

CHAPITRE V - ESTIMATION DES EMISSIONS DE CO₂ SUIVANT DES SCENARIOS D'AMENAGEMENT¹

1. INTRODUCTION

Sur le long terme, la politique d'aménagement du territoire constitue un outil privilégié de maîtrise de la demande de déplacements et des émissions de gaz à effets de serre. En effet, les implantations des industries, des services et des résidences conditionnent grandement la demande de transport, tant d'ailleurs en termes de distance parcourue qu'en termes de mode utilisé, et de là, conditionnent les quantités de CO₂ émises.

L'élaboration de scénarios d'aménagement en vue de l'estimation des émissions en CO₂ se recadre dans la suite de l'étude CPDT complémentaire menée lors de la subvention précédente².

En lien avec le thème 3.1 portant sur le renouvellement urbain, l'objectif est ici de montrer quantitativement l'intérêt d'adopter une politique d'aménagement du territoire volontariste (du point de vue des densités, de la mixité urbaine, du renouvellement urbain, du développement de quartiers bien accessibles...) dans le cadre de la lutte contre l'effet de serre. Cet objectif sera atteint par l'établissement d'un modèle calculant la valeur des émissions de CO₂ dans différents scénarios d'aménagement du territoire (voir ci-dessous), en prolongement des travaux du Thème 1 de la subvention précédente sur les profils d'accessibilité et de mobilité. Ce travail se décompose en plusieurs étapes, dont voici les quatre phases principales :

- Premièrement, établissement d'une cartographie sur une ou plusieurs zones tests des parts modales attendues pour le train, les bus-tram-métro, la voiture en tant que conducteur et en tant que passager ainsi que les modes lents, et ce tant aux lieux de résidence qu'aux lieux de travail.
- Deuxièmement, au départ des données du recensement de population de 1991 relatives aux distances parcourues lors des déplacements domicile / travail (seules données disponibles à une échelle suffisamment précise, celle des secteurs statistiques) dans les zones tests, cartographie de la distance moyenne attendue sur ce type de trajets, et ce pour chaque mode pris séparément.
- Troisièmement, établissement du calcul des émissions de CO₂ par unité de déplacement pour chacun des modes.
- Quatrièmement, création de trois scénarios d'occupation du sol modélisant respectivement :
 - la situation actuelle ;
 - la situation future à tendances inchangées, c'est-à-dire : déclin urbain, consommation de nouveaux espaces pour l'urbanisation... ;
 - la situation future avec application d'une politique volontariste (renouvellement urbain, densification, maîtrise de l'étalement urbain, encouragement de la mixité...).

Ce résultat se présentera sous forme cartographique.

¹ DAXHELET D., LAMBOTTE J.-M. - LEPUR, ULg

² DAXHELET D., HALLEUX J.-M., KESSLER L., LAMBOTTE J.-M., Etude complémentaire relative aux profils d'accessibilité – profils de mobilité, septembre 2002.

Enfin, il s'agira d'opérer le croisement des deux premières cartographies (part modale – distance par mode) avec les différents scénarios d'occupation du sol pour en déduire, pour chaque mode et chaque scénario, le nombre de kilomètres parcourus. En multipliant ces distances par les émissions moyennes des différents véhicules du parc, nous obtiendrons des niveaux totaux d'émissions de CO₂. L'intérêt de ces chiffres, plutôt grossiers, résidera non pas dans leur valeur absolue, mais dans les possibilités de comparaison entre scénarios.

Avant d'entrer dans le vif du sujet, il convient de préciser les limites de ce travail d'estimation. Trois faits majeurs sont à épingle :

- La prise en compte uniquement des distances sur les trajets domicile – travail et qui pourront être complétées dans un second temps par les trajets domicile – école (en raison des données disponibles).
- L'application du modèle uniquement à des zones tests et non sur la totalité de la Région wallonne (étant donné la complexité et la diversité des situations).
- L'utilisation de valeurs moyennes cachant une grande variabilité en matière d'émissions de véhicules. Les résultats obtenus ne pourront donc pas être considérés comme les niveaux exacts des émissions, mais comme des valeurs approchées dont l'intérêt réside surtout dans la comparaison d'un scénario à l'autre.

Le premier point développé dans ce chapitre (point 2) expose les démarches entreprises dans le cadre de la première phase. Celle-ci est à la fois la plus complexe et la plus aboutie. Nous y développons une méthode de quantification de l'accessibilité de tout point du territoire wallon par les modes alternatifs à la voiture (il s'agit là du volet technique de l'étude complémentaire réalisée en 2001-2002). Cette cartographie de la part modale attendue apparaît comme un élément fondamental pour mener une politique d'aménagement du territoire visant à maximiser l'utilisation des modes alternatifs à la voiture et en conséquence à minimiser les émissions de CO₂. Pour ce faire, il convient notamment de mettre en adéquation le profil de mobilité des activités avec le profil d'accessibilité des lieux.

De plus, les cartes produites par cette méthode peuvent constituer un intéressant outil d'aide à la décision si les responsables régionaux décident d'intégrer les objectifs de la mobilité durable à différentes politiques sectorielles, par exemple pour la révision des plans de secteur (inscription de périmètres relatifs à des profils d'accessibilité...) ou pour la détermination de périmètres prioritaires pour divers outils d'aménagement actif (politique foncière et politique de rénovation / revitalisation), d'aides au logement (primes, construction de nouveaux logements sociaux...) ou fiscaux (réduction / majoration spatialisée du précompte immobilier, réduction des droits d'enregistrement...).

Après un rappel de la méthode, nous présentons les nouveaux développements opérés depuis le début de cette subvention, et principalement au cours de la seconde moitié de celle-ci. Ensuite nous présentons un aperçu de la méthodologie envisagée pour les trois autres phases, qui n'ont toutefois pas encore débuté.

Progression des travaux depuis mars 2003

Depuis le rapport intermédiaire, nous avons apporté plusieurs modifications aux différentes méthodes de calcul de l'accessibilité des lieux. Les résidus (c'est-à-dire, l'hétérogénéité spatiale entre les parts modales attendues et les parts modales observées sur le terrain), mis en évidence par une technique de régression, présentaient, une fois cartographiés, une distribution spatialement non aléatoire sur le territoire wallon. Ceci impliquait l'existence de facteurs non encore pris en compte qui influencent pourtant les choix modaux des populations ; facteurs que nous avons isolés sur base de leur distribution spatiale. Ces facteurs interviennent donc à une échelle macro, c'est à dire qu'ils influencent directement la totalité de la Région wallonne.

