-Calais et en particulier autour des certains nœuds et corridors ferroviaires sélectionnés pour leur potentiel de développement, s'avère effectivement une action s'opposant au phénomène d'étalement urbain et incitant à l'usage des transports en commun. Le comportement du modèle n'est toutefois pas homogène sur l'ensemble du territoire régional et on observe en fait très clairement que les mêmes hypothèses de densification mixte et multifonctionnelle, de promotion d'un urbanisme de qualité et très attractif, de renforcement des fréquences des services ferroviaires et des transports en commun n'exercent pas des effets identiques partout. L'introduction du péage autoroutier et d'un système d'intégration tarifaire entre TER et lignes de bus urbains et suburbains, apportent des réponses différentes sur le territoire régional.

Si, au niveau global, suite à ces hypothèses et sur un pas temporel de seize ans, on observe une tendance générale à l'augmentation de l'usage des transports collectifs et à la concentration urbaine, donc à un retour d'attractivité des centres urbains et des communes situées le long du réseau TER, au détriment des aires rurales et périphériques, c'est surtout à l'échelle de l'aire urbaine centrale, au sud et à l'est de la métropole lilloise, que l'on observe la réponse la plus marquée aux hypothèses de TOD. Toutes les zones sélectionnées comme potentiellement capables d'accueillir des interventions de TOD n'arrivent pas à accueillir cette dynamique. En particulier, il apparaît que la réussite du TOD s'avère plus probable quand elle est appliquée à des territoires déjà relativement dynamiques au moment de l'activation de ces interventions. La présence d'une demande de logements et de transports élevée, un potentiel de développement socio-économique et productif dans les zones de l'Arc Sud de la région (aires urbaines de Lens, Douai et Béthune) et du Valenciennois consolidée par la proximité à la métropole lilloise et par une position stratégique sur l'axe entre Paris, Lille et Bruxelles, sont les conditions qui expliquent l'ampleur des effets des hypothèses de TOD sur ces zones. On observe, en outre, des résultats intéressants et initialement inattendus dans le domaine des transports et des dynamiques liées à la mobilité. Le gain généralisé de part modale des transports en commun provoque, en suivant le principe d'équilibre propre du logiciel de simulation *Tranus*, un effet de *vases communicants*, suivant lequel l'augmentation du taux d'occupation des services de transport en commun se traduit par une désaturation et un décongestionnement du réseau autoroutier, au point, à un

certain moment, de produire un retour d'attractivité pour la voiture sur certains trajets. Intuitivement cette dynamique n'est pas très surprenante si on considère que, dans certaines zones, très bien connectées au réseau routier, le niveau de congestion et donc le temps de déplacement s'avère le facteur discriminant des choix de mobilité des usagers. La réduction de la congestion et l'augmentation du niveau de service des autoroutes rendent alors la voiture de nouveau compétitive et performante, en comparaison avec les transports en commun. Il est particulièrement intéressant de noter que ces résultats touchent essentiellement deux zones du modèle, la zone TOD d'Armentières et la zone TOD située au sud de Valenciennes (Denain, Somain, Bouchain). Armentières représente un point d'accès névralgique et stratégique à la métropole lilloise, situé sur un axe autoroutier pénétrant depuis le nord-ouest qui depuis quelques années voit l'activation d'un programme de renouvellement et de réaménagement des quartiers environnant la gare SNCF, que l'on peut considérer comme proche des idées du modèle de TOD. Le fait que dans d'autres secteurs de la région, également bien connectés au réseau routier on n'observe pas le même phénomène de retour d'attractivité de la voiture, peut être lié à un problème de temporalité et donc à des réponses différées dans le temps. La première réflexion que fournissent ces résultats s'inscrit dans la nécessité de réfléchir à l'opportunité de proposer des interventions de réduction de la capacité routière, en même temps que l'activation d'interventions de TOD et de renforcement plus global de l'offre de transport en commun.

Il s'agit d'agir sur l'équilibre entre le niveau de service des réseaux routiers et le taux d'occupation des transports en commun. La question de l'acceptabilité sociale se posera bien évidemment face à ce type de mesure. Ce travail de modélisation sur la thématique de l'articulation et de l'interaction entre transport et territoire, en privilégiant un développement de type du TOD, nous a apporté plusieurs éléments de réflexion. D'abord, on observe l'extrême difficulté à suivre avec précision les dynamiques des marchés fonciers et immobiliers et à contrôler les réactions suscitées par les choix de planification. L'évolution du marché du logement suit en fait des principes et des intérêts (essentiellement ceux du profit) qui souvent ne convergent pas avec ceux des collectivités et surtout peuvent facilement ignorer ou contrer les mesures prises par les urbanistes et les aménageurs. Les pouvoirs publics doivent de ce fait intervenir dans un contexte d'incertitude en renforçant leur rôle de guide et de porteur de stratégies de développement, et en travaillant en même temps sur une consolidation du partenariat entre public et privé, basé sur la construction d'une vision commune et partagée de l'offre urbaine. Le modèle du TOD s'avère très intéressant parce qu'il fournit des indications et des principes qui vont dans le sens d'une appréhension de cette articulation stratégique. Comme on l'a exposé en détail dans le document, il s'agit de principes qui ne sont pas totalement

nouveaux et qui trouvent leurs fondements dans l'idée d'une ville compacte, développée le long des axes de transports en commun, soutenue par une mobilité douce et de proximité, déjà présente dans les principes de la planification urbaine du XIX^e siècle (p.ex. la *Cité Jardin* (*Garden City*) (Howard, 1898) et la *Cité Linéaire* (Soria y Mata, 1894)). Au-delà donc des nombreuses barrières et obstacles qui peuvent conditionner la réussite d'une intervention de TOD, on veut ici insister sur la problématique du partage et de la compréhension du concept qui représente à notre avis l'obstacle culturel le plus important à dépasser. En France, par exemple, on observe souvent du « *TOD sans le dire* », c'est-à-dire à une multiplicité d'interventions sur le territoire, conçues et mises en œuvre en manière autonome et sans (au moins apparemment) une stratégie coordonnée qui si on la considère dans son ensemble s'apparente beaucoup à l'idée du TOD. D'autre part, on considère souvent des interventions limitées au renouvellement architectural d'une gare ferroviaire et au réaménagement des espaces adjacents, comme relevant de l'urbanisme des transports en commun, en accordant une attention moins forte aux échelles du quartier de gare et à son insertion métropolitaine.

Un contre-exemple relativement singulier dans le contexte national et européen, est l'opération d'Euralille, qui représente certainement un projet complet et correspondant à un réel changement, avec la convergence d'intérêts politiques, économiques et stratégiques à long terme et qui, au-delà des limites que l'on peut observer aujourd'hui, sur l'usage quotidien du lieu, peut être considéré comme relevant du TOD (L'Hostis & Liu, 2014). Dans ce cas comme dans d'autres exemples présents dans la région Nord-Pas-de-Calais il existe une série de propositions qui se basent sur l'articulation entre urbanisme et transport et qui visent à organiser la convergence de différents types d'actions (sur le logement, sur la mobilité, sur l'aménagement des espaces publics, sur la sécurité, etc.), et que l'on peut, sur le plan conceptuel, considérer comme des opérations de type TOD. Pour cette raison, faire connaître une définition claire de ce que signifie *faire du TOD* et donc projeter et planifier le fonctionnement d'un territoire avec cette vision complète, inclusive et à long terme, s'avère très important et utile à la mise en œuvre et à la réussite de ce type d'interventions. L'aspect communication s'avère aussi déterminant pour contribuer à une plus grande compréhension de l'action publique par les citoyens, et pour susciter l'adhésion des acteurs privés, investisseurs et habitants, à cette forme urbaine et au mode de vie qui lui est associé.

Au cours de ce travail de recherche doctorale nous avons aussi voulu créer des occasions de discussion et de confrontation avec les acteurs locaux (du Nord-Pas-de-Calais), sur les thématiques traitées dans notre étude, surtout sur la validité et sur l'apport du travail de modélisation effectué, et sur les résultats obtenus. En particulier, non sans difficultés, nous avons pu interpellé des représentants de l'Agence de Développement et d'Urbanisme de Lille

Métropole (ADU) et de la Mission Bassin Minier. Dans le panorama des acteurs et des décideurs de la région, ces deux institutions ont développé des visions territoriales stratégiques impliquant des compétences et des échelles qui sont pertinentes par rapport à notre objet de recherche. Ces échanges nous ont fourni des idées et des observations extrêmement enrichissantes pour cette recherche. Les acteurs interpellés n'ont pas été surpris par certains de nos résultats les plus marquants, notamment les déplacements importants de population depuis les espaces périphériques vers les communes desservies par des gares à l'horizon de la période de modélisation, et ont montré un intérêt pour les hypothèses de développement prévues dans notre modèle, ainsi que pour les potentialités de la modélisation intégrée d'usage du sol et du transport. Les représentants de l'ADU de Lille Métropole ont montré un intérêt particulier aux résultats concernant la zone d'Armentières, en confirmant la complexité de la gestion de cet accès à la métropole lilloise et en demandant aussi la possibilité de développer un travail de modélisation similaire à celui que nous avons effectué, mais plus spécifiquement resserré sur l'aire de la communauté urbaine lilloise. M. Dezetter de la Mission Bassin Minier a été plus intéressé par l'approche multi échelle de notre recherche, et par l'aspect innovant des MUST, qui ne sont pas aujourd'hui utilisés par les collectivités françaises. En outre il a manifesté un intérêt pour le développement d'un modèle multipolaire et multicentrique, inscrit dans les hypothèses de base du travail de modélisation, en soutenant l'idée qu'une organisation intégrée et globale (à l'échelle d'une région) du système de transport, peut effectivement contribuer à la construction d'un territoire multipolaire et au renversement du paradigme de l'*automobilité*. Il a aussi attiré notre attention sur le secteur de la logistique et du fret, qui ne rentre pas dans notre modèle (pour le moment) et qui constitue à son avis un secteur fondamental à considérer dans la région, dans l'objectif de la construction d'une prospective cohérente de développement. De cette expérience d'échange avec certains acteurs régionaux de l'aménagement et de l'urbanisme on retient, en outre, une confirmation de la nécessité d'un effort de communication à entreprendre de la part des chercheurs et des utilisateurs des modèles vis-à-vis des décideurs. Souvent, en effet, le monde de la recherche parvient difficilement à communiquer avec efficacité avec le *monde externe* et vice-versa, bien que le besoin et l'utilité réciproque d'un échange et d'une confrontation continue soit manifeste. En regard notamment de la modélisation et des MUST cette distance entre chercheurs et praticiens est souvent encore trop grande, à cause de la difficulté de compréhension du fonctionnement des modèles et aussi parce que l'action pédagogique, bien qu'indispensable, représente une tâche supplémentaire pour les modélisateurs. D'autre part, on peut définir deux cas possibles dans la démarche d'une modélisation, quand on cherche à donner un apport scientifique mais aussi opérationnel à l'organisation et à la planification du territoire : des modèles réalisés *en externe* (conçus par des

instituts de recherche ou par des organismes indépendants) avec une coordination en amont (et préféablement permanente) avec les aménageurs et les décideurs, par rapport à la définition des objectifs, des temporalités et des hypothèses à considérer dans le travail de modélisation ; des modèles réalisés *en interne* (à l'intérieur des collectivités territoriales), qui ont également besoin d'un travail de partenariat et d'interaction, mais qui s'avère, au moins théoriquement, moins complexes. Relevant de la première catégorie de modélisations, la démarche de cette thèse répond de ce fait à une volonté de conserver une autonomie et un contrôle de l'économie générale de la modélisation, tout en visant une exploitation opérationnelle avec une implication des praticiens. La question s'est posée de savoir à quel moment, dans quel esprit et selon quelles modalités faire entrer les acteurs de terrain. Plusieurs possibilités existent, entre la restitution finale de résultats à l'implication en amont de tous les choix de modélisation. Maya Vitorge du Conseil Régional Provence-Alpes-Côte d'Azur (PACA) a exprimé⁸⁹ une position claire à ce sujet, en critiquant le principe d'un travail de modélisation qui n'implique pas, dès le début, une coordination et une confrontation avec les décideurs. Tout en reconnaissant les avantages d'une telle approche, nous avons construit une voie médiane pour plusieurs raisons, dont l'idée que le TOD n'est pas aujourd'hui une doctrine largement connue, reconnue et appliquée par les praticiens en France. Nous avons besoin de liberté dans la définition des principes de départ de la modélisation, qui décline les idées de l'urbanisme des transports en commun, le TOD, et qui constitue une des déclinaisons possibles des principes généraux de la planification et des orientations stratégiques régionales. L'exercice de la thèse est donc essentiellement un test sur un terrain régional, de l'application des principes du TOD. À ce titre, nous avons jugé utile de préserver une autonomie de décision suffisante quant aux choix de modélisation (par ex. choix d'un type de modélisation *input/output* ou *multi agent*, ou choix du zonage). En pratique, l'étude approfondie des documents de planification nous a permis de traduire les principales orientations de l'aménagement régional dans le paradigme TOD.

Autre raison expliquant nos choix touchant à l'implémentation des praticiens, dans le processus de modélisation, contrairement à ce que l'on pourrait penser, la définition des scénarios intervient relativement tard, en particulier, après la phase la plus coûteuse en temps qui est celle de la calibration. À ce moment, il est particulièrement intéressant d'interagir avec les décideurs, et c'est ce que nous avons fait. De ce fait, sur cette question, avec le recul, nous pouvons largement valider notre approche. En effet, les retours nous ont apporté : 1) des précisions sur certains choix dans la définition des scénarios (p.ex. l'importance de certains corridors ferroviaires sortant de la métropole lilloise ou l'intérêt à évaluer les potentialités de

⁸⁹ Ces discussions ont eu lieu en 2013 lors d'une rencontre du Groupe d'Échanges et de Recherche de l'Ifsttar sur les thèmes des territoires locaux et des transports à Aix-en-Provence.

certaines nœuds considérés comme secondaires mais ayant un rôle également stratégique, tels ceux situés dans la zone au sud de Valenciennes) ; 2) des validations d'experts de certains résultats (p.ex. le concept des *vases communicants* entre réseau routier et réseau des transports en commun dans la zone d'Armentières ; l'hypothèse de déplacements importants de population entre zones et tissus urbains) ; 3) des pistes pour des développements futurs.

Pour notre expérience de recherche, ce doctorat nous a permis de comprendre l'extrême difficulté et la complexité qui résident dans la conception, l'élaboration et l'exécution d'un modèle intégré d'usage du sol et de transport, spécialement à l'échelle d'une région. En particulier, l'approche multidisciplinaire et la nécessité de maîtriser une compréhension des phénomènes liés aux transports, à l'usage du sol et à leurs interactions, tout en considérant la diversité de réponses des différentes échelles du territoire, ont constitué les aspects les plus ardues de ce travail. Une autre difficulté fondamentale est liée à la disponibilité des données, surtout celles relatives au marché foncier : notons qu'il est extrêmement difficile d'accéder à des informations officielles sur les ventes foncières des sols commerciaux et industriels. De toute façon chaque modèle, par définition, se trouve confronté au problème de l'accès aux données d'une part, et procède d'une simplification de la réalité, d'autre part. Le défi fondamental est ainsi celui d'arriver à reproduire, avec un degré de simplification acceptable, les dynamiques de fonctionnement de l'aire d'étude, pour pouvoir produire des résultats valides et donc fiables. La phase de calibration s'avère aussi très intense et difficile, parce qu'elle suppose une compréhension globale du fonctionnement des algorithmes du modèle et de leur couplage et parce qu'elle nécessite un effort de pleine et constante concentration, jusqu'à la réalisation de la convergence du modèle. On peut donc affirmer, sans doute, qu'une piste fondamentale de recherche à développer dans ce domaine est celle relative à l'automatisation et à la définition des procédures plus ou moins standardisées pour la calibration du logiciel de simulation *Tranus* et des MUST en général. À cet égard, le projet de recherche *CITiES (Calibrage et validation de modèles Transport – usagE des Sols)*, financé en Janvier 2013 par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR), s'avère d'un grand intérêt (avec un partenariat qui inclut plusieurs instituts de recherche français⁹⁰ et des objectifs très ambitieux⁹¹). En outre, par rapport au logiciel *Tranus*, on observe que d'autres pistes de développement seraient souhaitables, en s'appuyant sur le

⁹⁰ Inria - Équipes STEEP et MOISE ; IAU Institut d'Aménagement et d'Urbanisme ; IRTES / SeT Institut de Recherche sur les Transports, l'Énergie et la Société / Laboratoire Systèmes et Transports ; Iddri Institut du Développement Durable et des Relations Internationales ; IFSTTAR Institut Français des Sciences et des Technologies des Transports, de l'Aménagement, et des Réseaux ; LET Laboratoire d'Économie des Transports ; LVMT Laboratoire Ville Mobilité Transport (UMR T 9403 ; PIRANDELLO INGENIERIE

⁹¹ "Définir une méthodologie de calibration et développer des algorithmes adéquats et efficaces pour faciliter l'estimation des paramètres d'un modèle LUTI ; Définir une méthodologie de validation, dans les deux sens historique et économique, et développer les algorithmes correspondants. » ([http://www.agence-nationale-recherche.fr/projet-anr/?tx_lwmsuivibilan_pi2\[CODE\]=ANR-12-MONU-0020](http://www.agence-nationale-recherche.fr/projet-anr/?tx_lwmsuivibilan_pi2[CODE]=ANR-12-MONU-0020))

fait qu'il s'agit d'un *logiciel libre* dont le code source est ouvert. Ainsi une plus grande possibilité d'intégration de *Tranus* avec les Systèmes d'information géographique (SIG), déjà en partie possible, serait souhaitable, et permettrait d'entrer plus facilement les données dans le modèle pour ensuite produire des analyses sur les résultats de simulations favorisant un usage plus large de ce logiciel.

Enfin, comme nous l'avons déjà évoqué, il faut considérer que ce travail, accompli dans le cadre d'un doctorat, a dû faire face à de fortes contraintes temporelles et matérielles, qui ont conditionné tant la conception des hypothèses de base du modèle que l'ampleur de l'approfondissement de l'analyse des résultats obtenus. On peut de ce fait évoquer plusieurs perspectives de recherches futures issues de ce travail.

Ces perspectives sont de deux ordres : d'une part une extension de l'exploitation de la modélisation actuelle pour établir de nouveaux points de vue qui pourraient apporter des éléments pertinents d'analyse pour les acteurs territoriaux. Ainsi, les résultats du modèle actuel pourraient être déclinés et détaillés en actions concrètes sur les périmètres stratégiques identifiés. D'autre part, un travail approfondi sur les variables clés de l'articulation urbanisme-transport que la modélisation a mis en lumière et qui pourrait donner lieu à de futures modélisations et analyses.