En conséquence, différents **correctifs** ont été introduits (point 2.3).

- Pour les modes lents, le correctif traduit les propensions différentes à utiliser la marche ou le vélo, toutes choses égales par ailleurs, suivant la hiérarchie urbaine. En effet, un individu aura plus tendance à marcher ou à prendre son vélo s'il habite à Ouffet que s'il habite à Charleroi, quelque soit le potentiel de population. Le correctif prend donc la forme d'un rapport entre le potentiel de population de la zone autour du lieu considéré (1600 m de rayon) et le potentiel d'une zone plus grande pareillement centrée (8000m).
- Pour les trains et les bus (et au lieu de résidence), un phénomène similaire se présentait. En effet, le poids et la distance aux centres des grandes villes jouent sur les choix modaux. Ainsi, pour une même distance à l'arrêt, un même relief et une même desserte, la part modale des transports en commun est plus faible au centre des villes que dans leur périphérie. Un correctif permet à présent d'intégrer ces différences de comportement, du moins pour les trains.

D'un point de vue pratique, signalons également que l'**encodage** des bus, nécessaire à la cartographie, a été quasiment terminé pour toutes les provinces. Seules les lignes De Lijn et en provenance du Grand-Duché de Luxembourg restent à encoder.

Pour terminer, signalons que pour les modes lents, un intéressant développement a été réalisé afin de prendre en compte les **barrières** physiques aux déplacements à pied et à vélo. Un programme a été élaboré en ce sens et l'encodage de ces barrières a débuté.

Suite à ces nouveaux développements, la **cartographie (point 2.3.5.)** de l'accessibilité par mode a été améliorée et complétée. Elle existe à présent, corrigée, pour toute la Région wallonne, pour les bus, les trains et les modes lents.

La suite des travaux réside dans la préparation et le lancement de la phase deux (points 2.3.5.2. et 3) :

- poursuite de la prise en compte des barrières;
- correction des parts modales du bus au lieu de résidence (voir plus haut);
- prise en considération des facteurs socio-économiques pour améliorer les résultats des régressions;
- étude de la relation domicile – gare et des modes choisis pour ces trajets, dans le cadre d'une prise en compte complète des émissions de CO₂;
- démarrage de la phase deux; élaboration d'un modèle d'émission de CO₂.

2. PRODUCTION D'UNE CARTOGRAPHIE DES PARTS MODALES ATTENDUES

2.1 CONTEXTE

L'objet du présent chapitre est la mise au point de méthodes susceptibles de conduire à la réalisation de cartes fournissant en tout point du territoire wallon une estimation de la part modale attendue pour chaque mode de déplacements. La réflexion porte essentiellement sur les différentes alternatives à la voiture. Ce sont donc trois accessibilités distinctes qui vont être prises en compte : l'accessibilité en bus, en train et enfin par les modes lents (marche et vélo). L'utilisation de la voiture (en terme de part modale) constitue le négatif de l'utilisation de ces alternatives. Elle sera ainsi déduite ultérieurement.

Pour obtenir cette part modale attendue, nous procédons en deux étapes. Au cours de la première, nous cherchons à quantifier l'accessibilité de tout point du territoire pour chacun des modes alternatifs considéré de manière séparée³.

Dans la première partie de ce sous-chapitre, nous présentons les méthodes déjà utilisées qui permettent de produire ces données⁴ (le point 2.2. ainsi que dans une moindre mesure, le point 2.3. sont largement inspirés de l'étude complémentaire relative aux profils d'accessibilité – profils de mobilité de la subvention 2001).

Au cours de la seconde étape, nous mettons en place une méthode d'étalonnage de nos valeurs d'accessibilité sous forme de part modale attendue. Lors de ce travail, nous avons pu mettre en évidence que, pour relier mesures d'accessibilité absolues et parts modales observées, d'autres facteurs spatiaux doivent être intégrés (socio-économiques ou autres). C'est ce second volet, et plus précisément l'introduction de correctifs jouant à l'échelle macro qui constitue l'essentiel des développements nouveaux opérés au cours des derniers mois. Il fait l'objet du point 2.3.4. Nous terminons cette partie consacrée à la cartographie des parts modales attendues par une présentation des résultats obtenus ainsi que par un rappel succinct des pistes dégagées pour la finalisation prochaine de ce travail.

³ Pour cela nous procédons tout d'abord à l'identification de critères quantitatifs qui influencent la distribution spatiale de l'accessibilité par chacun de ces modes. De nombreuses études scientifiques se sont attachées à mettre au point des méthodes pour quantifier l'accessibilité. En général, elles n'envisagent la problématique que pour un seul mode. Les modes lents ont d'ailleurs toujours été le parent pauvre de ces analyses, au contraire de l'automobile et, dans une moindre mesure, des transports publics. Le plus souvent, ces études visent à tracer, à partir d'un point fixe, des courbes isochrones, c'est-à-dire l'ensemble des lieux pouvant être atteints en un même laps de temps, et non de distinguer l'ensemble des lieux sur base de leur profil d'accessibilité. Par rapport à ces méthodes, il nous semble nécessaire que la mesure de l'accessibilité soit envisagée de manière absolue. Plutôt que de la mesurer par rapport à un seul point du territoire, voire même à un ensemble fini de lieux, il est intéressant de la considérer par rapport à tout point de l'espace susceptible de générer des déplacements.

Une fois ces critères identifiés, la méthodologie consiste en la traduction informatique des critères spatiaux qui influencent les trois types d'accessibilité. Notre volonté est dès lors d'obtenir, pour chaque mode de transport considéré et pour l'ensemble du territoire wallon, une valeur d'accessibilité dans une unité propre à chaque mode. Nos résultats sont produits à l'échelle de pixels de 50 mètres sur 50 mètres. La Wallonie représente approximativement 6 700 000 pixels. Dans un premier temps chacun d'entre eux se voit attribuer une triple cote d'accessibilité : une pour les bus, une pour les trains et une pour les modes lents.

⁴ La mise au point de cette méthode a été initiée au sein du LEPUR durant la subvention 2000 et avait à l'époque fait l'objet d'une partie du rapport final du Thème 1.2 Les activités (KESSLER L., LAMBOTTE J.-M., 2001).

2.2 PRODUCTION TECHNIQUE DES MESURES D'ACCESSIBILITE

2.2.1 Les principales spécificités des déplacements alternatifs à la voiture

2.2.1.1 Les transports en commun : les bus et les trains

Un élément fondamental dans la décision relative au type de transport utilisé est le temps de parcours origine - destination. A cet égard, les études sur les transports en commun envisagent un temps de parcours généralisé qui intègre tous les éléments relatifs au parcours, c'est-à-dire⁵ :

- le temps d'accès à pied à l'arrêt de bus / la gare ;
- le temps d'attente (éventuellement pondéré en fonction des conditions d'attente). Il est, en moyenne, presque égal à la moitié de l'intervalle de temps séparant deux passages ;
- la régularité du service (la marge de sécurité que l'utilisateur incorpore dans sa prévision) ;
- la vitesse commerciale (tenant elle-même compte de la vitesse de pointe des bus / trains, de la géométrie et de l'encombrement du réseau sur lequel ils circulent, du temps perdu aux arrêts intermédiaires et donc de l'éloignement entre ceux-ci, de la performance du véhicule à l'accélération et au freinage ainsi que, pour les bus, des détours éventuels nécessaires pour desservir des localités, quartiers ou zones d'activités séparées de la ligne classique) ;
- les correspondances.

Globalement, améliorer l'attractivité des transports en commun nécessite de réduire le temps de parcours origine - destination. Pour y parvenir, il convient, en premier lieu, d'offrir d'excellentes fréquences de passage des véhicules, ainsi que des correspondances rapides.

En ce qui concerne les déplacements en train, c'est davantage le type de train qui doit être pris en considération. Les trains internationaux ont une vitesse et une fonction très différente des trains régionaux ou locaux. Ainsi, la vitesse des trains internationaux dépasse souvent de loin celle des autres trains, vu la rareté des arrêts, la priorité donnée sur le réseau et, dans certains cas, l'utilisation d'infrastructures neuves spécifiques rectilignes et libres d'obstacle. Même si leur fréquence est assez limitée, ils jouent un rôle qu'il convient de ne pas négliger lorsque l'on s'intéresse aux liens entre le développement territorial et la localisation des activités.

2.2.1.2 Les modes lents : les déplacements piétons et cyclistes

Les grandes similitudes entre les caractéristiques des déplacements piétons et cyclistes nous ont conduits à regrouper ces deux modes ; leur utilisation étant fortement conditionnée par la distance à parcourir. Pour la marche, les enquêtes montrent que ce mode est dominant pour des trajets de quelques centaines de mètres. Au-delà du kilomètre, sa part se réduit très fortement. Il est alors partiellement relayé par le vélo, qui trouve sa zone de pertinence pour des distances allant de quelques centaines de mètres jusque 5 kilomètres environ (aux Pays-Bas, cette distance est portée à 7 kilomètres).

Il est frappant de constater la contradiction entre, d'une part, la faible attention que les décideurs portent à la mobilité par les modes lents et, d'autre part, la part importante des déplacements courts. En Wallonie, on mesure ainsi que les trajets de moins de 5 kilomètres représentent près de 55 % du nombre des déplacements (TOINT P. ET AL., 2000, p. 129).

⁵ D'après : TEC Liège-Verviers, 1998, p. 14

Sans conteste, il existe pour ces courtes distances un potentiel considérable de report modal depuis l'automobile.

Si on s'intéresse à la localisation optimale des activités et des résidences en vue de maximiser l'usage des modes lents, il faut tenir compte du fait que, pour de nombreux déplacements, le domicile correspond soit à l'origine, soit à la destination. En conséquence, pour qu'une part importante des déplacements vers (ou depuis) un lieu d'activités se fasse à pied ou à vélo, il faut que de nombreux habitants résident à proximité. Il existe donc un lien direct entre la densité de population, la mixité fonctionnelle et l'usage des modes lents.

En plus de la distance à parcourir, d'autres facteurs spatiaux influencent négativement l'usage de modes lents. On peut ainsi citer :

- la pente (contrainte particulièrement forte pour l'usage du vélo) ;
- la qualité du revêtement ;
- la présence d'obstacles à la marche ou à l'usage du vélo tels que la présence de voies rapides supportant un fort trafic et le long de laquelle il n'existe pas d'infrastructures spécifiques pour les usagers lents (trottoirs, pistes ou bandes cyclables, ...).

2.2.2 Les paramètres à intégrer dans les programmes de calcul des mesures d'accessibilité

2.2.2.1 Mesure de l'accessibilité en bus

Trois critères ont été utilisés pour rendre compte de l'accessibilité en bus :

- la fréquence totale cumulée des bus aux points d'arrêt ;
- la distance de tout point du territoire aux arrêts de bus ;
- le relief.

a) la fréquence totale cumulée des bus aux points d'arrêt

Les données relatives aux bus ont été créées par le LEPUR (sous ArcView). Le tout est stocké sous la forme de bases de données. Après la digitalisation d'une couche d'information reprenant les points d'arrêts, on encode dans la table correspondante le nombre total de passages pour chaque ligne (en additionnant les deux sens de circulation). Cette fréquence concerne un jour de semaine, exception faite du mercredi. Pour chacun des arrêts, on calcule l'accessibilité en additionnant le nombre de passages pour toutes les lignes. Il s'agit là *du poids de l'arrêt*.

Signalons que le poids de l'arrêt n'est pas influencé par le nombre de lignes. Nous considérons donc une accessibilité égale pour un arrêt avec une haute fréquence sur une seule ligne et pour un arrêt avec de basses fréquences sur plusieurs lignes.

b) La distance de tout point du territoire aux arrêts de bus

L'accessibilité non nulle pour les bus ne se limite pas au seul point d'arrêt. En effet, elle existe également dans une zone rayonnante à partir de ce point. En conséquence, la variable accessibilité doit être mieux spatialisée et des données initialement ponctuelles doivent être transformées en données zonales. Pour ce faire, il faut déterminer de quelle manière la distance à l'arrêt influe sur l'accessibilité. En d'autres termes, il faut déterminer *comment l'éloignement réduit le poids de l'arrêt*. Pour ce faire, un programme informatique spécifique a dû être conçu ; il s'appuie sur les principes suivants.

Afin de ne pas vainement complexifier le mode de production des données, c'est la distance euclidienne qui est mesurée. Le choix de prendre en compte la distance euclidienne nous amène à ne pas considérer les détours du trajet réel par rapport à un trajet à vol d'oiseau. En

présence de barrières telles que les autoroutes ou les rivières, la différence peut toutefois être importante.