Grâce à la capacité du logiciel de simulation *Tranus* de définir, les entités administratrices des territoires considérés dans le modèle (Conseil régional, Départements, Communes, etc.) et celles gestionnaires des services de transport, le modèle peut être facilement développé en vue d'évaluer l'évolution des dépenses de gestion et de maintenance des services, en fonction de l'application de différentes politiques d'usage du sol et du transport. Par ailleurs, par rapport aux hypothèses de densification issues des principes du TOD proposées dans le modèle, une analyse ponctuelle et détaillée sur chaque zone contenant des gares ou des quartiers de gare prédisposés à accueillir des interventions de TOD, pourrait permettre de diversifier les hypothèses de densification zone par zone. Un tel perfectionnement du modèle pourrait permettre d'adapter encore mieux les politiques de TOD à l'ensemble du territoire régional, en fournissant peut-être une réponse plus homogène aux hypothèses de TOD sur les zones concernées. Enfin, un autre aspect susceptible de prolongements est celui de l'identification et de la définition des zones du territoire régional qui possèdent un potentiel de TOD ou de développement urbain orienté vers les transports en commun. Dans le cadre de cette recherche, la configuration particulière et la typologie d'insertion des quartiers des gares dans le tissu urbain ont été considérées comme un facteur clé, sans tenir compte, par exemple, de la composition sociale et des conditions de l'habitat (même si le prix foncier représente un indicateur explicatif de ces aspects), ou d'autres indicateurs comme le nombre d'habitants par

ménage ou le taux de possession de voitures particuliers par ménage. En conclusion, cette thèse entend fournir une expérience de recherche appliquée et un apport de type scientifique touchant plusieurs thématiques extrêmement complexes (interaction entre transport et urbanisme, applicabilité du *Transit Oriented Development* à l'échelle d'une région ; potentialité de la modélisation intégrée d'usage du sol et des transports) et donc inaccessibles par une lecture et une analyse superficielle. On espère, de ce fait, dans cette thèse, plutôt que d'apporter des réponses définitives, avoir démontré l'intérêt de continuer la recherche sur la conception et la construction d'une nouvelle vision pour le développement futur des territoires régionaux européens, qui soit basée sur les principes de durabilité, d'équité, de solidarité et de qualité urbaine.

ANNEXES

Annexe I : Méthode des rapports de densité ; pour l'estimation des paramètres *min* et *max demand*, dans la fonction de demande des secteurs *non transportables* du logiciel de simulation *Tranus*.

Pendant l'implémentation d'un modèle de simulation intégrée d'usage du sol et transport, en utilisant le logiciel de simulation *Tranus*, le modélisateur doit déterminer, avant de lancer l'exécution du modèle, une série de paramètres, qui seront plus tard recalculés et réajustés dans le cadre du processus de calibration. Pour les données relatives à l'usage des sols cette procédure s'avère nécessaire en particulier pour les valeurs des densités de consommation des sols et des élasticités qui règlent les fonctions de demande (en définissant l'influence de la variation des prix du sol sur les dynamiques de choix de la demande), ainsi que pour les paramètres de substitution, les pénalités de choix et d'autres facteurs qui déterminent le poids du prix et de la désutilité de transport dans la fonction d'utilité (voir paragraphe 5.1.2, 5.1.3 et 5.2). Dans ce cas, nous nous concentrons l'attention sur le processus d'estimation des valeurs initiales de densité de consommation des sols, qui seront ensuite utilisées dans la fonction de demande pour les secteurs «*non transportables*» du modèle (c'est-à-dire les secteurs qui sont consommés exclusivement dans leur zone de production et pour lesquels la distribution de la demande se modifie en fonction du prix) (voir paragraphe 5.1.2, 5.1.3 et 5.2).

L'objectif principal est de construire une distribution initiale réaliste des ménages et des emplois, sur chaque type de sol, pour chaque zone du modèle. Le problème est que les données disponibles ne nous donnent pas la possibilité de définir les valeurs de densité à ce niveau de détail. Nous connaissons en effet combien d'emplois et des ménages sont situés dans une zone spécifique, mais nous ne savons pas, plus précisément, combien de ménages ou d'emplois sont implantés ou consomment chaque type de sol (résidentiel, mixte, commercial, etc.) dans cette zone. Pour surmonter ce problème, nous considérons des informations externes pour construire des rapports de densités résidentielles ou d'emplois, entre chaque type d'usage du sol. Ceci est possible en considérant les données statistiques et les séries historiques relatives à la situation du logement dans le territoire considéré et en se référant à des densités moyennes par type de logement et d'usage du sol, relatives à la zone d'étude et présentes en littérature.

a) Définition de la matrice de consommation des sols A

Pour chaque zone k du modèle le vecteur C de la demande totale, correspondant à chaque catégorie des ménages ou d'emplois i , est définie:

- $C = \{C_i, \dots, C_n\} \quad (a.1)$

Avec $1 \leq i \leq n$ qui représente une générique catégorie des ménages ou d'emplois et C qui représente le nombre des ménages actifs ou d'emplois dans chaque zone k .

Nous définissons le vecteur S , qui représente la surface totale disponible, pour chaque typologie de sol j présent dans la zone k .

- $S = \{S_j, \dots, S_m\}$ (a.2)

Avec $1 \leq j \leq m$ qui représente une typologie générique de sol.

Nous générons la matrice de la consommation des sols A . Il définit quelles typologies des sols j sont consommées par chaque catégorie de demande i et le poids de chaque type de sol j .

De cette façon, pour une zone générique k du modèle, le type de sol j qui est plus présent dans cette aire, aura une plus grande influence que les autres.

Par conséquent, pour chaque zone k de la zone d'étude, la matrice de la consommation des sols A_k doit être définie.

Les dimensions de la matrice $A_k = (n \times m)$ sont les suivantes:

n lignes = C_n

m colonnes = S_m

La matrice de la consommation des sols A_k sera donc du type:

- $$\begin{bmatrix} A_{11} & \dots & A_{1j} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{i1} & \dots & A_{ij} \end{bmatrix} \quad (a.3)$$

b) Éléments de la matrice A_k de la consommation des sols

L'élément générique de la matrice $A_{ij,k}$ de consommation des sol, est égale à 0 si la catégorie de demande i considérée ne consomme aucun type de sol j .

La définition des quels types de sols j sont consommés par chaque catégorie de demande i considérée dans le modèle, doit être préalablement définie comme hypothèse, en fonction des caractéristiques spécifiques de chaque catégorie de demande i présents dans la zone d'étude.

Par exemple, il peut être défini précédemment que les catégories des ménages consomment certains types de sols, comme le sol urbain continu dense ou mixte et les sols résidentiels et que les catégories d'emplois consomment autres types de sols (commercial, industriel, etc.). Les catégories des ménages et d'emplois peuvent bien évidemment être en compétition pour la consommation d'un type de sol spécifique, par exemple le sol mixte ou les terrains en friche.

Par conséquent, la forme de chaque élément de la matrice $A_{ij,k}$ est la suivante:

- $A_{ij,k} = \left(\frac{S_{j,k}}{S_{tot,k}} \right) \cdot C_{i,k} \quad (b.1)$

Où:

$S_{j,k}$ représente la surface totale disponible du type de sol j dans la zone k .

$S_{tot,k}$ représente la surface totale de sol qu'est consommée par la catégorie de demande C_i dans la zone k .

$C_{i,k}$ représente la catégorie générique des ménages ou d'emplois qui consomme le type de sol j dans la zone k .

Ensuite, chaque élément $A_{ij,k} \neq 0$ de la matrice de consommation des sols, représente la quantité des membres de la catégorie de la demande i (ménages ou emplois), qui consomment/occupent le type de sol j dans la zone k .

De cette façon, la demande de sol dans la zone k est répartie sur l'ensemble des types de sols disponibles, en fonction seulement du poids de chaque type générique de sol j .

Par conséquent au type de sol j , qui possède une plus grande surface disponible dans la zone k , sera répartie proportionnellement une plus grande quantité de demande de consommation.

La somme de chaque ligne n de la matrice $A_{ij,k}$ est égal à la demande totale correspondant à chaque catégorie des ménages ou d'emplois i et est donc égal à $C_{i,k}$.

- $A_{ij,k} = \{A_{i1,k} + A_{i2,k} + \dots + A_{in,k}\}$ (b.2)

La somme de tous les éléments d'une colonne définit le vecteur $P_{j,k}$ correspondant à la quantité totale de la demande qui consomme le type générique de sol j dans la zone k :

- $P_{j,k} = \{A_{1j,k} + A_{2j,k} + \dots + A_{mj,k}\}$ (b.3)

La matrice de consommation des sols $A_{ij,k}$ doit être définie pour chaque zone k du modèle et pour chaque type d'usage du sol considéré dans le modèle. La somme des matrices $\sum A_{ij,k}$ relatives aux catégories des ménages et d'emplois présentes dans la zone k , divisée par la surface totale disponible à consommer, peut nous permettre de définir la valeur de densité totale $d_{tot,i,k}$ des ménages et d'emplois dans la zone k .

c) Définition de la densité initiale $\tilde{d}$ et de la densité objective d_t d'usage du sol

Pour créer des différences dans les niveaux de densité de consommation des sols, nous introduisons une valeur de densité objective d_t pour chaque type de sol j . Cette densité objective représente la densité de logements et d'emplois que nous souhaitons atteindre pour chaque type de sol de la zone d'étude, en considérant les catégories des ménages et d'emplois prises en compte dans le modèle.

Avant d'arriver à ce point, nous commençons par une hypothèse d'équipartition des emplois et des ménages dans chaque type de terrain ; en d'autres termes par une hypothèse d'égale densité des ménages et d'emplois pour le générique zone k du modèle.

A ce stade, la demande sera distribuée sur les sols consommables, exclusivement en fonction des surfaces effectives disponibles et sans aucun rapport avec les réelles densités de ménages et d'emplois de la zone considérée.

Ensuite, nous procédons à la définition de certains rapports de densité de ménages et d'emplois entre les différents types de sols considérés dans le modèle. Ces rapports de densité seront ensuite utilisés pour *déplacer* ou *redistribuer* la demande de sols à l'intérieur de la zone k et avec le but de se rapprocher des densités cibles $d_{t,j}$, définies précédemment pour chaque type d'usage du sol j . Sur la base de ces valeurs de $d_{t,j}$ les densités de ménages et d'emplois, ne seront plus égales pour chaque type de sol j , mais correspondantes à la réalité du cas spécifique. Au cours de ce processus de redistribution de la demande sur les surfaces de sol disponibles à l'intérieur de la zone k , nous devons maintenir respectée la condition (b.2) de la somme constante de chaque ligne n de la matrice $A_{ij,k}$. De plus aucune ajout ou suppression de demande est possible dans la zone k considérée, mais seulement une redistribution.

A ce stade, nous pouvons procéder au calcul de la densité initiale d'usage du sol $\tilde{d}$, pour chaque zone k , qui est donné par le rapport:

$$\bullet \quad \tilde{d}_{j,k} = \frac{P_{j,k}}{S_{j,k}} \quad (c.1)$$

Où:

$P_{j,k}$ correspond à la quantité totale de demande qui consomme le type générique de sol j dans la zone k .

$S_{j,k}$ représente la surface totale disponible du type de sol j dans la zone k .

Il faut noter que l'élément P n'est pertinent que si calculé séparément pour chaque catégorie de demande i , c'est-à-dire des ménages et d'emplois, qui consomment un type de sol présent dans la zone k . Comme reporté, par exemple, dans le tableau (c.2), il serait utile de séparer les catégories de demande en catégories de ménages et d'emplois. Peut donc être défini un vecteur somme $P_{p,k}$ (c.3), qui ne considère que les catégories des ménages et le rapport $\tilde{d}_{p,k}$ (c.4) représentant la densité initiale correspondante. Par ailleurs est défini un vecteur somme $P_{w,k}$ (c.5) qui ne considère que les catégories d'emplois, puis le rapport $\tilde{d}_{w,k}$ (c.6), représentant la densité initial d'emplois.

Comme à ce stade, nous sommes dans une hypothèse de répartition équitable des ménages et des emplois, en fonction des surfaces dédiées, les densités initiales de logement et d'emploi sont les mêmes pour chaque type de sol visé à la même zone k .

<i>For the generic zone K</i>			
<i>Demand Category</i>	<i>Land Type 1</i>	<i>Land Type 2</i>	<i>Land Type j</i>
Population			
C_1	$A_{1,1}$	$A_{1,2}$	$A_{1,j}$
C_2	$A_{2,1}$	$A_{2,2}$	$A_{2,j}$
..	..	..	..
C_n	$A_{n,1}$	$A_{n,2}$	$A_{n,j}$
Jobs			
C_{n+1}	$A_{n+1,1}$	$A_{n+1,2}$	$A_{n+1,j}$
C_{n+2}	$A_{n+2,1}$	$A_{n+2,2}$	$A_{n+2,j}$
..	..	..	..
C_{n+m}	$A_{n+m,1}$	$A_{n+m,2}$	$A_{n+m,j}$

**elements A_{ij} are normally expressed in number of households or jobs*

Tableau (c.2)

- $P_{p,k} = \{ A_{1,j} + A_{2,j} + \dots + A_{n,j} \}$ (c.3)

- $P_{w,k} = \{ A_{n+1,j} + A_{n+2,j} + \dots + A_{n+m,j} \}$ (c.4)

- $\tilde{d}_{p,k} = \frac{P_{p,k}}{S_{j,k}}$ (c.5)

- $\tilde{d}_{w,k} = \frac{P_{w,k}}{S_{j,k}}$ (c.6)

d) Redistribution de la demande de sol et calcul de la matrice $\tilde{A}$ de consommation réel des sols

Si on considère une catégorie de demande i présente dans la zone k , qui consomme n différents types de sol j , nous procédons en commençant par considérer les densités initiales $\tilde{d}_{p,k}$ et $\tilde{d}_{w,k}$, et ensuite en essayant de les modifier afin de se rapprocher à la valeur de densité objective. d_t . En particulier nous considérons par exemple le cas avec m types de sol $S_1, S_n, S_{n+1}, \dots, S_m$ consommés par trois catégories de demande C_1, C_2, C_3 . Compte tenu de nos hypothèses précédentes (c.1), une seule valeur de densité initiale $\tilde{d}$ est définie. Après cela, pour chaque type de sol S_j sont définis des valeurs de densités objectives d_{tS_m} , sur la base des informations disponibles, et un rapport entre les densités objective de tous les types de sols, comme suit:

- $d_{tS_1} \leq \dots \leq d_{tS_n} < \tilde{d} < d_{tS_{n+1}} \leq \dots \leq d_{tS_m}$ (d.1)

Ensuite, nous pouvons illustrer un exemple général, où les éléments de la matrice $\tilde{A}_{ij}$ de consommation réel des sols peuvent être définis comme suit:

$$\left\{ \begin{array}{l} \tilde{A}_{11} = \left[\frac{d_{tS_1}}{\tilde{d}} * A_{11} \right]; \\ \tilde{A}_{1n} = \left[\frac{d_{tS_n}}{\tilde{d}} * A_{1n} \right]; \\ \tilde{A}_{1n+1} = \left[A_{1n+1} + \left[\frac{S_{n+1}}{\sum_{j=1}^m S_{n+1} + \dots + S_m} \right] \left(1 - \frac{d_{tS_1}}{\tilde{d}} \right) * A_{11} * \left[\frac{d_{tS_{n+1}}}{\sum_{j=1}^m d_{tS_{n+1}} + d_{tS_m}} \right] + \left[\frac{S_{n+1}}{\sum_{j=1}^m S_{n+1} + \dots + S_m} \right] \left(1 - \frac{d_{tS_n}}{\tilde{d}} \right) * A_{1n} * \left[\frac{d_{tS_{n+1}}}{\sum_{j=1}^m d_{tS_{n+1}} + d_{tS_m}} \right] \right]; \\ \tilde{A}_{1m} = \left[A_{1m} + \left[\frac{S_m}{\sum_{j=1}^m S_{n+1} + \dots + S_m} \right] \left(1 - \frac{d_{tS_1}}{\tilde{d}} \right) * A_{11} * \left[\frac{d_{tS_m}}{\sum_{j=1}^m d_{tS_{n+1}} + d_{tS_m}} \right] + \left[\frac{S_m}{\sum_{j=1}^m S_{n+1} + \dots + S_m} \right] \left(1 - \frac{d_{tS_2}}{\tilde{d}} \right) * A_{12} * \left[\frac{d_{tS_m}}{\sum_{j=1}^m d_{tS_{n+1}} + d_{tS_m}} \right] \right]; \\ \\ \tilde{A}_{21} = \left[\frac{d_{tS_1}}{\tilde{d}} * A_{21} \right]; \\ \tilde{A}_{2n} = \left[\frac{d_{tS_n}}{\tilde{d}} * A_{2n} \right]; \\ \tilde{A}_{2n+1} = \left[A_{2n+1} + \left[\frac{S_{n+1}}{\sum_{j=1}^m S_{n+1} + \dots + S_m} \right] \left(1 - \frac{d_{tS_1}}{\tilde{d}} \right) * A_{21} * \left[\frac{d_{tS_{n+1}}}{\sum_{j=1}^m d_{tS_{n+1}} + d_{tS_m}} \right] + \left[\frac{S_{n+1}}{\sum_{j=1}^m S_{n+1} + \dots + S_m} \right] \left(1 - \frac{d_{tS_2}}{\tilde{d}} \right) * A_{22} * \left[\frac{d_{tS_{n+1}}}{\sum_{j=1}^m d_{tS_{n+1}} + d_{tS_m}} \right] \right]; \\ \tilde{A}_{2m} = \left[A_{2m} + \left[\frac{S_m}{\sum_{j=1}^m S_{n+1} + \dots + S_m} \right] \left(1 - \frac{d_{tS_1}}{\tilde{d}} \right) * A_{21} * \left[\frac{d_{tS_m}}{\sum_{j=1}^m d_{tS_{n+1}} + d_{tS_m}} \right] + \left[\frac{S_m}{\sum_{j=1}^m S_{n+1} + \dots + S_m} \right] \left(1 - \frac{d_{tS_2}}{\tilde{d}} \right) * A_{22} * \left[\frac{d_{tS_m}}{\sum_{j=1}^m d_{tS_{n+1}} + d_{tS_m}} \right] \right]; \\ \\ \tilde{A}_{31} = \left[\frac{d_{tS_1}}{\tilde{d}} * A_{31} \right]; \\ \tilde{A}_{3n} = \left[\frac{d_{tS_n}}{\tilde{d}} * A_{3n} \right]; \\ \tilde{A}_{3n+1} = \left[A_{3n+1} + \left[\frac{S_{n+1}}{\sum_{j=1}^m S_{n+1} + \dots + S_m} \right] \left(1 - \frac{d_{tS_1}}{\tilde{d}} \right) * A_{31} * \left[\frac{d_{tS_{n+1}}}{\sum_{j=1}^m d_{tS_{n+1}} + d_{tS_m}} \right] + \left[\frac{S_{n+1}}{\sum_{j=1}^m S_{n+1} + \dots + S_m} \right] \left(1 - \frac{d_{tS_2}}{\tilde{d}} \right) * A_{32} * \left[\frac{d_{tS_{n+1}}}{\sum_{j=1}^m d_{tS_{n+1}} + d_{tS_m}} \right] \right]; \\ \tilde{A}_{3m} = \left[A_{3m} + \left[\frac{S_m}{\sum_{j=1}^m S_{n+1} + \dots + S_m} \right] \left(1 - \frac{d_{tS_1}}{\tilde{d}} \right) * A_{31} * \left[\frac{d_{tS_m}}{\sum_{j=1}^m d_{tS_{n+1}} + d_{tS_m}} \right] + \left[\frac{S_m}{\sum_{j=1}^m S_{n+1} + \dots + S_m} \right] \left(1 - \frac{d_{tS_2}}{\tilde{d}} \right) * A_{32} * \left[\frac{d_{tS_m}}{\sum_{j=1}^m d_{tS_{n+1}} + d_{tS_m}} \right] \right]; \end{array} \right. \quad (d.2)$$

En résumé tous les types de sol qui présentent une densité objective d_t supérieure à la densité initiale $\tilde{d}$, deviennent *récepteurs* de densité par d'autres types de sol. Cette redistribution de la demande de sol est faite en fonction de chaque respective incidence λ (d.3) des sols disponibles et de chaque respective incidence τ (d.4) de la densité objective (1.10).