De manière simple, on peut déterminer une distance maximale à l'arrêt de bus au-delà de laquelle on estime que le potentiel d'usagers des bus devient négligeable. Nous fixerons, de manière arbitraire, cette valeur à 500 mètres à vol d'oiseau (c'est-à-dire plus de 600 mètres en moyenne sur le terrain). En deçà de cette limite, nous considérerons que l'attrait du déplacement par bus décroît en fonction de l'éloignement à l'arrêt. Nous postulons également que cette décroissance est linéaire et que la valeur de l'accessibilité peut être considérée comme nulle lorsque les 500 mètres sont dépassés (soit la distance correspondant à un potentiel négligeable d'usagers).

c) Le relief

Les déplacements effectués vers les arrêts étant principalement piétons, il est essentiel de tenir compte de la dénivellation. Avec la prise en compte de la distance (horizontale), nous considérons que le potentiel de l'arrêt se réduit avec l'éloignement. Pour le relief (distance verticale), la logique est identique et nous considérons ici qu'au plus la différence d'altitude entre l'arrêt et le point considéré est grande, au plus le potentiel de l'arrêt se restreint.

Sur le plan formel, nous introduisons un coefficient de réduction du potentiel de l'arrêt (CZ). Ce coefficient se base sur la différence d'altitude entre le pixel dont on détermine l'accessibilité et le pixel relatif à l'arrêt. Cette mesure de différence altimétrique peut être obtenue en utilisant un modèle numérique de terrain (MNT)⁶. Calculée entre le point de départ et le point d'arrivée, elle ne tient pas compte de la réalité des dénivellations sur le trajet. Ce manque méthodologique pourrait être dommageable si la distance est grande et le chemin suivi complexe.

Si la différence d'altitude entre les deux pixels considérés est nulle, le coefficient CZ est égal à 1 et le poids de l'arrêt n'est pas affecté. Par contre, plus cette différence augmente, plus le CZ se rapproche de 0. La multiplication de CZ par le poids de l'arrêt conduit alors à considérer une réduction du potentiel d'utilisation de l'arrêt. Afin de déterminer la valeur où le coefficient atteint 0, nous avons considéré que, pour une distance de 500 mètres, le marcheur n'acceptera pas de parcourir un dénivelé égal ou supérieur à 60 mètres.

In fine, la mesure de l'accessibilité en bus se mesure en Equivalent-Bus. Une valeur élevée signifie concrètement que le pixel considéré est proche d'un arrêt qui bénéficie de hautes fréquences de passage et qu'il n'existe pas de différence importante d'altitude entre le centre du pixel et l'arrêt.

⁶ Le MNT utilisé a été établi par l'IGN à partir des courbes de niveaux figurant sur les cartes topographiques à 1 / 50 000. Sa précision absolue (avec probabilité de 90 %) est de 3,8 m en basse Belgique, de 7,8 m en moyenne Belgique, de 10,2 m en haute Belgique et de 18,5 à Bruxelles.

2.2.2.2 Mesure de l'accessibilité en train

Comme pour les bus, trois critères ont été utilisés pour rendre compte de l'accessibilité en train :

- la fréquence totale cumulée des trains aux points d'arrêt (en fonction du type de train) ;
- la distance de tout point du territoire aux gares ;
- le relief.

a) La fréquence totale cumulée des trains aux points d'arrêt et le type de train

Une base de données géoréférencées portant sur les 260 stations de chemin de fer desservant le territoire wallon a été créée. Pour compléter la table des fréquences, nous nous sommes basés sur l'indicateur intérieur de la SNCB (10.06.2001 – 15.06.2002).

Il nous semblerait aberrant d'accorder le même poids à chaque train. Il faut au contraire distinguer les différents types, soit les Thalys, les Internationaux, les IC (Inter City), les IR (Inter Région), les trains L (trains locaux ou omnibus) et les trains P (trains assurant les pointes et correspondant indistinctement à des trains L, IR ou exceptionnellement à des IC). Pour ce classement, il suffit de prendre la nomenclature utilisée par la SNCB, mais notre classement s'en écarte cependant sur un point. Nous avons regroupé avec les trains internationaux portant l'appellation INT, les trains EC (Eurocity, sur la ligne Bruxelles-Namur-Luxembourg-Metz-Strasbourg) et les trains se dirigeant vers l'étranger parmi les ICA (sur la ligne Bruxelles-Liège-Cologne), ICC (sur la ligne Anvers-Gand-Courtrai-Mouscron-Lille) et ICD (sur la dorsale wallonne en direction de Lille Flandres). Les trains des lignes Liège-Maastricht, Liège-Luxembourg, Charleroi-Jeumont et les autres trains circulant sur les lignes citées ci-avant ne sont pas considérés comme des internationaux vu leur faible vitesse de déplacement liée aux multiples arrêts qu'ils opèrent sur le territoire belge.

On peut donc accorder des poids différents pour chaque type de train. De manière arbitraire, nous avons décidé de fixer les pondérations suivantes :

Tableau 55 - Pondération utilisée dans le calcul des fréquences de passage des trains selon le type de train

Type de train	Thalys	International	IC	IR	L	P
Poids	10	5	3	1,5	1	1

En additionnant le nombre de passages pondérés par le type de train, on obtient pour chaque arrêt du réseau ferroviaire une valeur quantitative relative à l'accessibilité de chaque gare, soit *le poids de la gare*.

Notons néanmoins que de légères modifications ont été apportées ultérieurement lors du calcul de l'accessibilité en train au lieu de résidence. Nous avons pondéré par 1.5 le poids de tous les trains à destination de Bruxelles car nous avons remarqué, au cours des premiers tests, une sous-estimation systématique le long de ces lignes. Une explication à cela, les habitants à proximité d'une gare desservant Bruxelles sont d'autant plus incités à utiliser ce mode de déplacement du fait des encombrements bruxellois et de la problématique de parage.

b) La distance de tout point du territoire aux gares

La même logique spatiale que celle adoptée pour les bus nous a conduit à relativiser l'accessibilité en train en fonction de la distance à la gare. A ce propos, il nous faut notamment déterminer la distance maximale au-delà de laquelle on considère l'accessibilité par le rail comme négligeable.

Cette limite relative à la distance parcourue par les usagers est variable selon que l'on considère le lieu de résidence ou le lieu d'activité. Suite aux différents essais d'étalonnage ayant été pratiqués par la mise en relation des mesures d'accessibilité et des parts modales (voir ci-dessous au point 2.3.3.1), nous avons considéré une valeur limite de 700 mètres pour la distance au lieu d'activité et de 3 000 mètres pour la distance au lieu de résidence. La prise en compte d'une distance plus longue pour la distance relative au lieu de résidence se justifie par la possibilité d'utiliser la voiture, le bus ou le vélo entre le domicile et la gare.