- $\lambda_j = \left[\frac{S_j}{\sum_{j=1}^m S_j + \dots + S_m} \right] \quad (d.3)$

- $\tau_j = \left[\frac{d_{tS_j}}{\sum_{j=1}^m d_{tS_j} + \dots + d_{tS_m}} \right] \quad (d.4)$

Avec $1 \leq j \leq m$ qui représente un type générique de sol. À partir de la notation générale (d.2), nous pouvons définir un cas particulier. Il peut arriver par exemple qu'un seul type de sol possède une densité objective plus élevée que la densité initiale. Dans ce cas, tous les autres types de sols deviennent des *donateurs* de densité et un seul est le *récepteur*. Par conséquent le rapport de densités objectives entre les types de sol S_j sera dans ce cas le suivant:

- $d_{tS_1} \leq d_{tS_2} \leq \dots \leq d_{tS_n} < \tilde{d} < d_{tS_m} \quad (d.5)$

Dans ce cas, la matrice $\tilde{A}$ de consommation de sol, visé à la densité réelle, sera définie de la manière suivante:

$$\left\{ \begin{array}{l}
\tilde{A}_{11} = \left[\frac{d_{ts1}}{\bar{d}} * A_{11} \right]; \\
\tilde{A}_{12} = \left[\frac{d_{ts2}}{\bar{d}} * A_{12} \right]; \\
\tilde{A}_{1n} = \left[\frac{d_{tsn}}{\bar{d}} * A_{1n} \right]; \\
\tilde{A}_{1m} = \left[A_{1m} + \left(1 - \frac{d_{ts1}}{\bar{d}} \right) * A_{11} + \left(1 - \frac{d_{ts2}}{\bar{d}} \right) * A_{12} + \left(1 - \frac{d_{tsn}}{\bar{d}} \right) * A_{1n} \right]; \\
\\
\tilde{A}_{21} = \left[\frac{d_{ts1}}{\bar{d}} * A_{21} \right]; \\
\tilde{A}_{22} = \left[\frac{d_{ts2}}{\bar{d}} * A_{22} \right]; \\
\tilde{A}_{2n} = \left[\frac{d_{tsn}}{\bar{d}} * A_{2n} \right]; \\
\tilde{A}_{2m} = \left[A_{2m} + \left(1 - \frac{d_{ts1}}{\bar{d}} \right) * A_{21} + \left(1 - \frac{d_{ts2}}{\bar{d}} \right) * A_{22} + \left(1 - \frac{d_{tsn}}{\bar{d}} \right) * A_{2n} \right]; \\
\\
\tilde{A}_{31} = \left[\frac{d_{ts1}}{\bar{d}} * A_{31} \right]; \\
\tilde{A}_{32} = \left[\frac{d_{ts2}}{\bar{d}} * A_{32} \right]; \\
\tilde{A}_{33} = \left[\frac{d_{ts3}}{\bar{d}} * A_{3n} \right]; \\
\tilde{A}_{3m} = \left[A_{3m} + \left(1 - \frac{d_{ts1}}{\bar{d}} \right) * A_{31} + \left(1 - \frac{d_{ts2}}{\bar{d}} \right) * A_{32} + \left(1 - \frac{d_{ts3n}}{\bar{d}} \right) * A_{3n} \right]
\end{array} \right. \quad (d.6)$$

Comme on peut le voir en (d.6), si un seul type de sol est définie comme étant *récepteur* de densité, puis aucune incidence relative de surface et de densité (λ et τ), par type de sol, doit être utilisé dans le calcul. À ce stade, la matrice $\tilde{A}$ de consommation réelle des sols est enfin définie en fonction des hypothèses de rapports de densité retenues pour chaque type de sol disponible.

e) Utilisation de la fonction *solve* d'Excel pour définir les paramètres *min* et *max demand* à insérer dans le logiciel *Tranus*

Une fois calculée la matrice de consommation effective des sols $\tilde{A}$ pour chaque zone k du modèle, on peut procéder au calcul des paramètres de *maximum demand* and *minimum demand* qui seront utilisés dans le logiciel de simulation *Tranus*. Précisément ils sont des paramètres de la fonction de demande de *Tranus*.

En *Tranus* la quantité d'*inputs* qu'une unité de production d'un secteur nécessite depuis un autre générique secteur est déterminée par une fonction de demande qui a la forme suivante:

$$\bullet \quad a_i = \min^{mn} + (\max^{mn} - \min^{mn}) \cdot \exp(-\delta^{mn} U_i^n) \quad (e.1)$$

Demand function parameters in <i>Tranus</i>	
a_i	Amount of production of sector n demanded by a unit of sector m in zone i
$\min^{mn}$	Minimum amount of n required by a unit production of m
$\max^{mn}$	Maximum amount of n required by a unit production of m
δ^{mn}	Elasticity parameter of m with respect to the cost of input n
U_i^n	Consumption disutility of n in i .

Tableau (e.2)

L'Équation 11 montre le rôle des paramètres de *minimum* et *maximum demand* dans le fonctionnement de la fonction de demande. En effet, ils représentent les limites de la fonction de demande, qui met en corrélation la demande aux prix, selon des tendances différentes en fonction de la valeur de l'élasticité δ^{mn} .

Pour définir les valeurs de max^{mn} et min^{mn} , on propose une méthode basée sur la fonction *solve* d'Excel, selon la procédure suivante:

- La matrice $\tilde{A}_k$ de consommation réel des sols est définie pour chaque zone k du modèle;
- La fonction *solve* d'Excel est ensuite utilisée pour chaque type de sol j et zone k :
 - Une feuille de calcul Excel est mise en œuvre avec des éléments de la matrice $\tilde{A}_k$ et les surfaces disponibles pour chaque zone k .
 - La cellule objective de la fonction *solve* est fixée égale à la surface totale disponible du type de sol j dans la zone k .
 - Un groupe de cellules appelées variables de décision est défini, correspondant au nombre de catégories de demande qui consomment le type de sol j .
 - La fonction *solve* d'Excel est ensuite exécutée.

Solve function elements (zone k)				
Objective cell	Demand Categories <i>i</i> consuming S_j	Elements of matrix $\tilde{A}_k$	Elements generated by the solve function	Decision variables
Total available	C_1	$A_{1,j}$	$L_{j,1,k}$	$(L_{j,1} \cdot \tilde{A}_{1j})$
surface of land	C_2	$A_{2,j}$	$L_{j,2,k}$	$(L_{j,2} \cdot \tilde{A}_{2j})$
type $j = S_j$	..	..	..	..
	C_n	$A_{n,j}$	$L_{j,n,k}$	$(L_{j,n} \cdot \tilde{A}_{nj})$

Tableau (e.3)

La fonction *solve* fournira pour chaque catégorie de demande i dans la zone k , les éléments $L_{j,i,k}$, qui représentent la quantité de sol de type j consommée par une unité de demande d'une générique catégorie de ménages ou d'emplois.

Le nombre d'éléments $L_{j,i,k}$ générés par la fonction *solve*, est égal au nombre de catégories de demande i qui consomment le type de sol j .

Dans la pratique, l'élément $L_{j,i,k}$ représente l'inverse de la densité et le rapport $(L_{j,i} \cdot \tilde{A}_{ij})$ représente la surface totale d'un type générique de sol j consommée par la catégorie de demande i dans la zone k .

Tel que défini précédemment, nous considérons la surface disponible S_j du type de sol j , alors les éléments $L_{j,i,k}$ calculés précédemment, doivent respecter la condition suivante:

$$\bullet \quad S_{j,k} = (L_{j,i} \cdot \tilde{A}_{i,j}) + \dots + (L_{j,n} \cdot \tilde{A}_{n,j}) \quad (e.4)$$

Avec $1 \leq i \leq n$ qui représente la générique catégorie de demande. En conclusion la fonction *solve* d'Excel est utilisée pour estimer les valeurs $L_{j,i}$, qui permettent de respecter la condition (e.4).

Une fois terminé cette procédure de calcul pour toutes les zones k du modèle, alors on peut procéder à l'estimation des paramètres $\max demand_{ij}$ e $\min demand_{ij}$ pour chaque catégorie de demande i et type de sol j .

Estimation of $\max demand_{ij}$ e $\min demand_{ij}$ - (Land Type j)			
Zone	Demand Category C_1	Demand Category C_2	Demand Category C_n
1	$L_{j,1,1}$	$L_{j,2,1}$	$L_{j,n,1}$
2	$L_{j,2,2}$	$L_{j,2,2}$	$L_{j,n,2}$
..	..	..	..
k	$L_{j,n,k}$	$L_{j,n,k}$	$L_{j,n,k}$

Tableau (e.5)

Pour chaque colonne, on peut procéder à calculer la valeur minimale et maximale, qui correspond donc à la première estimation des valeurs de $\max demand_{ij}$ e $\min demand_{ij}$, qui seront utilisés successivement dans la fonction de demande du logiciel de simulation *Tranus* (e.1).

- $$\begin{cases} \max demand_{ij} = L_{j,i} \max \\ \min demand_{ij} = L_{j,i} \min \end{cases} \quad (e.6)$$

Annexe II : Description du système d'équations contenu dans l'algorithme du logiciel de simulation *Tranus*.

On entend ici présenter de manière synthétique l'ensemble d'équations qui composent l'algorithme du logiciel de simulation *Tranus*. Toutes les informations présentes dans cette annexe ont été extraites du manuel mathématique du logiciel *Tranus* (Modelistica, 2013) disponible en ligne (www.tranus.com). On entend de ce fait fournir aux lecteurs des informations supplémentaires et plus spécifiques regardant le fonctionnement du logiciel de simulation et une vision complète du système d'équations qui vont à permettre de simuler dans *Tranus* l'interaction entre le transport et l'usage du sol.

La numération des équations et la description des paramètres correspondent exactement aux informations reportées dans le manuel mathématique de *Tranus*. Une partie de ces équations a été déjà illustré à l'intérieur du texte et en particulier dans la section qui regard la définition des paramètres qui composent la fonction de demande en *Tranus* et dans la section où a été traité la thématique de la calibration des modèles transport et d'usage du sol de *Tranus*.

- **Structure du modèle d'activité**

Incréments et localisation des variables exogènes

$$(1) H_i^{n,t} = H_i^{n,t-1} + \Delta H_i^{n,t}$$

$H_i^{n,t}$ variable exogène pour le secteur n , dans la zone i et dans la période t

$\Delta H_i^{n,t}$ Increment pour le secteur n , dans la zone i et dans la période t , de la variable de production exogène H

$H_i^{n,t-1}$ variable exogène pour le secteur n , dans la zone i et dans la période $t-1$

$$(2) X_i^{*n,t} = X_i^{*n,t-1} + \Delta X^{*n,t} \rho_i^{n,t} + \Delta X_i^{*n,t}$$

$X_i^{*n,t-1}$ production exogène pour le secteur n , dans la zone i et pour la période $t-1$

$\Delta X_i^{*n,t}$ Increment globale de la production exogène du secteur n , entre la période $t-1$ et t

$\Delta X^{*n,t}$ Increment donné de la production exogène du secteur n , pour la période t (défini par le modélisateur)

$\rho_i^{n,t}$ portion de l'incrément de n localisé dans la zone i pour la période t (fonction de la fonction d'attraction)

$$(3) \rho_i^{n,t} = \frac{A_i^{n,t}}{\sum_i A_i^{n,t}}$$

$A_i^{n,t}$ attracteur du secteur n , dans la zone i et pour la période t

$$(4) A_i^{n,t} = \sum_k b^{nk} (\alpha^{nk} \check{X}_i^{k,t-1} + \beta^{nk} p_i^{k,t-1} + \chi^{nk} Q_i^{k,t-1})$$

b^{nk} poids relatif du secteur k dans la fonction d'attraction du secteur n

$\check{X}_i^{k,t-1}$ production totale (exogène et induite) de K in i pour la période $t-1$

$p_i^{k,t-1}$ prix de K in i pour la période $t-1$

$Q_i^{k,t-1}$ capacité en excès (contrainte maximale – production totale) de K in i pour la période $t-1$

$\alpha^{nk} \beta^{nk} \chi^{nk}$ paramètres qui règlent l'importance de chaque élément

(Les équations 5,6 et 7 définissent les trois types d'équations que l'utilisateur peut utiliser pour définir les fonctions d'attraction)

Calcul des attracteurs pour la production induite

$$(8) A_i^{n,t} = \left(\sum_k b_k^n (\check{X}_i^{k,t-1}) \right) W_i^{n,t}$$

b^{nk} poids relatif du secteur k comme attracteur du secteur n

$\check{X}_i^{k,t-1}$ production totale (exogène et induite) du secteur K , attracteur du secteur n , in i pour la période $t-1$

$W_i^{n,t}$ attracteur initial de la zone i , qui prend en compte les éléments non modélisables, qu'attiraient la localisation de n

Génération de la demande induite

$$(9) a_i^{mn} = \min^{mn} + (\max^{mn} - \min^{mn}) * \exp(-\delta^{mn} U_i^n)$$

a_i^{mn} Quantité de production du secteur n demandée par une unité du secteur m dans la zone i

$\min^{mn}$ Quantité minimale de n demandée par une unité de production de m

$\max^{mn}$ Quantité maximale de n demandée par une unité de production de m

δ^{mn} Paramètre d'élasticité de m en relation avec le coût de l'input n

U_i^n Désutilité de consommation de n en i

$$(10) S_i^{mn} = \frac{\exp(-\delta \tilde{U}_i^{mn})}{\sum_k \exp(-\delta \tilde{U}_i^{kn})}, \forall k, n \in K^n$$

k^n lot de substituts pour n

$\tilde{U}_i^{mn}$ Utilité normalisée du modèle de substitution

$$(11) \tilde{U}_i^{mn} = \frac{a_i^{mn} \tilde{c}_i^n \omega_n^m}{[\min_k (a_i^{kn} \tilde{c}_i^n \omega_n^m)]^{\theta^n}}$$

a_i^{mn} quantité de n que le secteur m entend consommer dans la zone i

$\tilde{c}_i^n$ coût de consommation de n dans la zone i

$a_i^{mn} \tilde{c}_i^n$ rapport qui représente les dépenses

ω^{mn} facteur de pénalité

θ^m degré de normalisation

$$(12) D_i^{mn} = (X_i^{*m} + X_i^m) a_i^{mn} S_i^{nm}$$

D_i^{mn} Quantité d'input du secteur n demandé par le secteur m dans la zone i

$$(13) D_i^n = \sum_m D_i^{mn} + D_i^{*n}$$

D_i^n demande totale pour n dans la zone i

D_i^{*n} demande exogène pour n dans la zone i

Calcul des coûts de production

$$(14) c_i^m = (\sum_n D_i^{mn} \tilde{c}_i^n) + VA_i^m$$

c_i^m coût de production pour produire une unité de production de m dans la zone i

$\tilde{c}_i^n$ coût de consommation de n dans la zone i

D_i^{mn} Quantité d'input du secteur n demandé par le secteur m dans la zone i

VA_i^m valeur ajoutée à la production de m

Localisation de la production induite

$$(15) U_{ij}^n = \lambda^n (p_j^n + h_j^n) + t_{ij}^n$$

p_j^n Prix du secteur n dans la zone de production j

h_j^n Prix ombre du secteur n dans la zone de production j

t_{ij}^n désutilité de transport pour le secteur n depuis la zone de production j à la zone de consommation i

λ^n Paramètre qui règle l'importance relative des prix ou des désutilités de transport dans la fonction d'utilité

$$(16) \tilde{U}_{ij}^n = \frac{U_{ij}^n}{(\min_j U_{ij}^n)^{\theta^n}}$$

$\tilde{U}_{ij}^n$ utilité normalisée

U_{ij}^n fonction d'utilité pour le secteur n depuis la zone de production j à la zone de consommation i

θ^m degré de normalisation de la fonction d'utilité

$$(17) Pr_{ij}^n = \frac{(A_j^n)^{\alpha^n} \cdot \exp(\beta^n \tilde{U}_{ij}^n)}{\sum_j (A_j^n)^{\alpha^n} \cdot \exp(\beta^n \tilde{U}_{ij}^n)}$$

A_j^n terme attracteur pour la production du secteur n dans la zone de production j

$\tilde{U}_{ij}^n$ utilité normalisée de localisation de n dans la zone j pour satisfaire la demande dans la zone i

α^n paramètre qui règle l'importance relative de l'attracteur par opposition à la fonction d'utilité dans la localisation du secteur n

β^n Paramètre de dispersion du modèle logit multinomiale

$$(18) X_{ij}^n = D_i^n Pr_{ij}^n$$

X_{ij}^n production de n localisée dans la zone de production j , induite par les activités dans la zone de consommation i

Pr_{ij}^n probabilité que la production du secteur n , demandée dans la zone i , soit localisée dans la zone j

θ^m degré de normalisation de la fonction d'utilité

$$(19) X_j^n = \sum_i X_{ij}^n$$

X_j^n production totale induite de n assignée à la zone de production j

X_{ij}^n production de n localisée dans la zone de production j , induite par les activités dans la zone de consommation i

Calcul des coûts de consommation et des désutilités

$$(20) \tilde{c}_i^n = \frac{\sum_j X_{ij}^n (p_j^n + tm_{ij}^n)}{\sum_j X_{ij}^n}$$

X_{ij}^n quantité de production du secteur n demandée dans i et produite en j

p_j^n Prix unitaire de n dans la zone de production j

tm_{ij}^n coût monétaire de transport d'une unité de production pour le secteur n depuis la zone de production j à la zone de consommation i

$$(21) U_i^n = \frac{\ln Pg^n}{\beta^n} (\min_j U_{ij}^n)^{\theta^n}$$

U_j^n désutilité de consommation de n dans i

Pg^n série de fonction de probabilité

β^n Paramètre de dispersion du modèle logit multinomiale

$$(22) Pg^n = \sum_{j=1}^J G_j \prod_{h=1}^{j-1} (1 - G_h)$$

G_j numérateur du modèle logit de l'équation 17

$$(23) G_j = \exp(\beta \tilde{U}_{ij}^n)$$

G_j numérateur du modèle logit de l'équation 17

Contrôles des restrictions et ajustement des prix d'équilibre

$$(24) p_j^{n,t} = \begin{cases} < p_j^{n,t-1}, (X_j^{*n} + X_j^n) < Rmin_j^n \\ > p_j^{n,t-1}, (X_j^{*n} + X_j^n) > Rmax_j^n \\ = c_j^{n,t}, Rmin_j^n = 0, Rmax_j^n = \infty \end{cases}$$

$p_j^{n,t-1}$ Prix unitaire de n dans la zone de production j dans l'itération $t-1$

$p_j^{n,t}$ Prix unitaire de n dans la zone j dans l'itération courante t

$Rmin_j^n, Rmax_j^n$ Restriction minimale et maximale à la production de n j

$c_j^{n,t}$ coût de production du secteur n dans la zone j dans l'itération courante

$X_j^{*n} + X_j^n$ production totale : production exogène + production induite du secteur n

Convergence

$$(25) \begin{cases} Cp_j^{n,t} = \max_j \left| \frac{p_j^{n,t} - p_j^{n,t-1}}{p_j^{n,t-1}} \right| \\ CX_j^{n,t} = \max_j \left| \frac{X_j^{n,t} - X_j^{n,t-1}}{X_j^{n,t-1}} \right| \end{cases}$$

$Cp_j^{n,t}$ indicateur de convergence des prix

$CX_j^{n,t}$ indicateur de convergence de la production

$Rmin_j^n, Rmax_j^n$ Restriction minimale et maximale à la production de n j

$c_j^{n,t}$ coût de production du secteur n dans la zone j dans l'itération courante

$X_j^{*n} + X_j^n$ production totale : production exogène + production induite du secteur n

• Interface activités – transport

Transformation des flux économiques en catégories de transport

$$(26) F_{ij}^s = \sum_n \left(X_{ij}^n \frac{vol^{ns} pc^{ns}}{tiem^{ns}} + X_{ji}^n \frac{vol^{ns} cp^{ns}}{tiem^{ns}} \right)$$

F_{ij}^s Flux de la catégorie de demande de transport s depuis l'origine i à la destination j , in unités de transport

X_{ij}^n Production du secteur économique *transportable* n , localisé en j et consommé en i

vol^{ns} Facteur valeur du volume du flux économique n qui fait partie de la catégorie de transport s

$tiem^{ns}$ Facteur temps pour le flux économique n qui fait partie de la catégorie de transport s

cp^{ns} Proportion du flux économique qui meuve dans la direction consommation $\rightarrow$ production

pc^{ns} Proportion du flux économique qui meuve dans la direction production $\rightarrow$ consommation

• Le modèle transport

Coûts monétaires pour les usagers

$$(27) t_o^s = tp_o^s \left(tf_o + tt_o + td_o + \frac{tc_o c_o}{to_o} \right)$$

t_o^s tarif payé par le voyageur de type s à l'opérateur o

tp_o^s proportion du tarif total que le voyageur de type s paye à l'opérateur o

tf_o tarif fixe à la montée sur l'opérateur o ; si existent des tarifs intégrés, alors tf_o dépend de l'opérateur précédent

tt_o tarif relative au temps de l'opérateur o , calculée au moment que l'opérateur effectue le voyage, multiplié par un tarif par unité de temps

td_o tarif relative à la distance de l'opérateur o , calculée comme la distance effective, multiplié par un tarif par unité de distance

$\frac{tc_o c_o}{to_o}$ coût d'exploitation de l'opérateur o , c_o , multiplié par un facteur tc_o qui représente la proportion des coûts opératif à ajouter au tarif, et divisé par le taux d'occupation de l'opérateur o , to_o

Coûts d'exploitation

$$(28) c_o = cf_o + ct_o + cd_o + ch_o + ce_o$$

cf_o coût d'exploitation fixe d'un véhicule de l'opérateur o , à être appliquée que lorsque le véhicule est embarqué, qui est, une fois pour chaque voyage effectué; se réfère généralement à des coûts administratifs et au chargement/déchargement dans le cas des frets.

ct_o coût d'exploitation par unité de temps ; comprend généralement les salaires des conducteurs et les paiements de capital

cd_o coût d'exploitation par unité de distance d'un véhicule de l'opérateur o ; y compris habituellement les pneus, les pièces de rechange, l'entretien, les lubrifiants, et autres; ce coût varie selon le type de connecteurs (link)

ch_o frais payés par l'opérateur o aux administrateurs, représentant généralement les péages, le stationnement, les taxes, etc .

ce_o coût énergétique de l'opérateur o , fonction de la distance et de la vitesse

$$(29) ce_o = [ed_o^{min} + (ed_o^{max} - ed_o^{min}) * \exp(-\delta^o V_o)]pe_o$$

ce_o Coût de l'énergie par unité de distance d'un véhicule de l'opérateur o

ed_o^{min} Consommation minimale d'énergie par unité de distance quand un véhicule d'un opérateur o voyage avec une vitesse à flux libre

ed_o^{max} Consommation maximale d'énergie par unité de distance quand un véhicule d'un opérateur o voyage avec une vitesse proche à 0

V_o Vitesse d'un véhicule de l'opérateur o , après une réduction de capacité

δ^o Paramètre qui règle la pente de la courbe de consommation d'énergie

pe_o Prix par unité d'énergie

Coûts d'entretien

$$(30) cm^a = \sum_{\tau \in T^a} \sum_{l \in L^t} [mf_{\tau} * d_l^{\tau} + \sum_o ma_{\tau}^o * Ve_l^o]$$

mf_{τ} coût d'entretien fixe par unité de distance du type de link τ

d_l^{τ} distance du link l de type τ

ma_{τ}^o coût marginal d'entretien des links de type τ par véhicule de l'opérateur o

Ve_l^o nombre de véhicules de l'opérateur o déplaçant le long du link l

Construction du chemin

$$(31) c_{ijp}^{ks} = \sum_{m=1}^z RT_m^s + RD_m^s + TR_{m-1,m}^s$$

c_{ijp}^{ks} coût généralisée du chemin p depuis i à j par le mode k pour la catégorie s

RT_m^s coûts liés au temps pour la combinaison de link m (l, o), pour la catégorie de demande s

RD_m^s coûts liés à la distance pour la combinaison link m (l, o), pour la catégorie de la demande s

$TR_{m-1,m}^s$ coûts de transfert, c'est-à-dire le coût d'embarquement sur un nouvel opérateur ou itinéraire; il peut avoir lieu soit au début d'un voyage ou quand il y a un transfert, quelque part le long du trajet, p.e. lorsque $o(m-1) \neq o(m)$.

Coûts relatifs au temps

$$(32) RT_m^s = tv_m \left(tt_o + \frac{ct_o tc_o}{to_o} \right) pc_o^s + tv_m (vv^s pt_m pg_o pp_o^s), o \in m$$

RT_m^s Coût du temps pour la combinaison m opérateur/connecteur selon la perception du voyageur s
 tv_m Durée du trajet pour l'opérateur o dans le connecteur l , qui est fonction de la longueur du connecteur et de la vitesse de l'opérateur
 tt_o Prix lié au temps pour l'opérateur o
 ct_o Coût lié au temps pour l'opérateur o
 tc_o Proportion des coûts d'exploitation que l'opérateur o transfère aux usagers
 to_o Taux d'occupation pour l'opérateur o
 pc_o^s Proportion du prix payé par la catégorie s à l'opérateur o
 vv^s Valeur du temps de déplacement de la catégorie s
 pt_m Facteur de pénalité associé au type de connecteur de la combinaison $m(l,o)$
 pg_o Facteur de pénalisation associé à l'opérateur o
 pp_o^s Facteur de pénalisation associé à l'opérateur o et à la catégorie de demande de transport s

Coûts relatifs à la distance

$$(33) RD_m^s = d_l \left(td_o + \frac{cd_m tc_o}{to_o} \right) pc_o^s, l, o \in m$$

RD_m^s coûts liés à la distance pour la combinaison m opérateur/connecteur ($link$) et la catégorie s
 d_l longueur du $link$ l
 td_o tarif lié à la distance chargée par l'opérateur o
 cd_m coût d'exploitation lié à la distance de l'opérateur o dans le $link$ l
 tc_o Proportion des coûts d'exploitation que l'opérateur o transfère aux usagers
 to_o Taux d'occupation pour l'opérateur o
 pc_o^s Proportion du prix payé par la catégorie s à l'opérateur o

Coûts de transfert

$$(34) TR_m^s = \left(tf_o + \frac{cf_o tc_o}{to_o} \right) pc_o^s + te_m ve^s, o \in m$$

TR_m^s Coût de transfert pour la catégorie s à l'embarquement dans l'opérateur o dans le connecteur l
 tf_o Prix d'embarquement de l'opérateur o
 cf_o Coût d'exploitation fixe pour l'opérateur o
 tc_o Proportion des coûts d'exploitation que l'opérateur o transfère aux usagers
 to_o Taux d'occupation pour l'opérateur o
 pc_o^s Proportion du prix payé par la catégorie s à l'opérateur o
 te_m Temps d'attente d'un véhicule de l'opérateur o dans le connecteur l (seulement pour les transports en commun)
 ve^s Valeur du temps d'attente pour la catégorie s

$$(35) te_m = temin_o + \frac{1}{2f_o}, o \in m$$

te_m temps d'attente lors de l'embarquement d'un véhicule de la route ou de l'opérateur o sur le $link$ l , en supposant que le ratio demande / capacité est très faible à ce point;
 $temin_o$ temps d'attente minimum pour les véhicules de l'opérateur o en plus du temps relatif à la fréquence
 f_o fréquence de la route ou de l'opérateur o (véhicules par unité de temps)

- **Algorithme de recherche du chemin**

Niveau de choix du chemin

$$(36) P_{ijp}^{ks} = \frac{\exp(-\gamma^s \tilde{c}_{ijp}^{ks})}{\sum_p \exp(-\gamma^s \tilde{c}_{ijp}^{ks})}$$

$\tilde{c}_{ijp}^{ks}$ coût normalisé, généralisé et superposée (*overlapped*) de voyage

γ^{sn} Paramètre de dispersion du modèle logit de choix du chemin

$$(37) \tilde{c}_{ijp}^{ks} = \frac{\tilde{c}_{ijp}^{ks}}{(\min_p(\tilde{c}_{ijp}^{ks}))^{\theta^s}}$$

θ^m degré de normalisation de la fonction d'utilité

$\tilde{c}_{ijp}^{ks}$ désutilité composée de transport depuis i à j avec le mode k pour la catégorie de transport s

$$(38) \tilde{c}_{ij}^{ks} = \frac{\ln P g^n}{\gamma^k} (\min_p(\tilde{c}_{ijp}^{ks}))^{\theta^s}$$

θ^m paramètre qui règle le degré de normalisation pour la catégorie s

$$(39) P g^{ks} = \sum_p G_p \prod_{h=1}^{p-1} (1 - G_h)$$

G_p numérateur du modèle logit de l'équation 36

$$(40) G_p = \exp(\gamma^s \tilde{c}_{ijp}^{ks})$$

G_p numérateur du modèle logit de l'équation 36

Niveau de choix modal

$$(41) P_{ij}^{ks} = \frac{\exp(\tilde{c}_{ijp}^{ks} / -\lambda^s (\min_k(\tilde{c}_{ijp}^{ks}))^{\theta^s})}{\sum_k \exp(-\lambda^s (\min_k(\tilde{c}_{ijp}^{ks}))^{\theta^s})}, k \in K^s$$

P_{ij}^{ks} probabilité que les voyageurs de la catégorie s choisissent le chemin p en se déplaçant depuis i à j en utilisant le mode K

$\tilde{c}_{ij}^{ks}$ désutilité composé du mode K

λ^s Paramètre de dispersion du modèle logit de choix modale

K^s est l'ensemble des modes à disposition pour la catégorie s

$\min_k(\tilde{c}_{ij}^{ks})$ désutilité composé de le meilleur mode dans l'ensemble de choix

θ^s est le paramètre qui règle le degré de normalisation pour la catégorie s

$$(42) \tilde{c}_{ij}^s = \frac{\ln P g^n}{\lambda^s} (\min_k(\tilde{c}_{ij}^{ks}))^{\theta^s}, k \in K^s$$

$\tilde{c}_{ij}^s$ désutilité composé pour tous les voyageurs qui se déplacent depuis j à i

$$(43) P g^s = \sum_k G_k \prod_{h=1}^{k-1} (1 - G_h)$$

G_k numérateur du modèle logit de l'équation 41

$$(44) G_k = \exp(-\lambda^s \tilde{c}_{ij}^{ks})$$

G_p numérateur du modèle logit de l'équation 41

Génération des déplacements

$$(45) T_{ij}^s = F_{ij}^s [v_{min}^s + (v_{max}^s - v_{max-min}^s) * \exp(-\eta^s \tilde{c}_{ij}^s)]$$

F_{ij}^s Flux de la catégorie de transport s depuis i à j

v_{min}^s nombre minimum de déplacements par unité de flux effectués par la catégorie de transport s , quelconque valeur de désutilité composée

v_{max}^s nombre maximum de déplacements par unité de flux effectués par la catégorie s , avec la désutilité composée qui tend vers zéro

η^s Elasticité de la catégorie s en fonction de la désutilité composée

$$(46) T_{ij}^{ks} = T_{ij}^s P_{ij}^{ks} [\varphi^s + (1 - \varphi^s) B^k] \quad B^k = \begin{cases} 1 & \text{si } k \text{ est public} \\ 0 & \text{si } k \text{ n'est pas public} \end{cases}$$

T_{ij}^{ks} nombre de déplacements de la catégorie s qui choisissent le mode k

P_{ij}^{ks} probabilité que les voyageurs de la catégorie s choisissent le chemin p en se déplaçant depuis i à j en utilisant le mode K

φ^s taux de disponibilité des voitures pour la catégorie de transport s

Affectation des déplacements

$$(47) T_{ijp}^{ks} = T_{ij}^{ks} * P_{ijp}^{ks}$$

T_{ijp}^{ks} nombre de déplacements de la catégorie s qui choisissent le mode k et le chemin p

T_{ij}^{ks} nombre de déplacements de la catégorie s qui choisissent le mode k

P_{ijp}^{ks} probabilité que les voyageurs de la catégorie s choisissent le chemin p en se déplaçant depuis i à j en utilisant le mode K

φ^s taux de disponibilité des voitures pour la catégorie de transport s

$$(48) VE_l = \sum_m V_m eq_m$$

VE_l nombre de véhicules en unités équivalentes sur le *link* l

V_m nombre de véhicules circulant le long du *link* / opérateur m (l, o), en appliquant les taux d'occupation, à l'exception des routes de transports en commun

eq_m taux de voiture équivalentes par l'opérateur o et le *link* l

$$(49) f_m = \max_l \frac{T_m}{to^0}, \text{ si la fréquence n'est pas définie.}$$

f_m fréquence pour la combinaison *link* / opérateur m (l, o)

T_m demande dans la combinaison *link* / opérateur m (l, o), en unités propres (p.e. tonnes, passagers)

to^0 taux d'occupation pour l'opérateur o

$$(50) q_m = f_m * to^0$$

q_m capacité d'un opérateur ou route dans un *link*
 f_m fréquence pour la combinaison *link* / opérateur $m (l, o)$
 to^0 taux d'occupation pour l'opérateur o

$$(51) dc_m = \frac{T_m}{q_m}$$

dc_m ratio demande / capacité de chaque opérateur dans un *link*
 q_m capacité d'un opérateur ou route dans un *link*
 T_m demande dans la combinaison *link* / opérateur $m (l, o)$, en unités propres (p.e. tonnes, passagers)

$$(52) DC_l = \frac{VE_l}{Q_l}$$

DC_l ratio demande / capacité totale
 VE_l nombre de véhicules en unités équivalentes sur le *link l*
 Q_l capacité physique donnée du *link*

- **Restriction de capacité**

Ajustement de la vitesse du véhicule

$$(53) IV(l) = V(l) + Qv(l)$$

$IV(l)$ augmentation du volume dans le *link l*
 $V(l)$ volume attribué dans le *link l*
 $Qv(l)$ file d'attente des véhicules dans le *link l* en raison de la congestion en aval

$$(54) V_m^\tau = V_m^0 - sech[\rho(DC_l)^\beta]$$

V_m^τ vitesse de l'opérateur o dans le *link l* pour l'itération τ
 V_m^0 vitesse initiale (à flux libre) de l'opérateur o (itération 0) dans le *link l*
 DC_l ratio demande / capacité totale pour le *link l* ; véhicules en file d'attente ajoutées à la demande

$$(55) \rho = sech^{-1}(1 - \alpha)$$

α proportion donnée dans lequel la vitesse initiale est réduite lorsque le rapport demande / capacité est = 1

$$(56) \beta = \frac{\ln[sech^{-1}(v)/\rho]}{\ln \gamma}$$

v proportion donnée dans laquelle la vitesse initiale est réduite lorsque le rapport demande / capacité est = γ
 γ rapport demande / capacité au cours duquel la vitesse initiale est réduite à la valeur minimale v ($\gamma > 1$)

$$(57) V_m^{\tau+1} = V_m^{\tau-1} + (V_m^{\tau} - V_m^{\tau-1}) / (1 + w)$$

V_m^t vitesse de l'opérateur o dans le *link* l pour l'itération τ

V_m^{t+1} vitesse de l'opérateur o dans le *link* l pour l'itération $\tau+1$

V_m^{t-1} vitesse de l'opérateur o dans le *link* l pour l'itération $\tau-1$

w poids donné à l'itération précédente $\tau-1$

Ajustement du temps d'attente

$$(58) MW_m = CW_m$$

MW_m temps d'attente minimale pour la route o dans le *link* l

CW_m temps d'attente constante pour la route o dans le *link* l

$$(59) MW_m = CW_m + \frac{1}{2f_o}$$

f_o fréquence pour la route o

$$(60) TW_m = MW_m + \frac{\rho_m \frac{1}{f_o}}{1 - \rho_m}$$

TW_m temps d'attente totale pour la route o dans le *link* l

ρ_m rapport demande / capacité épargnée pour la route o dans le *link* l

$$(61) TW_m^{\tau+1} = \frac{TW_m^{\tau} + TW_m^{\tau-1}}{2}$$

TW_m^{τ} temps d'attente totale pour la route o dans le *link* l dans l'itération τ

Remerciements

D'abord je tiens à remercier vivement tous les membres qu'ont accepté de faire partie du jury de thèse pour leur disponibilité et professionnalité et en particulier les deux rapporteurs, les professeurs **Giovanni Rabino** et **Sebastien Teller**, pour leur lecture attentive et pour leurs observations très pertinentes et intéressantes.