Comme pour les bus, nous avons également considéré que l'accessibilité décroît de manière linéaire en fonction de la distance à l'arrêt.

c) Les variations du relief

Un traitement du facteur relief a également été réalisé, cela de manière analogue à ce qui a été pratiqué pour les bus. Nous avons, en effet, considéré une dénivellation maximale acceptable par les usagers. Pour la distance au lieu d'activité, celle-ci est aussi égale à 60 mètres entre le point de départ et le point d'arrivée. Pour la distance au lieu de résidence, l'altitude n'est plus prise en compte de façon linéaire, la différence d'altitude maximum tolérée est de 300 mètres.

Le résultat final de cette méthode nous donne une carte reprenant, pour tout pixel, une valeur de l'accessibilité par le rail. Cette valeur, nous la qualifierons en Equivalent-Train. Une valeur élevée signifie concrètement que le pixel considéré est proche d'une gare, qu'il n'existe pas de différence importante d'altitude entre le centre du pixel et la gare, que de nombreux trains la desservent et qu'il s'agit plutôt de trains rapides.

2.2.2.3 Mesure de l'accessibilité par les modes lents

Afin de quantifier l'accessibilité par les modes lents pour l'ensemble du territoire wallon, nous avons utilisé des données finement spatialisées sur la densité de population. Pour chaque pixel, le résultat se mesure en Equivalent-Usager.

Le volume d'Equivalent-Usager rend compte du potentiel d'utilisateurs des modes lents, en fonction :

- du volume de population résidant au sein d'un rayon de 1 600 mètres à partir du centre du pixel considéré ;
- d'une pondération du poids de ces personnes en fonction des distances verticales et horizontales (différence d'altitude) entre chaque habitant et le centre du pixel.

a) Justification de la démarche

Sur le plan méthodologique, la mesure de l'accessibilité par les modes lents repose sur deux constats :

- la part des déplacements piétons et cyclistes diminue rapidement avec la distance à parcourir ;
- pour de nombreux déplacements, le domicile correspond soit à l'origine, soit à la destination.

Ces deux constats justifient pourquoi il est pertinent de construire une mesure de l'accessibilité par les modes lents via une mesure de la densité résidentielle. En effet, *toutes choses égales par ailleurs*, l'implantation d'une activité au sein d'un quartier densément peuplé doit permettre de maximiser l'usage des modes lents puisqu'un volume de population important réside à proximité. A contrario, une implantation excentrée des lieux de résidence nécessitera automatiquement d'autres modes de déplacement que la marche ou le vélo.

b) *Le choix du seuil de 1 600 mètres*

Pour la marche en tant que mode principal, une part importante des déplacements se réalise pour des distances inférieures au kilomètre. Pour le vélo, rares sont les cyclistes qui, en dehors des activités de loisirs, parcourent des distances supérieures à quelques kilomètres. C'est sur cette base que nous avons choisi de limiter la mesure du potentiel démographique au sein d'une enveloppe de 1 600 mètres à partir du centre des pixels. Il s'agit naturellement d'un seuil arbitraire qui, proche du seuil maximal admis pour la marche, tient compte des faibles pratiques cyclistes des wallons⁷. A ces 1 600 mètres mesurés en distance réelle, doit correspondre un trajet réel proche des 2 kilomètres.

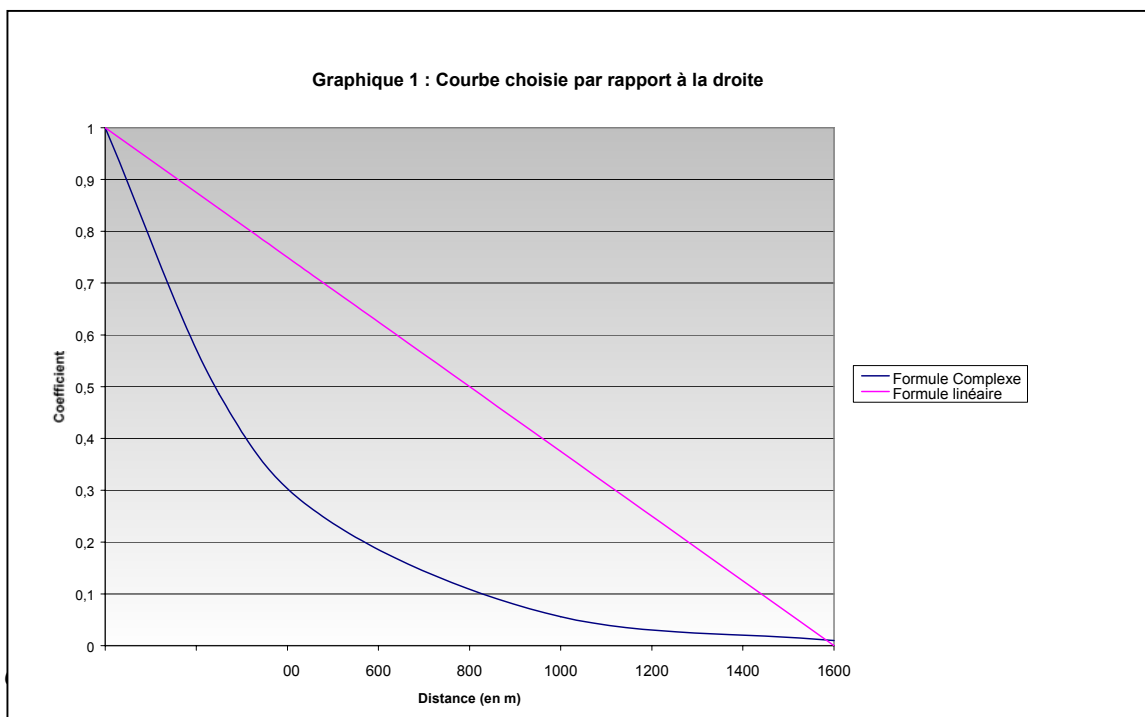
c) *L'effet de la distance*

De manière arbitraire, nous décidons donc d'intégrer dans notre calcul de potentiel un coefficient lié à la distance (CD) qui soit égal à 1 pour le pixel situé à l'endroit même où l'on effectue la mesure et à 0 pour les pixels situés à 1 600 mètres et plus de ce lieu. Entre les deux, on cherche à utiliser une fonction décroissante liant ce coefficient à la distance.