Ce travail de thèse a représenté pour moi une expérience extrêmement enrichissante et intense. J'ai vécu ce doctorat comme un défi continu et comme une aventure à vivre et à porter à terme avec toutes mes forces et ma volonté. Mais j'ai envie de remercier sincèrement plusieurs personnes qui m'ont accompagné pendant ces ans et qu'ont été fondamentales pour la réussite de ce travail.

Je dois sans doute commencer par **Philippe Menerault** et **Alain L'Hostis**, lesquels ont dirigé ma thèse de manière excellente. En particulier Alain L'Hostis a été un soutien continu pendant chaque jour de ce travail de recherche, à travers sa remarquable compétence et connaissance des dynamiques liées à l'urbanisme et aux transports et grâce à sa grande capacité pédagogique, d'écoute, à son ouverture à l'échange et à la confrontation, il a été un conseiller et une guide précieuse et fondamentale. Philippe Menerault a été également une présence ponctuelle et décisive, en me donnant une grande confiance, une importante autonomie et liberté de travail, et au même temps en arrivant à stimuler et à renforcer, avec ses observations, la qualité scientifique de mon travail.

Je dois en outre remercier le co-directeur italien de cette thèse, le prof. **Demetrio Carmine Festa**, que malgré toutes les difficultés pratiques liées à la gestion d'une thèse en cotutelle, a accepté de collaborer à ce doctorat, en fournissant des pistes de recherche et des réflexions qu'ont sensiblement contribué à rendre plus riches et valides les résultats finaux.

Un remerciement particulier est à adresser à **Tomas de la Barra**, **Fanny Sánchez**, **Alejandra Padrón Luque** et à tout le staff du bureau d'étude Modelistica à Caracas, qui m'a accueilli avec une grande chaleur, gentillesse et professionnalité, pendant ma visite de recherche au Venezuela. Le support scientifique et les discussions passionnantes eues avec Tomas ont contribué certainement à la réussite du modèle, mais représentent aussi une expérience de vie à ne pas oublier.

Il faut également remercier **Brian Morton** et **Juancarlo Añez** pour leur support scientifique à ma recherche, fourni à travers leur très active et réactive présence sur le forum en ligne de Tranus. En différents termes plusieurs autres personnes ont collaboré et contribué à la réalisation de ce travail. Je dois surtout remercier **Goodarz Shafiei**, qu'a collaboré avec moi pendant son stage à l'Ifsttar, en démontrant un grand intérêt vers mes millions des données à trier et manipuler.

J'espère qu'avec Goodarz nous pourrons continuer à cultiver l'amitié née de cette expérience. Merci à **Thomas Leysens** pour la sympathie et l'ironie avec lesquelles m'a aidé à comprendre un peu mieux le monde un peu fou des doctorants. J'ai en outre vraiment apprécié la disponibilité et les échanges qu'on a eus avec **Mathieu Saujot** et **Nicolas Pupier**, deux jeunes chercheurs très compétents et valides, avec lesquels j'aimerais continuer à collaborer en futur. Merci à **Christian Trouille** pour son immense disponibilité et pour son courage à s'occuper de la relecture et de la correction orthographique d'une thèse en français écrit par un italien. Merci également à **Alessandro Vitale**, chercheur de l'Université de Calabre, pour son intérêt vers mon travail et pour l'importante bibliographie et les conseils sur la modélisation qu'il m'a fournis.

Mes remerciements vont à l'ensemble de l'équipe du laboratoire LVMT et du laboratoire TVES. J'ai eu en effet la fortune pendant cette période de recherche, de travailler dans une ambiance stimulante, professionnel et plein des personnes intéressantes, compétentes et gentilles. En particulier je dois remercier **Sophie Cambon**, **Sandrine Fournials**, **Hortense Clement** et **Sandrine Vanhoutte**, pour leur travail superbe et pour leur patience. Je souhaite en outre remercier **Nicolas Coulombel** pour ses conseils et son aide dans la conception initiale du modèle de simulation.

Je souhaite remercier chaleureusement tous mes amis qu'ils ont crus en moi et que même à distance ils ne m'ont jamais fait manquer leur soutien. Un grand merci à la ville de Lille où j'ai vécu une période magnifique et surtout à tous les amis et les personnes fantastiques que j'ai connues dans ses ans dans le Nord.

Merci à mes parents, à ma sœur, à mes grands-mères, qu'ont jamais douté de mes capacités, et ils m'ont donné toujours la confiance et la force nécessaire pour porter à terme cette expérience, même dans les moments les plus difficiles et critiques.

Enfin merci à **Yvonne**, ma copine de vie, sans laquelle rien ne serait possible. Merci pour avoir supporté tout le stress, les complications et les mille difficultés qu'il a comporté la réalisation de cette thèse. Merci pour tous tes sourires, pour avoir toujours été compréhensive et positive, et pour avoir partagé avec moi cette aventure.

Table des figures

Figure 1: Boucle de rétroaction de l'utilisation des sols et les transports. (Wegener et Furst, 1999)	27
Figure 2: Tendance des valeurs de densité de population et du réseau de transport en Londres (Levinson, 2007).	30
Figure 3: Types d'impacts de l'utilisation des terres qui devraient être considérés dans la planification des transports (Litman, 2012b).....	38
Figure 4: Les bidonvilles ou villes autonomes de Caracas (Venezuela, 2013). Un exemple d'adaptabilité ou de mauvaise planification?.....	67
Figure 5: Représentation schématisée des concepts d'accessibilité active et passive. (F. Lo Feudo 2014)	70
Figure 6: Représentation schématisée des concepts d'accessibilité intermodale et multimodale. (F. Lo Feudo 2014).....	70
Figure 7: Variation horaire de l'accessibilité entre Montpellier et Madrid en 1999 et 2001. (Bavoux, et al., 2010)	76
Figure 8: Impact sur les distances moyennes parcourues par la population qui habite à proximité des gares ferroviaires. (Litman, 2012a)	81
Figure 9: La ville piétonnière traditionnelle. (Newman et Kenworthy, 1999)	87
Figure 10: La ville basée sur les transports collectifs. (Newman et Kenworthy, 1999)	88
Figure 11: La ville automobile (Newman et Kenworthy, 1999)	88
Figure 12: Prix des carburants à la pompe en euros par litre.	91
Figure 13: Le cycle de l'auto dépendance (Heran, 2001; O.P. Dubois-Taine, 2010)	93
Figure 14: Dépense annuelle des ménages en milieu urbain et rural, dans le 2011 aux Etats Unis.	99
Figure 15: Dépense moyenne de carburant par les ménages dans les Etats Unis. (Bailey, 2007 ; Litman, 2012a)	99
Figure 16: Accident routiers per capita en fonction de l'utilisation des transports collectifs (Litman, 2004).....	100
Figure 17: Occupation de surface routière par mode de transport (Litman, 2002)	102
Figure 18: Panneau d'entrée d'un <i>woonerf</i> hollandais. (wikipedia.org).....	111
Figure 19: Images du quartier sans voiture <i>Westerpark GWL- terrein</i> dans la ville d'Amsterdam (Pays-Bas). (F. Lo Feudo, 2014)	115
Figure 20: Le modèle Nœud- Lieu. (Chorus et Bertolini, 2011)	117
Figure 21: Les échelles du TOD. (Thorne-Lyman et Wampler, 2013)	120
Figure 22: Les trois D du TOD. (Cervero et Kockelman, 2012)	123
Figure 23: Trois formes urbaines qui ont la même densité à l'îlot. (CERTU, 2010)	127
Figure 24: Le <i>Finger Plan</i> de Copenhague.....	131
Figure 25: Extension géographique et liste des acteurs porteurs du projet <i>StedenbaanPlus</i> . (www.stedenbaanplus.nl).....	132
Figure 26: Carte des exemples de TOD dans le monde. (Tan, 2012).....	134
Figure 27: Les Départements du Nord-Pas-de-Calais. (F. Lo Feudo, 2014)	146
Figure 28: Évolution du taux de chômage au Nord-Pas-De-Calais (INSEE NPDC, 2014).....	149
Figure 29: Évolution trimestrielle de l'emploi salarié des secteurs principalement marchands dans la région Nord-Pas-de-Calais (INSEE - NPDC, 2013).	150
Figure 30: Les espaces urbanisés en Nord-Pas-de-Calais en 2009. Echelle 1:750000. (F. Lo Feudo, 2014)	152

Figure 31: Les trois grandes zones d'habitat de la région (INSEE - NPDC, 2008a)	154
Figure 32: Objectifs de construction des nouveaux logements par commune, dans le cadre du PLH de Lille Métropole. (Lille Métropole, 2012)	154
Figure 33: Évolution du nombre d'immatriculations de véhicules particuliers neufs (INSEE - NPDC, 2013).....	157
Figure 34: Répartition des modes de transport (Conseil Régional NPDC, 2010)	157
Figure 35: Répartition des modes de transport en commun (Conseil Régional NPDC, 2010)	157
Figure 36: Navettes en entrée et sortie des zones d'emploi au 2005. (INSEE - NPDC, 2008).....	159
Figure 37: Le réseau routier de la région Nord-Pas-de-Calais (Conseil Régional NPDC, 2013)....	162
Figure 38: Trains TER en attente à la gare Lille Flandres.....	163
Figure 39: Etat des infrastructures ferroviaires en exploitation TER dans la région Nord-Pas-de-Calais en 2012 (Conseil Régional NPDC, 2013).....	164
Figure 40: Structuration et interconnexions en Nord-Pas-de-Calais (Fabre, 2012)	173
Figure 41: Découpage transversal de la région en 9 espaces (Fabre, 2012).	174
Figure 42: Classification des différents modèles intégrés d'usage du sol et transports.....	189
Figure 43: Modélisation classique et modélisation intégrée. (F. Lo Feudo; 2014)	190
Figure 44: Structure de type vectoriel des modèles intégrés d'usage du sol et transport (T. de la Barra, 2013).....	191
Figure 45: Structure de type matriciel des modèles intégrés d'usage du sol et transport (T. de la Barra, 2013).....	191
Figure 46: La boucle d'interaction dans <i>Tranus</i> (Pupier, 2013).....	197
Figure 47: Interaction entre les modules de <i>Tranus</i> et facteurs d'équilibre. (F. Lo Feudo; 2014)	198
Figure 48: Représentation du graph direct et du graph duale généré par <i>Tranus</i> (Modelistica, 2013).....	201
Figure 49: Le zonage du modèle (F. Lo Feudo; 2014).....	205
Figure 50: Exemple de la répartition spatio-fonctionnelle, à l'intérieur du modèle (autour des villes centre d'Arras et Valenciennes), des zones relatives au reste du territoire selon les limites des zones d'emploi. (F. Lo Feudo, 2014)	206
Figure 51: Représentation dans le modèle des zones externes au terrain d'étude.....	207
Figure 52: Capture d'écran du logiciel de modélisation <i>Tranus</i> (F. Lo Feudo; 2014).	208
Figure 53: Réseaux ferroviaires et gares régionaux du Nord-Pas-de-Calais.	209
Figure 54: Typologies des quartiers de gare retenus (Nedellec, 2010).....	210
Figure 55: Classification du réseau ferroviaire régionale selon le type de quartier gare (F. Lo Feudo; 2014).....	210
Figure 56: Les nœuds et corridors sélectionnés avec potentialité de TOD (F. Lo Feudo; 2014)..	211
Figure 57: Liste des nœuds et corridors sélectionnés avec potentialité de TOD.	211
Figure 58: Classification socio-professionnelle et par revenus annuels moyens des catégories des ménages. (F. Lo Feudo, 2014).....	212
Figure 59: Définition des catégories de transport relatifs aux différents types et motifs de déplacements. (F. Lo Feudo, 2014)	212
Figure 60: Volume de déplacements selon l'heure et le motif. (Conseil Régional NPDC, 2010) .	213
Figure 61: Matrice qui représente les transferts entre opérateurs de transports dans le modèle.	214

Figure 62: Exemples des représentations graphiques, dans le modèle, de l'offre de transport en commun dans les agglomérations urbaines de Boulogne sur Mer, Lille, Roubaix, Tourcoing et Valenciennes.	216
Figure 63: Définition des secteurs d'activités relatifs aux différents secteurs productifs de la région. (F. Lo Feudo, 2014)	217
Figure 64: Représentation graphique de différentes typologies d'usage du sol considérées dans la modélisation : le cas de la métropole lilloise. (F. Lo Feudo, 2014)	218
Figure 65: Représentation des interactions entre les secteurs d'activités, des ménages et d'usage des sols dans le modèle de simulation <i>Tranus</i> pour le Nord-Pas-de-Calais.	220
Figure 66: Exemples de fonctions de demande avec des différentes valeurs d'élasticité δ (Modelistica, 2013).	222
Figure 67: Représentation graphique et qualitative de l'application des hypothèses de densification progressive sur le site de Saint Amand les Eaux.	232
Figure 68 : Matrice des coûts de transfert entre les différentes modes de transports dans le scénario de référence au 2009, sans intégration tarifaire.....	233
Figure 69: Matrice des coûts de transfert entre les différentes modes de transports dans le scénario C au 2017, avec intégration tarifaire entre les services de bus et trains régionaux.	233
Figure 70: Les processus de modélisation. (F. Lo Feudo, 2014)	234
Figure 71 : Résultats de la calibration du modèle transport. Valeurs observés (en rouge) et calculés (en bleu) de la répartition modale entre voiture et TC.....	238
Figure 72: Sorties de <i>Tranus</i> qui démontre la convergence du modèle d'transport en considération d'un facteur de convergence de 0,001.	238
Figure 73: Occupation des trains TER en 2010 et charge du réseau par tronçon durant le service d'hiver 2010.	239
Figure 74: Sortie du modèle <i>Tranus</i> relative à la charge du réseau ferroviaire (TER en bleu et LGV en violet), dans le scénario de référence du 2009.....	239
Figure 75: Sorties de <i>Tranus</i> qui démontre la convergence du modèle d'usage du sol en considération d'un facteur de convergence de 0,001.	244
Figure 76: Évolution de la distribution des ménages au 2025 dans les trois scénarios de simulation	247
Figure 77: Évolution de la distribution des emplois au 2025 dans les trois scénarios de simulation	248
Figure 78: Évolution des prix des sols dans les scénarios A, B et C au 2025.....	249
Figure 79: Histogrammes sur l'évolution de la consommation totale des sols.	250
Figure 80: Histogrammes sur l'évolution en pourcentage de la consommation totale de sol....	250
Figure 81: Évolution de la densité des ménages.....	251
Figure 82: Évolution de la densité des emplois.	252
Figure 83: Répartition globale des ménages par catégorie socio-économique (haut, moyen et bas revenus) et des emplois par secteur d'activité.	253
Figure 84: Répartition des catégories des ménages dans les scénarios de simulation en fonction des typologies territoriales.	253
Figure 85: Répartition des catégories des ménages dans les scénarios de simulation en fonction des typologies territoriales.	254
Figure 87: Histogramme sur l'évolution du nombre des déplacements en bus et trains.	255

Figure 86 : Histogramme sur l'évolution de la répartition modale entre voiture et Transports en commun.....	255
Figure 88: Évolution en pourcentage du nombre des déplacements en voiture et en transports en commun.....	256
Figure 89: Volume des déplacements en train dans le scénario A « <i>au fil de l'eau</i> » au 2025. ...	257
Figure 90: Volume des déplacements en train dans le scénario B « <i>Plan régionale de TOD</i> » au 2025.....	257
Figure 91: Volume des déplacements en train dans le scénario C au 2025.....	257
Figure 92: Histogrammes sur la répartition modale entre voiture et transports en commun pour les zones TOD.	258
Figure 93: Carte du niveau de service du réseau routier dans le scénario de référence en 2009.	259
Figure 94: Carte du niveau de service du réseau routier dans le scénario A en 2025.	260
Figure 95: Carte du niveau de service du réseau routier dans le scénario B en 2025.	260
Figure 96: Carte du niveau de service du réseau routier dans le scénario C au 2025.	261
Figure 97: Évolution du niveau de service routier sur les tronçons de l'autoroute A25 entre Armentières et Lille et de l'autoroute A2 entre Cambrai et Valenciennes.	262
Figure 98: Histogramme sur l'évolution de la fréquentation des gares ferroviaires dans les zones urbaines du modèle.....	263
Figure 99: Histogrammes sur l'évolution de la fréquentation des gares ferroviaires dans les zones TOD du modèle.....	264
Figure 100: Réduction des émissions de CO ² en pourcentage (dans les trois scénarios de simulation), par rapport à la période de référence du 2009.....	265

Table des tableaux

Tableau 1: Facteurs et attributs de la dépendance automobile. (Victoria Transport Policy Institute, 2010).....	98
Tableau 2: Classification des paysages régionaux proposée dans l'Atlas des Paysages. (DRA - NPDC, 2005)	145
Tableau 3: Densité de population des principaux communs du Nord-Pas-de-Calais au 2009. (www.statistiques-locales.insee.fr)	147
Tableau 4: Typologies des données d'entrée dans le modèle relatives au système de transport.	215
Tableau 5: Calcul du coefficient d'occupation du sol pour typologie immobilière et typologie d'usage du sol.	220
Tableau 6: Production totale des ménages et emplois dans le scénario de base du 2009.	221
Tableau 7: Calcul des coefficients intersectoriels à travers la fonction <i>solve</i>	222
Tableau 8: Pourcentage de terrain de chaque type d'usage du sol transformée dans les différents périodes de simulations dans un autre type d'usage. (F. Lo Feudo, 2014)	231
Tableau 9: Changement des valeurs de surface pour chaque typologie d'usage du sol en fonction des différents périodes de simulation, sur le site de Saint Amand les Eaux.	232
Tableau 10: Nombre de déplacements par mode de transport motorisé. Correspondance entre valeurs observées (ERMD, 2009) et valeurs calculés avec <i>Tranus</i>	238
Tableau 11: Variance des prix d'ajustement (<i>shadow prices</i>) pour chaque secteur d'usage du sol du modèle.	243
Tableau 12: distance parcourue par mode de transport (<i>units-dist by operator ; [pass*km]</i>) et distance parcourue par véhicule de chaque mode de transport (<i>veh.dist by operator ; [km]</i>). .	264
Tableau 13: Valeur d'émission de CO ² par mode de transport fournis par le site internet <i>travelfootprint.org</i>	265

Table des équations

Équation 1: Calcul du coût d'énergie (Modelistica, 2013).	213
Équation 2: Calcul pour la conversion depuis le prix de vente par unité de surface du logement au prix de vente par unité de surface au sol.	220
Équation 3: Forme générale de la fonction de demande en <i>Tranus</i>	221
Équation 4: Équation pour la génération des déplacements dans <i>Tranus</i> (Modelistica, 2013). .	236
Équation 5: Équation pour le calcul des coûts en fonction du temps (Modelistica, 2013).	236
Équation 6: Équation pour le calcul des coûts de transfert (Modelistica, 2013).	237
Équation 7: Modèle <i>logit</i> multinomiale pour l'estimation de la probabilité de choix modale (Modelistica, 2013).	237
Équation 8: Fonction d'utilité dans <i>Tranus</i> (Modelistica, 2013).	241
Équation 9: Fonction pour le calcul de l'utilité normalisée dans <i>Tranus</i> (Modelistica, 2013).	241
Équation 10: Modèle <i>logit</i> multinomiale pour l'estimation de la probabilité de localisation (Modelistica, 2013).	241
Équation 11: Équation pour la génération de la demande induite dans <i>Tranus</i> (Modelistica, 2013).	241
Équation 12: Modèle <i>logit</i> multinomiale de substitution (Modelistica, 2013).	242
Équation 13: Désutilité normalisée présente dans le modèle de substitution (Modelistica, 2013).	242

Références bibliographiques

Ademe, 2007. Taxes vertes française parmi les moins élevées d'Europe. *Ademe et vous* n°2.