Depuis les derniers résultats de mars, il nous a semblé intéressant de modifier le type de courbe prise en compte jusqu'alors. Sur base de l'enquête sur la mobilité des ménages (réalisée par le GRT-FUNDP), nous avons pu observer que la décroissance du nombre de déplacements effectués à pieds et en vélo en fonction de la distance est plus rapide que celle découlant de la formule utilisée jusqu'ici. Sur base des données du GRT, nous avons ajusté une nouvelle courbe liant la distance à parcourir avec le coefficient de pondération relatif à la distance horizontale dans la mesure du potentiel. La fonction prise actuellement pour le calcul du potentiel d'usagers dans un rayon de 1 600 mètres est a la forme suivante :

$$\Rightarrow \text{Coefficient de pondération relatif à la distance horizontale} = 1 * \exp^{(-0.00289 * \text{distance en m})}$$

⁷ Pour les déplacements domicile - travail au recensement de 1991, la part du vélo était de 2,3 % et la part des déplacements uniquement piétons de 17,9 % (mode principal).



Un coefficient de pondération lié à l'énergie du relief (CZ) a également été déterminé. De manière arbitraire, nous avons considéré que le coefficient est nul lorsque la différence d'altitude est supérieure ou égale à 80 mètres. Concrètement, cela signifie que l'usage des modes lents est considéré comme négligeable si la pente moyenne entre deux pixels distants de 1 600 mètres dépasse 5 %. Nous considérerons aussi qu'entre les deux extrémités (0 et 80 m de différence d'altitude), le coefficient lié au relief (CZ) diminue de manière linéaire en fonction de la dénivellation.

e) La répartition spatiale du potentiel démographique

Pour obtenir le volume de population résidant au sein d'un rayon de 1 600 mètres à partir du centre de chaque pixel, il convient de disposer de données de population à l'échelle la plus fine possible. Pour couvrir l'ensemble de la Région wallonne, le niveau le plus fin est celui des secteurs statistiques. Plusieurs manières de procéder plus ou moins précises s'offrent à nous concernant la répartition des populations au sein des pixels formant chaque secteur statistique.

La manière la plus simple, mais la moins précise, serait de répartir les populations de manière homogène entre les différents pixels de chaque secteur statistique. Or, la population n'est pas répartie de manière uniforme au sein de ces enveloppes et seule une partie plus ou moins limitée des secteurs est affectée à l'urbanisation. L'utilisation de la densité brute par pixel provoque donc un lissage important dans le calcul du potentiel en y incorporant des valeurs de population trop fortes là où une grande partie du territoire est affectée à une autre fonction que le logement. A l'opposé, ce potentiel peut être grandement sous-estimé là où l'habitat se concentre.

Une manière plus précise est de ne tenir compte, au sein de chaque secteur statistique, que de la superficie des parcelles effectivement occupées par l'habitat. On obtiendrait ainsi une densité nette en divisant la population totale par la superficie des seuls pixels concernés. Pour ces pixels urbanisés, cela conduirait à un volume supérieur. Par contre, pour les pixels identifiés comme non urbanisés, le volume démographique est considéré comme nul.

Pour déterminer les pixels affectés à l'habitat, il faut disposer d'une base de données géographiques relative à l'affectation de chaque parcelle. Avec l'aide de M. Y. Cornet du laboratoire SURFACES de l'ULg, nous avons utilisé un masque d'urbanisation (0 = non-urbanisé et 1 = urbanisé) réalisé à partir des images satellitaires SPOT corrigées géométriquement. La valeur de population des différents secteurs statistiques a ensuite été répartie de manière homogène sur les surfaces bâties de ceux-ci, afin d'obtenir un poids de population par pixel de 10 mètres sur 10 mètres, soit nul pour les pixels identifiés comme non urbanisés, soit, dans le cas contraire, égal au quotient entre le poids de population d'un quartier statistique et le nombre de pixels urbanisés faisant partie de celui-ci. Et enfin, réaffecter à des pixels de 50m sur 50 m.

f) Les barrières

Jusqu'à présent les distances considérées sont des distances euclidiennes, c'est-à-dire prises à vol d'oiseaux. Nous ne tenons donc pas compte de la topologie des cheminements piétons. La prise en compte des trajets réels est un travail d'une complexité gigantesque par rapport à l'amélioration des résultats qui pourrait en découler. Il nous a toutefois paru nécessaire de prendre en compte certains obstacles (autoroutes, nationales à 4 bandes à carrefours dénivelés, voies de chemins de fer non désaffectées, principaux cours d'eau) qui imposent de longs détours aux piétons et affectent le calcul du potentiel de population. Le LEPUR a pu faire appel à un informaticien qui, dans le cadre de son travail de fin d'études de DEA, s'est penché sur ce problème (Briquet C., juin 2003). Il a écrit un programme permettant de considérer les barrières dans le calcul des distances de déplacement. Cela permet donc de considérer des trajets contournant les obstacles plutôt que des distances purement euclidiennes.

La prise en compte de ces barrières nécessite 3 étapes :

- Leur digitalisation en mode vecteur (lignes) ;
- Leur *rasterisation* (conversion en *grid* binaire, pixel portant la valeur 1 = barrière) ;
- La prise en compte de passages (ponts, passerelles, ...) pour les piétons et les cyclistes (la valeur du pixel passe de 1 à 0).

In fine, l'accessibilité par les modes lents se mesure en Equivalent-Usager. Elle rend compte de la possibilité de générer de nombreux déplacements cyclistes ou piétons depuis le domicile. Concrètement, une valeur élevée signifie que le pixel considéré est situé dans un quartier dense et au relief peu marqué.

2.2.3 L'opérationnalisation des programmes de calcul des mesures d'accessibilité

La production cartographique des mesures d'accessibilité par les modes de transports alternatifs à la voiture implique l'utilisation de méthodes géomatiques. En effet, ces dernières permettent la traduction informatique des critères spatiaux qui influencent les trois accessibilités prises en compte. Dans ce chapitre, nous nous proposons de commenter les démarches entreprises à ce sujet. Signalons que la conception des méthodes géomatiques et les programmations informatiques afférentes ont été réalisées conjointement avec le Département de géomatique (laboratoire SURFACES) et le Département d'algorithmiques de l'Ulg.

2.2.3.1 Mesure de l'accessibilité en transports en commun

Pour rappel, le programme de calcul va transformer les données ponctuelles relatives aux seuls arrêts de bus ou gares en données zonales permettant de différencier les lieux selon un critère quantitatif représentant de manière synthétique leur accessibilité en bus et en train. L'accessibilité variant en fonction de la distance au point de prise en charge par le moyen de transport considéré, nous avons précédemment fixé une distance maximale d'influence, appréciée comme la distance où le potentiel d'utilisateur devient négligeable et est donc égal à zéro. Pour plus de facilité nous considérons la distance euclidienne et imposons une décroissance linéaire de l'accessibilité en fonction de cette distance. En parallèle, rappelons que l'accessibilité est également fonction de la distance verticale déterminée sur base d'un modèle numérique de terrain.

La valeur de l'indice obtenu n un point se calcule donc sur la valeur de base de l'arrêt (qui dépend de la fréquence cumulée des différentes lignes), pondérée par la distance horizontale ainsi que par la différence d'altitude entre le point considéré et l'arrêt.

a) La formalisation pour le train au lieu de travail

L'accessibilité en train au lieu de travail considère un rayon d'attraction de 700 m autour de la gare d'arrivée, et une dénivelée maximum de 60 m sur ce même trajet.

Mathématiquement, le calcul de l'accessibilité en train (AT) du pixel ij se présente sous la forme suivante :

AT_{ij} considère la valeur la plus importante d'entre toutes les gares g situées dans un rayon de moins de 700 m du pixel ij, avec le calcul de cette valeur.

$$AT_{ij} = P_g * \left(\frac{700 - dist_{ij-g}}{700} \right) * \left(\frac{60 - \Delta Z}{60} \right)$$

Avec P_g = le poids de la gare

b) La formalisation pour le train au lieu de résidence

Les premiers modèles réalisés nous ont conduits à une modification de la méthode utilisée dans le calcul de l'accessibilité en train. En première analyse, nous n'avions pas différencié le lieu de résidence du lieu d'activité, en considérant un seuil unique pour la distance à la gare au-delà duquel l'accessibilité devient négligeable. L'analyse des résidus pour les modèles construits aux lieux de résidence, avec une distance euclidienne de 700 mètres, nous a poussés à considérer une distance plus importante, en l'occurrence 3 000 mètres. Sur le plan concret, l'adaptation du seuil tient à la possibilité d'utiliser la voiture, le bus ou le vélo entre le domicile et la gare, ce qui est généralement plus difficile entre la gare et le lieu de travail.

En conclusion, les distances de 700 et 60 mètres ne sont plus utilisées au lieu de résidence, le rayon passe à 3 000 et l'altitude n'est plus prise en compte de façon linéaire. La différence d'altitude maximum tolérée est de 300 mètres.

Mathématiquement, le calcul de l'accessibilité en train (AT) du pixel ij se présente sous la forme suivante :

AT_{ij} considère la valeurs la plus importante d'entre toutes les gares g situées dans un rayon de moins de 3 000 m du pixel ij, avec le calcul de cette valeur.

$$AT_{ij} = P_g * \left(\frac{3000 - dist_{ij-g}}{3000} \right) * \left(\frac{750}{375 + \Delta Z} - 1 \right)$$

Avec P_g = le poids de la gare.

c) La formalisation pour le bus

Contrairement au chemin de fer, le calcul de la mesure d'accessibilité en bus ne diffère pas selon qu'il soit considéré au lieu de résidence ou au lieu de travail. Ceci est dû à la très fine distribution des arrêts de bus. Il est en effet peu fréquent de se rendre en voiture à un arrêt de bus depuis le domicile.

Mathématiquement, le calcul de l'accessibilité en bus (AB) du pixel ij se présente sous la forme suivante :

$AB_{ij} = \sum$ pour tous les arrêts al situés dans un rayon de moins de 500 m du pixel ij, la plus haute valeur propre à chaque ligne

$$= Pal * \left(\frac{500 - dist_{ij-al}}{500} \right) * \left(\frac{60 - \Delta Z}{60} \right)$$

Avec Pal = poids de l'arrêt via la fréquence sur la ligne

Le programme gère les problèmes induits si différents arrêts consécutifs d'une même ligne sont situés à moins du double de la distance maximale d'influence. Pour éviter l'addition des valeurs liées aux fréquences de passage d'une même ligne, une matrice garde en mémoire les dernières valeurs d'accessibilité (et ce indépendamment pour chaque ligne) et ne considère ensuite que la plus élevée, tous arrêts confondus.

2.2.3.2 Mesure de l'accessibilité par les modes lents

Pour les modes lents, la méthode est différente de celle employée pour les trains et les bus. En effet, on dispose ici d'une multitude de points origine. Nous calculons donc l'accessibilité en tous lieux en additionnant le volume de population des zones urbanisées situées dans un rayon de 1 600 m, cela toujours en pondérant le potentiel par la distance horizontale et par la différence d'altitude. Pour rappel, les modes lents étant, par rapport aux bus et aux trains, plus sensibles aux variations d'altitude et de distance, nous avons choisi une pondération non linéaire.

Grâce au travail de l'informaticien sur l'insertion des barrières dans le programme de calcul pour les modes lents (Briquet C., juin 2003), nous avons également une version du programme sans prise en compte des barrières grandement optimisée. Il est dorénavant possible d'exécuter celui-ci sur la totalité de la Région wallonne pour un temps de calcul raisonnable.

Rappelons que pour effectuer ces traitements et déterminer le volume de population d'un pixel, il nous faut extraire les zones urbanisées et les mettre en relation avec le secteur statistique correspondant, pour répartir de manière homogène la population au sein de ceux-ci. Ces traitements ont été réalisés au laboratoire SURFACES avec l'aide de M. Y. Cornet. La couche de bâti exploitée a été tirée des images satellitaires SPOT qui ont été corrigées géométriquement et ensuite « classifiées ». Il en a été extrait les classes correspondant aux espaces bâtis pour créer un masque binaire (format *Tif* convertit en *Grid*). On remarque qu'il reste des imperfections dans cette couche : certains tronçons de routes rapides sont repris comme urbanisés tandis que certaines habitations isolées dans les sous-bois sont au contraire considérées comme non urbanisés. Il a cependant été estimé que la correction de celles-ci via un masque du réseau routier augmenterait l'imprécision plutôt que de la diminuer.