AFD, 2010. *Les interactions entre formes urbaines et transport dans la perspective d'un développement urbain soutenable*, AGENCE FRANCAISE DE DEVELOPPEMENT - Actes Table ronde des 10 et 11 juin 2010.

Allouard, J., 2014. Comment résorber les bouchons de la Métropole. *NORD-PAS DE CALAIS*, Volume 20, pp. 20-21.

Alonso, W., 1964. *Location and land use*.. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Andersson A.E., 1985. *Kreativitet: Storstadens framtid*. Stockholm: Prisma.

Anez, J., de la Barra, T. d. I. et Pérez, B., 1996. Dual graph representation of transport networks. *Transportation Research B*, 30, pp. 209-216.

Antoni, R., s.d. *Vocabulaire français de l'Art urbain*. [En ligne]
Available at: www.arturbain.fr

Appleyard, B. et Cox, L., 2006. *At home in the zone. Creating livable streets in the U.S.* s.n.

AURBA, 2010. *Outils d'articulation déplacements et urbanisme*, Agence d'urbanisme Bordeaux métropole Aquitaine.

Bailey, L., 2007. *Public Transportation and Petroleum Savings in the U.S.: Reducing Dependence on Oil*, ICF International for the American Public Transportation Association.

Balducci, A., 1991. *Disegnare il futuro. Il problema dell'efficacia nella pianificazione urbanistica*. Bologna: s.n.

Bartolini, L., Curtis, C. et Renne, J., 2009. *Transit Oriented Development. Making It Happen*. London: Ashgate.

Bavoux, J., Beaucire, F., Chapelon, L. et Zembri, P., 2010. *Géographie des transport*. Paris: Armand Colin.

Beauvais, J.-M., 2013. *Evaluation des aménagements centrés autour des gares*, PREDIT - Croupe opérationnel (GO) n°3, Mobilités dans les régions urbaines.

Becuwe, B., 2013. *Pages de Profils N°128 - L'attractivité des territoires du Nord-Pas-de-Calais Une complémentarité croissante entre espaces productifs et espaces résidentiels*, INSEE - NPDC, Service études et diffusion.

Berechman, J. et Small, K., 1988. Modelling land use and transportation: an interpretive review for growth areas.. *Environment et Planning A*, 20(10), pp. 1285-1309.

Bernard, P., 2004. L'insécurité routière risque d'aggraver l'inégalité Nord- Sud.

Berre, M. L., 1992. *Territoires*. Economica éd. Encyclopédie de Géographie - pp. 620-621.

- Bertolini, L. et Split, T., 1998. *Cities on rail*. New York: E et FN Spon.
- Bertolini, L. et Tan, W., 2010. *Barriers to Transit Oriented Developments in the Netherlands: A luxury problem?.* 24th AESOP Annual Conference. Helsinki, Finland: AESOP.
- Bettencourt, L. et al., 2007. *Growth, Innovation, Scaling, and the Peace of Life in Cities*. s.l..
- Bonnefoy, L. et al., s.d. *Formes urbaines et densité*, Métropole Savoie: Institut d'Urbanisme de Lyon.
- Bouvier, D., s.d. *GWL Terrein à Amsterdam, Les potentialités d'un quartier sans voitures*, Agence de développement et d'urbanisme de Lille métropole.
- Briquet, F. et Kasynski, M., 2013. L'EPF Nord Pas de Calas et le foncier du transport ferroviaire. Dans: *Rapport final - Tome 2: Les gares, poles d'échanges et leurs quartiers*. Lille: Laboratoire TVES E.A 4477 Université de Lille 1 Sciences et Technologies, LATCH - École nationale supérieure d'architecture et de paysage de Lille, pp. 593 - 599.
- Calthorpe, P., 1993. *The Next American Metropolis: Ecology, Community and the American Dream*. New York: Princeton Architectural Press
- Calthorpe, P. et Fulton, W., 2001. *The Regional City*. Island Press.
- Campos-Venuti, G. et Oliva, F., 1993. *Cinquant'anni di urbanistica in Italia. 1942-1992*. Bari: Laterza.
- Capello, R., 2011. Politiche di innovazione per le regioni Europee. *EyesReg*, 1(2).
- Cascetta, E., Coppola, P. et Nuzzolo, A., s.d. *Territorio, economia, logistica e trasporti, analisi e previsione della mobilità delle persone*. TEXMA T..
- Cavin, J., 2007. *LES CITÉS-JARDINS DE EBENEZER HOWARD : UNE OEUVRE CONTRE LA VILLE ?*. Institut de politiques territoriales et d'environnement humain (IPTEH), Université de Lausanne.
- Cerdà, I., 1867. *La Teoria General de l'Urbanization*. s.n.
- CERTU - CETE Direction générale de l'Urbanisme de l'Habitat et de la Construction, 2006. *les outils de l'action foncière. Au service des politiques publiques.*, s.n.
- CERTU - PST Rhône-Alpes, 2011. Mobilités et dynamiques des localisations. Où en est la modélisation ? Ecole Normale Supérieure Amphi Descartes, Lyon, 11 January 2011
- CERTU, 1996. *Review of existing land-use transport models*, s.n.
- CERTU, 2007. *Le transport à la demande dans les villes moyennes*, Centre d'Études sur les Réseaux les Transports l'Urbanisme.
- CERTU, 2008. *La zone 30*, s.n.
- CERTU, 2009. *Zones de circulation apaisée*, s.n.
- CERTU, 2010. *L'essentiel. La densité urbaine*, Département Urbanisme Habitat.

CERTU, 2012. *Fische n° 3: Le foncier ferroviaire Acteurs et modalités d'intervention*, Editions du Certu - Collection Dossiers.

Cervero, R., 1989. Jobs-housing balancing and regional mobility.. *Journal of the American Planning Association*, 55, pp. 136-150.

Cervero, R., 1998. *Transit Metropolis, a Global Inquiry*. Washington. Island Press.

Cervero, R., 2004. *Transit-Oriented Development in the United States: Experiences, Challenges, and Prospects*, Transit Cooperative Research Program - Transportation Research Board.

Cervero, R., 2006. Public transport and sustainable urbanism: global lessons. Dans: Bartolini, L., Curtis, C. and Renne, J. (2009) *Transit Oriented Development. Making it Happen*. London: Ashgate, pp. 23-35.

Cervero, R., 2011. A panorama of TOD principles and experiences. Dans: *BUFTOD 2012 Building the urban future and Transit Oriented Development Rail and other modes, connecting with urban and regional development*. Paris, 16-17 April 2012

Cervero, R. et al., 2004. *Developing around transit. Strategies and Solutions that work*. s.n.

Cervero, R. et Kockelman, K., 1997. Travel demand and the 3 Ds: density, diversity and design. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2 (3), pp.199-219.

Cervero, R. et Kockelman, K., 2012. *SHRP 2 C16 -The Effect of Smart Growth Policies on Travel Demand - Final Report*, The Strategic Highway Research Program 2, Transportation Research Board of The National Academies.

Cervero, R. et Murakami, J., 2008. *Rail + Property Development: A Model of Sustainable Transit Finance and Urbanism*. University of California, Berkeley Center for Future Urban Transport.

CETE Normandie Centre, Modèles transport-urbanisme. Fiches synthétiques. Tranus. Available from: <http://www.certu.fr/modeles-transports-urbanisme-a872.html>

Chapelon, L., 1996. Modélisation multi-échelle des réseaux de transport : vers une plus grande précision de l'accessibilité.. *Mappemonde n°3*, pp. pp. 28-36.

Charles, J. et Barton, M., 2003. *The Mythical World of Transit Oriented Development*, Cascade Policy Institute.

Chatman, D., 2012. *Does TOD need the T?*. University of California, 2013 Annual Meeting of the Transportation Research Board.

Chiaradia, A., Schwander, C., Hiller, B. et Barbes, Y., 2013. Compositional and urban form effects on residential property value patterns in Greater London. *Urban Design and Planning*, 166(DP3).

Choay, F., 2008. *Del destino della città*. Alinea éd. Firenze: édité par A. Magnaghi.

Chorus, P. et Bertolini, L., 2011. An application of the node place model to explore the spatial development dynamics. *The Journal of Transport and Land Use*. 4 (1), pp. 45-58.

Christiansen, P., Johansen, B., Andersen, J. et Eidhammer, O., 2012. Case studies: Results and synthesis - Deliverable 5.2.. Dans: *Connecting Long and Short-distance networks for Efficient Transport - CLOSER Final Report*. European Commission within the Seventh Framework Programme (2007- 2013).

CLC, 1996. *Building Livable Communities: A Policymaker's Guide to Transit Oriented Development*, Center for Livable Communities: Sacramento.

CNU, 2013. *Charter of the new urbanism*, Congress For the New Urbanism - Emily Tallen Editor.

Colavitti, A. et Usai, N., 2009. *Piano urbanistico e governance urbana*. CITTALIA - FOnazione ANCI Ricerche.

Collet, R., Madre, J. et Hivert, L., 2012. Diffusion de l'automobile en France: vers quels plafonds pour la motorisation et l'usage?. *Economie et Statistique*, Volume 457-458.

Commissariat général au développement durable, 2011. *Les comptes des transports en 2010*, Service de l'observation et des statistiques.

Commissariat général au développement durable, 2013. *Les comptes des transports en 2012*, Service de l'observation et des statistiques.

Conesa, A., 2012. TOD and Polycentricity : common goals with different results ? Lessons from multilevel accessibility measures in Lille metropolitan area. Dans: *BUFTOD 2012 Building the urban future and Transit Oriented Development Rail and other modes, connecting with urban and regional development*. Paris, 16-17 April 2012

Conseil Régional NPDC, 2009. *Directive Régionale d'aménagement sur la Maîtrise de la périurbanisation*.

Conseil Régional NPDC, 2010. Enquête régionale mobilité et déplacements 2009. Evaluation de la base régionale.

Conseil Régional NPDC, 2013a. *Schéma Régional d'Aménagement et de Développement Durable du Territoire (SRADDT)*., s.n.

Conseil Régional NPDC, 2013. *Schéma Régional des Transports et des Mobilités*, s.n.

Coppola, P. et Nuzzolo, A., s.d. *Regional accessibility and socioeconomic activities location: from empirical evidences towards a modelling framework*., Department of Civil Engineering, University of "Tor Vergata" (Rome)..

Coudroy, L., s.d. Arturo Soria (1844- 1920), urbaniste de la cité linéaire. Dans: *Les faiseurs de ville - Dictionnaire biographique*. s.n.

Coulangeon, P. et Petev, I. D., 2012. L'équipement automobile entre contrainte et distinction sociale. *Economie et Statistique*, Volume 457 - 458.

Crozet, Y., Orfeuill, J. P. et Massot, M., 2005 La mobilité urbaine en débat : cinq scénarios pour le futur ? Lyon, CERTU

CTOD, 2004. *Hidden in Plain Sight: Capturing the Demand for Housing Near Transit*, Center for Transit Oriented Development: s.n.

CTOD, 2009. *The Mixed Income Housing TOD Action Guide*, Center for Transit Oriented Development.

CTOD, 2012. *TOD 205: Families And Transit-Oriented Development - Creating Complete Communities For All*, Centre for Transit Oriented Development.

Daubaire, A. et Hublau, I., 2008. *Projections de population pour le Nord-Pas-de-Calais : stabilité régionale, essor de la métropole lilloise*, Service Études et Diffusion, Insee - Pages de Profils n° 39 .

de la Barra, T., 1989. *Integrated Land Use and Transport Modelling*. Cambridge: Cambridge University Press.

de la Barra, T., 2011. *Tranus google forum*. [En ligne]
Available at: https://groups.google.com/d/msg/tranus/B9iuiYAKmno/jczB4g_9wjQJ

de la Barra, T., 2013. *Calibration of the Land Use model in TRANUS*. [En ligne]
Available at:
[https://groups.google.com/forum/?fromgroups#!searchin/tranus/how\\$20to\\$20reduce\\$20shadow\\$20prices\\$3F/tranus/2IMLyV5o19M/9MzBHS-2AKwJ](https://groups.google.com/forum/?fromgroups#!searchin/tranus/how$20to$20reduce$20shadow$20prices$3F/tranus/2IMLyV5o19M/9MzBHS-2AKwJ)

de la Barra, T., 2013. Deep description of the land use module of TRANUS. Dans: *Training course and workshop on Tranus* - INRIA. Grenoble, 1-2 July 2013.

DEFRA, 2007. *E-digest statistics about global atmosphere*, Department of the Environment, Food and Rural Affairs.

Degorre A. et Laval N., 2013. *Pages de Profils n°137 - Contrastes sociaux et systèmes métropolitains: trajectoires économiques et transformations sociales des territoires*, INSEE - Nord Pas de Calais Service études et diffusion .

Depière, C., 2013. Pour une stratégie foncière dans les DIVAT de la communauté urbaine de Lille. Dans: *Rapport final - Tome 2: Les gares, poles d'échanges et leurs quartiers*. Lille: Laboratoire TVES E.A 4477 Université de Lille 1 Sciences et Technologies, LATCH - École nationale supérieure d'architecture et de paysage de Lille, p. 565 571.

DETR, 1999. *Review of land-use/transport interaction models*, London: s.n.

Dezetter, M., 2013. Pole d'échanges et construction métropolitaine vue de l'Arc sud. Dans: *Rapport final - Tome 2: Les gares, poles d'échanges et leurs quartiers*. Lille: Laboratoire TVES E.A 4477 Université de Lille 1 Sciences et Technologies, LATCH - École nationale supérieure d'architecture et de paysage de Lille, pp. 669 - 682.

DGESCO - IGEN, 2010. *Géographie: Aménagement, développement et prospective des territoires*, Ministère de l'éducation nationale, de la jeunesse et de la vie associative - Eduscol.

Dicken, P., 2011. *Global Shift: Mapping the Changing Contours of the World Economy*. London: SAGE Publications Ltd..

Dipartement for Transport, 2006. *Regional Spatial Strategies: Guide to producing Regional Transport Strategies*, s.n.

Dittmar, H. et Ohland, G., 2004. *The New Transit Town: Best Practices in Transit Oriented Development*. Washington. Island Press.

Domenach, F., 2009. *Coh{rence urbanisme / transports> vers de nouvelles pratiques qui refondent les relations entre acteurs du territoire*, Université Lumière Lyon 2 - École Nationale des Travaux Publics de l'Etat (ENTPE).

Dorantes, L. et Heddebaut, O., 2012. *Firmographic analysis in the previous coal mining area of Lens in the French Nord-Pas-de-Calsi Region*, s.n.

Douglas, R. P., 1997. *TCRPSynthesis - Transit-focused development: a synthesis of research and experience*. Report number: 20. Transit Cooperative Research Program. Washington, National Academic Press.

DRA - NPDC, 2005. *Atlas des paysages - Région Nord Pas de Calasi*, s.n.

Dragutescu, A. E., 2009. *A Different Perspective of Planning: Transit Oriented Development*. Universitade do Porto - Thesis.

DREAL, 2013. *L'occupation du sol en Nord Pas de Calais. Bilan et perspectives*, s.n.

DT, 2005. *Home Zones, Challenging the future of our streets*. Department for Transport.

DT, 2005. *Land-Use / Transport Interaction Models - TAG Unit 3.1.3*, London UK: s.n.

Dupuy, G., 1991. *L'urbanisme des réseaux - Théories et méthodes*. Paris: Armand Colin.

Dupuy, G., 2011. *Towards Sustainable Transport: The Challenge of Car Dependence*. John Libbey.

Dutta, P. ; Saujot, M.; Arnaud, E.; Lefèvre, B.; Prados, E., 2012. *Uncertainty Propagation and Sensitivity Analysis During Calibration of TRANUS, an Integrated Land Use and Transport Model*. Dans: ICURPT 2012 - International Conference on Urban, Regional Planning and Transportation. NH Naarden, 13-15 May 2012.

Economic Commission for Europe - UN, 2008. *Spatial Planning - Key instrument for Development and Effective Governance with Special Reference to Countries in Transition*, United Nations.

EPF NPDC, 2005. *Ateliers du Foncier, Chantier 1 Bilan Foncier du Territoire*, s.n.

European Commission, 2010. *V Report on Economic and Social Cohesion*, Brussels: s.n.

European Commission, s.d. *The EU compendium of spatial planning systems and policies*, luxembourg: Office for official Publications of the european Communities.

European Conference of Ministers of Transport, 2002. *Implementing Sustainable Urban Travel Policies*, s.n.

EUROSTAT, 2013. *Statistiques sur le transport au niveau régional*, <http://epp.eurostat.ec.europa.eu>.

Ewing, R. et Cervero, R., 2010. Travel and the built environment: a synthesis. *Journal of the American Planning Association*. 76 (3), pp. 265-294.

Fabre, J., 2012. *Pages de Profils n°113: La région Nord-Pas-de-Calais structurée autour de neuf espaces*, Service étude et diffusion - INSEE, Nord Pas de Calais.

Feriel, C., 2013. *Le piéton, la voiture et la ville, de l'opposition à la cohabitation*. s.n.

Florida, R., Gulden, T. et Mellander, C., 2007. *The Rise of the Mega Region*. Univeristy of Toronto: The Martin Prosperity Insitute - Rotman School of Management.

Forciniti, C., 2012. *La modellazione delle interazione tra il sistema territoriale e il sistema dei trasporti*. Tesi di Dottorato - Università della Calabria.

Forgione, L., 2008. *Percorsi di qualità urbana: l'esperienza dei programmi complessi*. Aracne éd. Roma: s.n.

Francini, M. et Viapiana, M., 2010. *Elementi per il governo del territorio*. Milano: Franco Angeli.

Gallez, C. et al., 2005. *Intercommunalité et transports publics en milieu urbain*. Paris, ADEME - Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie.

Gallez, C. et Kaufmann, V., 2010. La coordination urbanisme-transport vue par le local : regards croisés sur quatre agglomérations suisses et françaises. *Ville, Rail et Transports*, Volume 507, pp. 38-45.

Gallez, C., Kaufmann, V., Maksim, H. et Thébert, M., 2010. *Coordinating transportation and urban planning: from ideologies to local realities*. Darmstadt, International Conference Urban Research Association (EURA) - Understanding Cities Dynamics.

Gallez, C., Thebert, M., Vilmin, T. et Ollivier-Trigalo, M., 2011. *Habiter la ville, Accéder aux territoires*, Convention ENPC-PUCA, MAPA n°D08.20 – 0801440 - Rapport final.

Gaya, S., 2011. *Application du logiciel TRANUS au cas de Bruxells: l' évaluation des mesures d'accompagnement du futur RER de Bruxells*. s.l., Journée CERTU sur les modèles LUTI.

Gayda, S. et al., 2005. *SCATTER. Sprawling Cities And Transport: from Evaluation to Recommendations. Summary Report*, s.n.

Geerlings, H. et Stead, D., 2002. *Integrating Transport, Land Use Planning and Environment Policy in European Countries*. Erasmus University Rotterdam: Erasmus Centre for Sustainable Development and Management.

Geurs, K., Maat, K. et Rietveld, P., 2012. *Transit Oriented Development in the Randstad South Wing: goals, issues and research*. s.n.

- Geurs, K. et Wee, B. V., 2004. Accessibility evaluation of land use and transport strategies: review and research directions.. *Journal of Transport Geography*, Volume 12, pp. 127-140.
- Giuliano, G., 1995. The weakening transportation-land use connection. *ACCESS Magazine*, University of California Transportation Center, UC Berkeley. 1(6), pp. 3-11.
- Glasson, J. et Marshall, T., 2007. *Regional Planning*. s.n.
- Gordon, I., 1997. *Densities, urban form and travel behaviour*. Town and Country Planning.
- Gottman, J., 1961. *Megalopolis*. Twentieth Century Fund.
- Great Britain. Government Office for the South East, 2004. *Regional transport strategy:(chapter 9 of regional planning guidance for the South East RPG9)*, The Stationery Office: s.n.
- Grimal, R., 2012. Des mobilités plus homogènes ou plus diversifiées?. *Economie et Statistique*, Volume 457-458.
- Groux, A. et Menerault, P., 2011. Les quartiers de la gare : moteurs du renouvellement urbain. *Études Foncières*, Volume 150, pp. 31-56.
- Guet, J. F., 2011. *L'essentiel. La densité urbaine*, CERTU – Département Urbanisme Habitat.
- Hacker, R., Johansson, B. et Karlsson, C., 2004. *Emerging Market Economies in an Integrating Europe – An Introduction*. s.n.
- Hagerstrand, T., 1970. What about people in regional science? People. *People of the Regional Science Association*, Volume 24, p. 7–21.
- Hall, P., 1992. *Urban and Regional Planning*, Routledge.
- Handy, S., 2002. Agir sur l'accessibilité ou sur la mobilité ? Stratégies pour réduire la dépendance à l'égard de l'automobile aux États-Unis. Dans: *Cent vingt quatrième table ronde d'économie des transports - Politiques spatiales et transports: le rôle des incitations réglementaires et fiscales*. Paris, 7-8 November 2002.
- Handy, S., Tal, G. et Boarnet, M., 2010. Draft Policy Brief on the Impacts of Regional Network Connectivity Based on a Review of the Empirical Literature, for Reserch on Impacts of transportaon and Land Use-Related Policies, California Air Resources Board.
- Hansen, W., 1959. How accessibility shapes land use. *Journal of the American Institute of Planners*, 25, pp. 73-76.
- Harman, R., Menerault, P. et L'Hostis, A., 2008. Public transport in cities and regions - facing an uncertain future?. Dans: *Spatial Planning Systems of Britain and France, A comparative analysis*. s.n., pp. 188-205.
- Hawk, W., 2011. *Beyond the Numbers report - Expenditures of urban and rural households in 2011*, Office of Prices and Living Conditions, Consumer Expenditure Survey division.
- Heller, M., 2008. *Definitions of carfree development*, www.autofrei-wohnen.de.

- Heran, F., 2001. La réduction de la dépendance automobile. Dans: *Cahier Lillois de Sociologie*. 37.
- Hernandez, F., 2003. *Le processus de planification des déplacements urbains entre projets techniques et modèles de ville*. Thèse de doctorat en Aménagement de l'espace, urbanisme éd. Aix-Marseille 3: s.n.
- Hine, P., 2005. Transport development areas, Dans: *NovaTerra Connected Cities*. 8, pp. 8-11
- Hockenos, P., 2013. *Where 'Share the Road' Is Taken Literally*. The New York Times.
- Homocianu, G., 2009. *Modelisation de l'interaction transport-urbanisme - choix résidentiels des ménages dans l'aire urbaine de Lyon*. UNIVERSITE LUMIERE LYON 2 - LABORATOIRE D'ECONOMIE DES TRANSPORTS.
- Howard, E., 1898. *To-morrow : A Peaceful Path to Real Reform*. London, Swan Sonnenschein.
- Howard, E., 1902. *Garden Cities of Tomorrow*. London: S. Sonnenschein et Co.
- Hunt, J. D., Kriger, D. S. et Miller, E. J., 2005. Current operational urban land-use-transport modelling frameworks: A review. *Transport Reviews*, 25(3), pp. 329-376.
- INSEE - NPDC, 2008a. *Pages de Profils n°34: Caractéristiques et qualité du logement en Nord-Pas-de-Calais*, s.n.
- INSEE - NPDC, 2008. *Pages de Profils n° 44: Déplacements domicile-travail en Nord-Pas-de-Calais: Des trajets de plus en plus longs*.
- INSEE - NPDC, 2012a. *Enjeux de développement du Nord-Pas-de-Calais dans le cadre de la stratégie Europe 2020*.
- INSEE - NPDC, 2012. *Nord-Pas-de-Calais - La région et ses départements*.
- INSEE - NPDC, 2013a. *Le développement durable*, s.n.
- INSEE - NPDC, 2013. *Bilan économique 2012 Nord-Pas-de-Calais*, s.n.
- INSEE NPDC, 2014. *Informations Rapides m° 55*, s.n.
- INSEE, 2012. *Équipement automobile des ménages en 2012*.
- INSEE, 2013. *ATLAS transfrontalier édition 2012 2013: Tome 1: Démographie - Habitat*.
- Irvine, S., 2013. *Transit Oriented Development: when is a TOD not a TOD?*. Adelaide, University of South Australia.
- Johansson, B., 1993. *Ekonomisk dynamik i Europa. Nätverk för handel, kunskaps-import och innovationer*. Malmö: Liber-Hermöds.
- Johansson, B. et Karlsson, C., 2001. *Geographic Transaction Costs and Specialisation Opportunities of Small and Medium-Sized Regions: Scale Economies and Market Extension*. s.n.

Johnston, R. et de la Barra, T., 1998. Comprehensive regional modeling for long-range planning: linking integrated urban models and geographic information systems. *Transportation Research*, 34 (A), pp.125-136.

Joly, O., 1999. Recent overview of spatial accessibility indicators applied in France: 1st synthesis of the french research network contributors. Dans: *State of french art of spatial accessibility indicators*. Study Program on European Spatial Development (SPESD), SDEC - France, pp. Annexe 5, PART II.

Karlsson, C., Andersson, A. E., Cheshire, P. et Stough, R., 2007. *INNOVATION, DYNAMIC REGIONS AND REGIONAL DYNAMICS*, CESIS Electronic Working Paper Series - Paper No. 89.

Kaufmann, V., Sager, F., Ferrari, Y. et Joye, D., 2003. *Coordonner Transports et Urbanisme*. Science, Technique, Société éd. Lausanne: Presses polytechniques et universitaires romandes.

King, D., 2011. Developing densely. Estimating the effect of subway growth on New York City land uses. *The Journal of Transport and Land Use*, 4(2), pp. 19-32.

Kitamura, R., Mokhtarian, P. et Laidet, L., 1997. A micro-analysis of land use and travel in. *Transportation* 24, pp. 125-158.

Lefèvre, B., 2009. Long-term energy consumptions of urban transportation: A prospective simulation of "transport-land uses" policies in Bangalore. *Energy Policy*. 37 (3), pp. 940-953

Leite, T., Leiren, M. et Osland, O., 2008. *Institutions for sustainable land use and transport*. Oslo: Association for European Transport and contributors.

LeNéchet, F., 2012. Urban spatial structure, daily mobility and energy consumption: a study of 34 European cities -Consommation d'énergie et mobilité quotidienne selon la configuration des densités dans 34 villes européennes. *Cybergeo: European Journal of Geography - Systèmes, Modélisation, Géostatistiques*, Issue 580.

Leontief W., 1936. Quantitative input and output relations in the economic system of the United States. *The Review of Economic Statistics*, 18(3), pp. 105 - 125.

Leontief, W., 1941. *The Structure on the American Economy 1919-1939*. New York: Oxford University Press.

Leurent F., 2012. Les modèles d'usage du sol et transport. où la géographie et l'économie se rejoignent. Dans : *Modélisation urbaine : de la représentation au projet*. Commissariat Général au Développement Durable - Direction de la recherche et de l'innovation. pp. 156

Levinson, D., 2007. Density and Dispersion: The Co-Development of Land use and Rail in London. *Journal of Economic Geography*. 8 (1), pp.55-77.

Leysens, T., 2011. *Reconfiguration des réseaux de transport et renouveau urbain : l'enjeu d'un urbanisme orienté vers le rail*. PhD Thesis - Université Lille1 - Sciences et Technologies.

L'Hostis, A., 2009. Concevoir la ville à partir des gares. Report: *Projet Bahn.Ville 2 sur un urbanisme orienté vers le rail*. Available from: www.bahn-ville2.fr/

L'Hostis, A., Colloque MSFS, PACTE Grenoble 24 - 25 Mars 2011. *Les transports du polycentrisme européen, une analyse par la contactabilité entre métropoles.*

L'Hostis, A. et Conesa, A., 2008. Définir l'accessibilité intermodale. In: Banos A. and Thévenin T., *Systèmes de Transport Urbain Hermès – Lavoisier.* pp. 24

L'Hostis, A. et Leysens, T., 2013. Du regard croisé sur les transports et le foncier aux projets de renouvellement urbain dans le projet Bahn Ville. Dans: *Rapport final - Tome 2: Les gares, poles d'échanges et leurs quartiers*. Lille: Laboratoire TVES E.A 4477 Université de Lille 1 Sciences et Technologies, LATCH - École nationale supérieure d'architecture et de paysage de Lille, pp. 601 - 610.

L'Hostis, A. et Liu, L., 2014. *Characterizing TOD in a French context: an investigation on two cases in Lille metropolitan area (LMCU).* Munich, mobil.TUM 2014.

Lille Métropole, 2011. Les déplacements domicile-travail dans l'aire métropolitaine de Lille. *Métroscot n°2.*

Lille Métropole, 2012. *Programme Local de l'Habitat 2012/2018,* s.n.

Litman, T., 2002. The costs of automobile dependency and the benefits of balanced transportation. Victoria. Victoria Transport Policy Institute.

Litman, T., 2003. Reinventing Transportation. Victoria Transportation Policy Institute.

Litman, T., 2004. Rail Transit in America: Comprehensive Evaluation of Benefits. Victoria Transport Policy Institute.

Litman, T., 2010. Accessibility, mobility and automobile dependency. Victoria Transport Policy Institute.

Litman, T., 2012a. Evaluating Transportation Land Use Impacts - Considering the Impacts, Benefits and Costs of Different Land Use Development Patterns. Victoria Transport Policy Institute.

Litman, T., 2012b. Land use impacts on transport - How land use factors affects travel behavior. Victoria. Victoria Transport Policy Institute.

Litman, T., 2013. The New Transportation Planning Paradigm. *ITE Journal.*

Litman, T., 2013. Affordable-Accessible Housing In A Dynamic City, Victoria Transport Policy Institute.

Litman, T. et Laube, F., 2002. *Automobile Dependency and Economic Development.*

Litman, T., 2003. Measuring Transportation: Traffic, Mobility and Accessibility. *ITE Journal*, 73, pp. 28-32.

Lo Feudo, F. et Festa, C., 2012. *A Tram-Train System To Connect The Urban area Of Cosenza To His Province: A Simulation Model Of Transport Demand Modal Split And A Territorial Analysis To Identify Adapted Transit Oriented Development Prospectives..* s.n.

- Lowry, I., 1964. A Model of Metropolis. Santa Monica. The Rand Corporation.
- Lynch, K., 1976. L'image de la cité. Dunod.
- Mackett, R., 1994. *The Use of Land Use Transportation Models for Policy Analysis*, Transport Research Board.
- Magnaghi, A., 2014. La Biorégion Urbaine. Petit traité sur le territoire bien commun. Rhizome éd. Paris: Eterotopia France.
- Mangin, D., 2004. La Ville Franchisée: Formes et Structures de la Ville Contemporaine. *Paris. Editions de La Villette*.
- Mangin, D., 2005. *Pour une ville passante et métisse*. Paris, Séminaire Vies Collectives - École de Paris.
- Maquet, P. et Rodriguez, P., 2012. *Pages de Profils n°99: Recensement 2009 : En 10 ans, la population régionale a augmenté de 37300 personnes*, Services études et diffusion INSEE - NPDC.
- Martouzet, D., 1993. *Recherche du fondement de l'éthique de l'aménagement*. Thèse : Aménagement de l'Espace et Urbanisme.
- Massot, M.H., Armoogum, J. et Hivert, L., 2002. *Etude de faisabilité d'un système de transport radicalement différent pour la zone dense francilienne*, Collection de l'INRETS, Rapport INRETS n°243, Arcueil, France, 198 p.
- Massot, M. et Orfeuill, J., 2007. La contrainte énergétique doit-elle regular la ville ou les véhicules? Mobilités urbaines et réalisme écologique. *Annales de la recherche urbaine n°103*.
- Massot M.H., Orfeuill, J. et Korsu, E., 2013. Ville et mobilité cohérentes. Dans: G. Brun, éd. *Ville et mobilité, nouveaux regards*. Paris: Méthodes et approches. Economica., pp. 101-114.
- Mathieux, A. et Heddebaut, O., 2012. *Crossing innovative transport services possibilities with differentiated spatial areas and transport needs*. BUFTOD 2012 - PARIS.
- Maupu, J., 2006. *La ville creuse pour un urbanisme durable: Nouvel agencement des*. l'Harmattan.
- McFadden, D., 1973. Conditional logit analysis of qualitative choice behaviour. *Frontiers in Econometrics - Academic Press New York*. pp. 105-142
- Meissonnier, J., 2011. *Pour un accès aux ressources urbaines plus équitables: la piste du covoiturage dynamique sur le territoire d'un PRU*. Colloque MSFS, PACTE Grenoble 24-25 Mars 2011.
- Melia, S., 2009. Potential for car-free development in the UK. *ICE - Urban Design and Planning*. 166 (2) pp. 136 –145
- Melia, S. et Field, S., *Carfree, low car, what's the difference?*, Univeristy of the West of England.

- Melia, S., Parkhurst, G. et Barton, H., 2011. The paradox of in-tensification. *Transport Policy*, 18(1), pp. 46-52.
- Menerault, P., 2013a. POPSU Gares à Lille: mode d'emploi. Présentation et analyse d'un dispositif de recherche-action et son fonctionnement local. Dans: *Rapport final - Tome 2: Les gares, poles d'échanges et leurs quartiers*. Lille: Laboratoire TVES E.A 4477 Université de Lille 1 Sciences et Technologies, LATCH - École nationale supérieure d'architecture et de paysage de Lille, pp. 449 - 453.
- Menerault, P., 2013. Nouvelle vague: rechercher sur les gares lilloises et perspectives. Dans: *Rapport final - Tome 2: Les gares, poles d'échanges et leurs quartiers*. Lille: Laboratoire TVES E.A 4477 Université de Lille 1 Sciences et Technologies, LATCH - École nationale supérieure d'architecture et de paysage de Lille, pp. 457 - 477.
- Mercurio, R., 2003. La competizione nei servizi di trasporto pubblico locale e regionale. Dans: *Le agenzie di mobilità: assetto e processi organizzativi - Agenzie di gestione, agenzie esecutive e agenzie di supporto nei sistemi di trasporto pubblico locale*. CESIT, pp. 13-16.
- Michel, S., 1932. *La notion thomiste du bien commun. Quelques-unes de ses applications juridiques*. Vrin.
- Mille, M., 2000. *Les Temporalités quotidiennes urbaines*. Thèse en géographie. Université de Sciences et Technologie de Lille 1.
- Mills, E., 1972. *Studies in the structure of the urban economy*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Ministère des Affaires Étrangères, 2006. *La politique d'aménagement et de développement durable du territoire en France*, Direction générale de la coopération internationale et du développement.
- Ministero dello Sviluppo Economico, 2011. *Rapporto 2011 sulla Programmazione Negoziata: Contratti di Programma, Patti Territoriali e Contratti d'Area*, Dipartimento per lo sviluppo e la coesione economica.
- Modelistica, 2011. A guide to the application of the TRANUS modeling system to the city of Swindon, UK. Available from: www.modelistica.com..
- Modelistica, 2013. Mathematical description of Transus. Available from: www.modelistica.com.
- Moine, A., 2005. *Le territoire comme un système complexe. Des outils pour l'aménagement et la géographie*. s.l., Septième Rencontres de Théo Quant.
- Morelli, R., 2012. *Urbanisme de Projet: Acteurs et Outils d'un processus en évolution*, École Nationale Supérieure d'Architecture de Paris Val-de-Seine.
- NCHRP, 2002. *REPORT 466: Desk Reference for Estimating the Indirect Effects of Proposed Transportation Projects*. Washington D.C., National Academy Press.

Néchet, F. L., 2011. *Approche multiscalaire des liens entre mobilité quotidienne, morphologie et soutenabilité des métropoles européennes. Cas de Paris et de la région Rhin-Ruhr.* Paris: Thèse en aménagement de l'espace et de l'urbanisme - Université PARIS-EST - ÉCOLE DOCTORALE VILLE TRANSPORTS ET TERRITOIRES.

Nedellec, M., 2010. L'urbanisation des quartiers de gare en Région Nord-Pas de Calais, Université des Sciences et Technologies - Lille 1.

Newman, P. et Kenworthy, J., 1989. *Cities and Automobile Dependence*. London: Heinemann..

Newman, P. et Kenworthy, J., 1999. *Sustainability and Cities: Overcoming Automobile Dependence*. Washington. Island Press.

Newman, P. et Kenworthy, J., 2006. Urban Design to Reduce Automobile. *Opolis: An International Journal of*, 2(1).

Newman, P. et Kenworthy, J., 2010. *The Ten Myths of Automobile Dependence*. World Transport Policy et Practice.

Nguyen-Luong, D., 2012. Les modèles transport-urbanisme: de la théorie à la pratique.. *Transports*, Volume 474, pp. 14-19.

Niles, J. et Nelson, D., 1999. *MEASURING THE SUCCESS OF TRANSIT ORIENTED DEVELOPMENT. Retail Market Dynamics and Other Key Determinants*. s.n.

Nord Eclair, 2013. Lille-Hénin en RER en 21 minutes pour 2025?. *Nord Eclair*, p. 22.

Nuzzolo, A., 2007. *Interazione trasporti-territorio - Inquadramento generale e applicazioni*, Rence (CS): University of TOR VERGATA - Departement of Civil Engineering.

Nuzzolo, A., 2012. *Politiche della Mobilità e Qualità delle Aree Urbane*. Napoli. Guida Editore.

Nuzzolo, A. et Coppola, P., 2005. *S.T.I.T.; A system of mathematical models for the simulation of land-use and tranport interaction*. Strasbourg.

OCDE, s.d. *Investissements en infrastructure de transport et développement régional*. Organisation de Coopération et de développement économiques.

ODPM, 2003. *Making the connections : final report on transport and social exclusion*, Office of the Deputy Prime Minister, Social Exclusion Unit.

Offner, J., 1993. Les « effets structurants » du transport : mythe politique, mystification scientifique. *Espace géographique*, 22(22-3), pp. 233 - 242.

Offner, J., 2010. *L'urbaniste? Un ajusteur de distances - Urbanisme5 (372): 56-57*. s.n.

O.P. Dubois-Taine, 2010. Les nouvelles mobilités. Adapter l'automobile aux modes de vie de demain. La note de synthèse – Développement Durable. *France - Centre d'Analyse Stratégique*. 202

Organisation mondiale de la Santé, 2013. *10 faits sur la sécurité routière dans le monde*, <http://www.who.int>.

Panettoni, M., 2013. *Indagine conoscitiva sul trasporto pubblico locale*, Roma: IX Commissione trasporti, poste e telecomunicazioni della Camera dei Deputati.

Papa, E., 2009. Governo integrato trasporti-territorio: Transit Oriented Development in Europa e nell'area metropolitana di Napoli. In: *Borri D. Ferlaino F. (2009) Crescita e sviluppo regionale: strumenti, sistemi, azioni. Milano. Franco Angeli.*

Paquet, T., 2007. *La Folie des hauteurs. Pourquoi s'obstiner à construire des tours?*. Bourin éditeur.

Paquot, T., 2010. *L'urbanisme c'est notre affaire*. Nantes: L'Atlante.

Pélegrin-Genel, E., 2009. *Faire rimer densité urbaine, qualité de la ville et attentes des habitants*.

Pharoah, T. et Apel, D., 1995. *Transport Concepts in European Cities*. Aldershot: Ashgate.

Pinson, G., 2006. « Projets de ville et gouvernance urbaine ». Pluralisation des espaces politiques et recomposition d'une capacité d'action dans les villes européennes. *Revue française de science politique*, Volume 56, pp. 619-651.

Plassard, F., 1976. *Les Autoroutes et le développement régional*. Economica/Presses Universitaires de Lyon.

Plassard, F., 1991. La Révolution T.G.V. Dans: *In TGV et aménagement du territoire: un enjeu majeur pour le développement local*. Paris: Syros/alternatives, p. 153.

Porter, D., 2004. Developing around transit. Strategies and Solutions that work.

Porter, D., 2004. *Developing around transit. Strategies and Solutions that work*.

Pouyanne, G., 2004. *Des avantages comparatif de la ville compacte à l'interaction forme urbaine-mobilité. Méthodologie et premieres resultats*.

Prezioso, M., 2013. Diversità territoriale: quale "evidenza" per la strategia Europa 2020. *EyesReg*, 3(2).

Pupier, N., 2013. *Construction and calibration of a land-use and transport interaction model of a brazilian city*.

Rayle, L., 2008. *Tracing the effects of transportation and land use policies: A review of the evidence*, MIT Portugal Program -Transportation Systems Focus Area.

RCEP - Royal Commission on Environmental Pollution, 2007 . *The Urban Environment*, Royal Commission on Environmental Pollution, The Stationery Office. .

Reggiani, A., 1998. *Accessibility, trade and locaton behaviour*. Ashgate Alderscot.

- Région NPDC, 2012. *Cahier technique n°1 - Schéma Régional du climat, de l'air et de l'énergie*, s.n.
- Reichert, A., 2011. *Annalise Reichert, The Wonderful World of Woonerfs!*. s.n.
- Richardson, H., 1969. *Regional Economics*. London: Weidenfield et Nicholson.
- Richer, C., 2013. L'urbanisation autour des gares permet-elle de limiter l'étalement urbain? Enseignements de l'Atelier Certu "Valorisation foncière des gares TER".. Dans: *Rapport final - Tome 2: Les gares, poles d'échanges et leurs quartiers*. Lille: Laboratoire TVES E.A 4477 Université de Lille 1 Sciences et Technologies, LATCH - École nationale supérieure d'architecture et de paysage de Lille, pp. 629 - 636.
- Richer, C. et Palmier, P., 2011. *Mesurer l'accessibilité du territoire en transport collectif. Application aux poles d'excellence de l'aire métropolitaine lilloise*. Colloque MSFS, PACTE Grenoble 24-25 Mars 2011.
- Rietveld, P. et Stough, R., 2004. Institutions, regulations and sustainable transport: a cross - national perspective. *Transport Reviews: A Transnational Transdisciplinary Journal*. 24 (6), pp. 707-719.
- Robert, C., 2009. Le covoiturage dynamique. Etude préalable avant expérimentation. *CERTU - Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques*. Available from: <http://lara.inist.fr/handle/2332/1463>
- Robert, M., 2005. *Pour en finir avec la société de l'automobile*. Car Free France.
- Rojas, C., 2012. Three Ways to Put Equity into TOD. 24 April. Available from: <http://www.livingcities.org>
- Rojas, C., 2012. *Equitable TOD: Meeting the Needs of People et Places*. <http://www.livingcities.org>.
- SACOG, 2008. *Impact of Gas Prices on Travel Behaviour*, Sacramento Area Council of Governments.
- Salas-Olmedo, H., 2008. *Spatial and Transport Planning Integrated Policies: Guidelines for Northwest Spain*. Transport Studies Unit Oxford University Centre for the Environment.
- Scheurer, J., 2001. *Urban Ecology, Innovations in Housing Policy and the Future of Cities: Towards Sustainability in Neighbourhood Communities*. s.n.
- Schmitt, G. et Groux, A., 2013. Les transports en commun dans le discours et les stratégies des intermédiaires sur les marchés fonciers et immobiliers de la métropole lilloise. Dans: *Rapport final - Tome 2: Les gares, poles d'échanges et leurs quartiers*. Lille: Laboratoire TVES E.A 4477 Université de Lille 1 Sciences et Technologies, LATCH - École nationale supérieure d'architecture et de paysage de Lille, pp. 695 - 707.
- Schneider, J., 2012. *Describing and Illustrating the Extended Transit-Oriented Development (E-TOD) Concept*. s.n.

- Semboloni, F., 2013. Le leggi urbanistiche regionali e il governo delle dinamiche territoriali. *EyesReg*, 3(3).
- Serio, A., Lazzare, S. D. et Martinez, M., 2011. *Treno – regole, rete e servizi per i cittadini : un’utopia ?*. Roma.
- SIGALE NPDC, 2010. *Etat d'avancement des projets ferroviaires CPER 2007-2013*, s.n.
- Simmonds, D., 1994. The 'martin centre model' in practice: strenghts and weakness. *Env. and Planning B*, pp. 619-628.
- Soria y Mata, A., 1894. *Conferencia dada en el Ateneo Científico y Literario de Madrid por D. Arturo Soria y Mata el día 14 de mayo de 1894 acerca de la nueva arquitectura de las ciudades*. Establecimiento Tipográfico Sucesores de Rivadeneyra.
- Stathopoulos, N., 1994. Effets de réseau et déséquilibres territoriaux dans la structure de l'offre ferroviaire à Paris.. *Flux n°18*, pp. pp. 17-32.
- Stewart, D., 2000. L'Ouest américain menacé par le béton.
- Still, B., 1995. Transport impacts on land use: towards a pratical understanding for urban policy kaking - Introduction and research plan. Working Paper. Institute for Transport Studies University of Leeds – UK.
- Stojanovski, T. , 2012. *Tram and light railway as key driver for sustainable urban development: the Swedish experiences with transit-oriented development (TOD)*. s.l., BUFTOD 2012 - PARIS.
- Studio Roosegaarde, 2012. *Smart Highway*, www.studioroosegaarde.net.
- Sujot, M., 2013. *Planifier la ville bas carbone. Le modèle Transus comme support de l'analyse économique des politiques climatiques*. s.l., IDDRI - Institut du développement durable et des relations internationales.
- Sung, H., Kim, T., et Shin, Y., 2012. *How Does Rail Transit Ridership Vary by Differentiating the Distance-Based Influence Area with TOD Planning Factors? Findings from the Case Study of the Seoul City*. s.n.
- Tan, W., 2012. *Understanding successful implementation of transit-oriented development: initial findings from the cases of Perth, Portland and Vancouver*. s.n.
- Thompson, L., 2010. *A vision for railways in 2050*, OECD - Internation Transport Forum - Transport and Innovation, Unleashing the Potential.
- Thorne-Lyman, A. et Wampler, E., 2013. *TOD 203: Transit Corridors and TOD*, CTOD - Center for Transit-Oriented Development.
- Timmermans, H., 2003. *The Saga of Integrated Land Use-Transport Modeling: How Many More Dreams Before We Wake Up?*. Lucerne, 10th International Conference on Travel Behaviour Research.

- Toubin, M. et al., 2012. La Résilience urbaine : un nouveau concept opérationnel vecteur de durabilité urbaine ?. 3(1).
- Tucciarelli, M., 2009. *Assetto territoriale e sistema dei trasporti: modellazione delle scelte di mobilità. Tesi di Laurea Specialistica*. Università della Calabria - UNICAL.
- Urry, J., 2002. Mobility and proximity. *Sociology* 36 (2), pp. 255 - 274.
- Urry, J., 2003. Automobility, car culture and weightless travel: a discussion paper. Department of Sociology, Lancaster University. Available from: <http://www.comp.lancs.ac.uk/sociology/papers/Urry-Automobility.pdf>
- Van der Poorten, S. et Nedellec, M., 2013. Outil-observation pour une stratégie foncière régionale autour des gares. Dans: *Rapport final - Tome 2: Les gares, poles d'échanges et leurs quartiers*. Lille: Laboratoire TVES E.A 4477 Université de Lille 1 Sciences et Technologies, LATCH - École nationale supérieure d'architecture et de paysage de Lille, pp. 573 - 581.
- Veillard, V. L. E., 2013. RFF et les Schémas Directeurs du Patrimoine Ferroviaire: enjeux et applications à Lille-métropole et dans la région Nord-Pas-de-Calais/Picardie. Dans: *Rapport final - Tome 2: Les gares, poles d'échanges et leurs quartiers*. Laboratoire TVES E.A 4477 Université de Lille 1 Sciences et Technologies, LATCH - École nationale supérieure d'architecture et de paysage de Lille, pp. 583 - 591.
- Vessali, K. V., 1996. Land Use Impacts of Rapid Transit: A Review of the Empirical Literature. *Berkeley Planning Journal, Department of City and Regional Planning, UC Berkeley*, Issue Berkeley Planning Journal, 11(1).
- Von Thunen, J., 1826. *Der Isolierte Staat in Beziehung auf Landwirtschaft und Nationalökonomie*. Hamburg: s.n.
- VTPI, 2008. *Online TDM Encyclopedia*. Victoria Transport Policy Institute
- VTPI, 2010. Automobile dependency - Transportation and land use patterns that cause high levels of automobile use and reduces transport options. Victoria: Victoria Transport Policy Institute - Online TDM Encyclopedia. Available from: <http://www.vtpi.org/tdm/>.
- Waddell, P., 2002. UrbanSim, modeling urban development for land use, transportation, and environmental planning. *Journal of the American Planning Association*, 68, pp. 297-314.
- Warren, R., 1998. *The urban oasis: Guideways and Greenways in the Human Environment*.
- Wegener, M., 1995. Operational urban models: State of the art. *Journal of the American Planning Association*. 60 (1), pp.17-29.
- Wegener, M., 2004. Overview of land-use transport models. In: Hensher A. and Button K. (2004) *Transport Geography and Spatial - Handbook 5 of the Handbook in Transport*. Kidlington, Pergamon/Elsevier Science.
- Wegener, M., 2010. *Overview of land-use transport models*. s.n.

Wegener, M. et Fürst, F., 1999. Land Use Transport Interaction: State of the Art. Deliverable 2a of the project TRANSLAND (Integration of Transport and Land Use Planning) of the 4th RTD Framework Programme of the European Commission.

Wilson, A., 1970. Entropy in Urban and Regional Modelling. London: Pion.

Wilson, A., 1974. Urban and Regional Models in Geography and Planning. Bristol. John Wiley & Sons.

Wilson, A., 1997. Land-use/Transport Interaction Models. Past and Future. Journal of Transport Economics and Policy. 32 (1)

Wingo, L., 1961. *Transportation and urban land*. Ressource for the future, Inc. Washington D.C..

Wulfhorst, G., 2005. *Transformes - Regional Strategies and Local implementation in Integrated Land-Use and Transport Planning*. Association for European Transport and contributors.

Wulfhorst, G., 2011. Bahn.Ville meets TOD - Synthesis. In: *BUFTOD 2012 Building the urban future and Transit Oriented Development Rail and other modes, connecting with urban and regional development*. Paris, 16-17 April 2012.

Wulfhorst, G., L'Hostis, A. et Puccio, B., 2007. Urbanisme et transport dans le régions urbaines. *Recherche - Transports - Sécurité*, Janvier-Mars, Volume 94, pp. 11-26.

Zahavi, Y., 1974. Travel time budget and mobility in urban areas. Report: *United States Department of Transportation. Washington DC. Federal Highway Administration*.

Zhao, F. et Chung, S., 2006. *A study of Alternative Land Use Forecasting Models*, Miami (Florida): Lehman Center for Transportation Research, Departement of Civil and Environmental Engineering, Florida International University.

Zooneveld, W. et Ortuno Padilla, A., 2012. TOD Implementation possibilities in Alicante province and Murcia region (Spain) according to stedenbaan experience (Netherlands). In: *BUFTOD 2012 Building the urban future and Transit Oriented Development Rail and other modes, connecting with urban and regional development*. Paris, 16-17 April 2012.

Dans cette thèse sera traité le thème de l'intégration et de l'articulation entre urbanisme et transport, avec le but d'évaluer et étudier le sens de l'application d'un plan régional de Transit Oriented Development (TOD) ou d'urbanisme des transports en commun en Nord-Pas-de-Calais. À cet égard a été fait le choix d'utiliser l'outil de la modélisation intégrée d'usage du sol et transport et notamment le logiciel de simulation Tranus, pour implémenter un modèle de simulation capable de répondre aux plusieurs questionnements à la base de cette recherche. On propose dans ce texte une perspective intégrée, inclusive et interactive sur les problématiques et les enjeux qui concernent les politiques d'usage du sol et des transports à l'échelle d'une région. Selon une approche multidisciplinaire et multi-échelle, qui suit les principes d'interdépendances entre les nombreux éléments du territoire, que l'on retrouve dans l'urbanisme des réseaux. Il s'agit d'aborder les thématiques de la mobilité et des transports, selon un nouveau paradigme, basé sur les concepts d'accessibilité, de connectivité et de multimodalité et donc selon l'idée de concevoir un urbanisme et un développement non plus auto-centré, mais orientés vers l'usage des transports en commun et des modes de transport non motorisés.

L'intention est donc de proposer des trajectoires de développement alternatives et innovantes et des réflexions de type stratégique et opérationnel, en réponse aux principaux enjeux et problématiques qui actuellement touchent le terrain d'étude. Dans un contexte général européen mais aussi global, de conjoncture économique et financière très difficile et de crise énergétique, environnementale et sociale, la région Nord-Pas-de-Calais est en effet particulièrement affectée par une artificialisation excessive de ses territoires et donc par un phénomène incessant d'étalement et de fragmentation de son tissu urbain.

Pour comprendre si l'application d'un plan régional de TOD pourrait contribuer à limiter le phénomène d'étalement urbain et à augmenter le niveau d'utilisation des services de transport en commun dans la région, les MUST apparaissent donc les outils les plus adaptés. Il s'agit cependant de questionnements qu'ont été inspirés par les recommandations et préconisations sur le développement futur, contenus dans les plus importants documents de planification stratégique et d'aménagement du Nord-Pas-de-Calais.

Cette recherche s'avère également intéressante du point de vue scientifique, en raison du fait qu'actuellement il existe très peu d'exemples de travaux de modélisation intégrée d'usage du sol et transport à l'échelle régionale et très peu aussi qui visent à évaluer l'applicabilité et les effets d'une intervention de TOD sur l'ensemble d'un territoire régional. Le texte est donc structuré de manière à donner d'abord un regard théorique d'ensemble sur les multiples aspects et les niveaux de complexité qui résident dans le concept d'articulation entre urbanisme et transport, pour ensuite aborder de façon plus spécifique le sujet de la modélisation et enfin d'analyser les résultats du modèle mis en œuvre dans le cadre de cette recherche. La thèse s'inscrit dans le cadre d'un travail de recherche doctorale en aménagement et transport, déroulé à l'Université des Sciences et Technologies de Lille 1 à travers une cotutelle entre le Laboratoire Ville Mobilité et Transport (LVMT – IFSTTAR) et l'Université de Calabre (Italie) et une collaboration scientifique avec le bureau d'étude d'ingénierie Vénézuélien Modelistica.