Ce masque du bâti est calculé sur base de pixels de 10 m de résolution avec redistribution de la population sur ceux-ci. L'élimination de valeurs aberrantes (dues aux pixels urbanisés non répertoriés) est possible à l'aide de l'introduction d'une condition : pour un secteur statistique, si le nombre de pixels bâtis est inférieur à 15 et que le rapport de la population divisée par le nombre de pixels bâtis est supérieur à 8, la valeur est jugée incohérente. Dans ce cas, nous répartissons donc la population sur tout le secteur statistique concerné par la formule (pop x 100) / surface du quartier statistique. Les valeurs utilisées dans la condition

ont été fixées par essais successifs. Ensuite, un *resampling bilinéaire* permet de repasser à 50 mètres de résolution pour les pixels.

Certaines incohérences géométriques propres à la couverture des limites de secteurs statistiques vis-à-vis des autres couches exploitées ont pu aussi influencer les résultats des traitements, mais il est difficile d'estimer l'imprécision en résultant. Au stade actuel, nous négligerons donc celle-ci.

Un autre développement devrait permettre d'ici peu d'améliorer les résultats obtenus par la prise en compte des barrières sur les cheminements piétons et cyclistes. L'exploitation du programme mis au point par l'informaticien (Briquet C., juin 2003) a fourni des résultats probants sur les premiers tests (une zone test en milieu urbain et une autre en milieu plus rural). Le programme est opérationnel ; il ne manque plus que l'encodage des barrières pour le faire tourner.

2.2.4 Résultats de l'application de ces méthodes

Les méthodes développées ci-dessus ont été appliquées à différentes zones tests et leur application à toute la Région wallonne varie en fonction de la disponibilité des données.

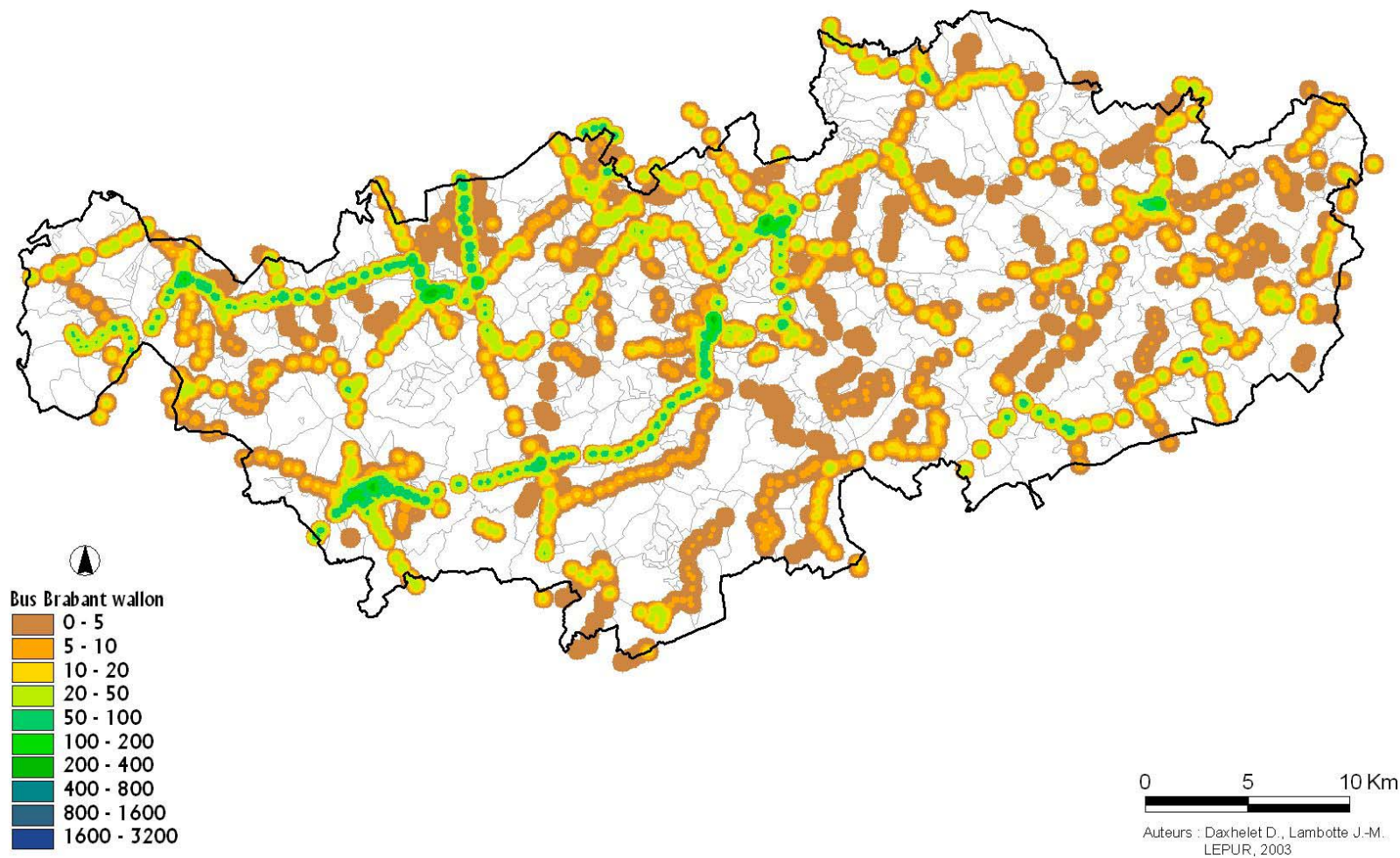
- Pour les trains, le travail de collecte et d'encodage relatif à la localisation des gares et aux fréquences de passage à ces arrêts est bouclé pour l'ensemble de la Région wallonne (celle-ci étant desservie par un peu plus de 260 stations).
- Pour les modes lents, une couverture complète des données nécessaires préexiste, c'est-à-dire la population par quartier statistique et les images SPOT du bâti. L'amélioration du modèle par la prise en compte des barrières sera quant à elle entreprise après l'encodage (en cours) de la couche de barrières couvrant toute la Région wallonne.
- Pour les bus, l'encodage est terminé pour les provinces de Brabant wallon, de Liège et de Namur, et, quasiment finalisé pour la province du Hainaut et la province du Luxembourg : seules les lignes De Lijn et en provenance du Grand-Duché sont encore manquantes.

In fine, les résultats se présentent sous forme cartographique. Là où les données sont disponibles, il est en effet techniquement possible de produire des cartes pour chacun des modes pris séparément, cela à l'échelle du pixel de 50 mètres de côté et dans des unités propres à chaque mode de déplacement. Sur un territoire limité, ces résultats donnent une bonne vision de la distribution des divers comportements de mobilité.

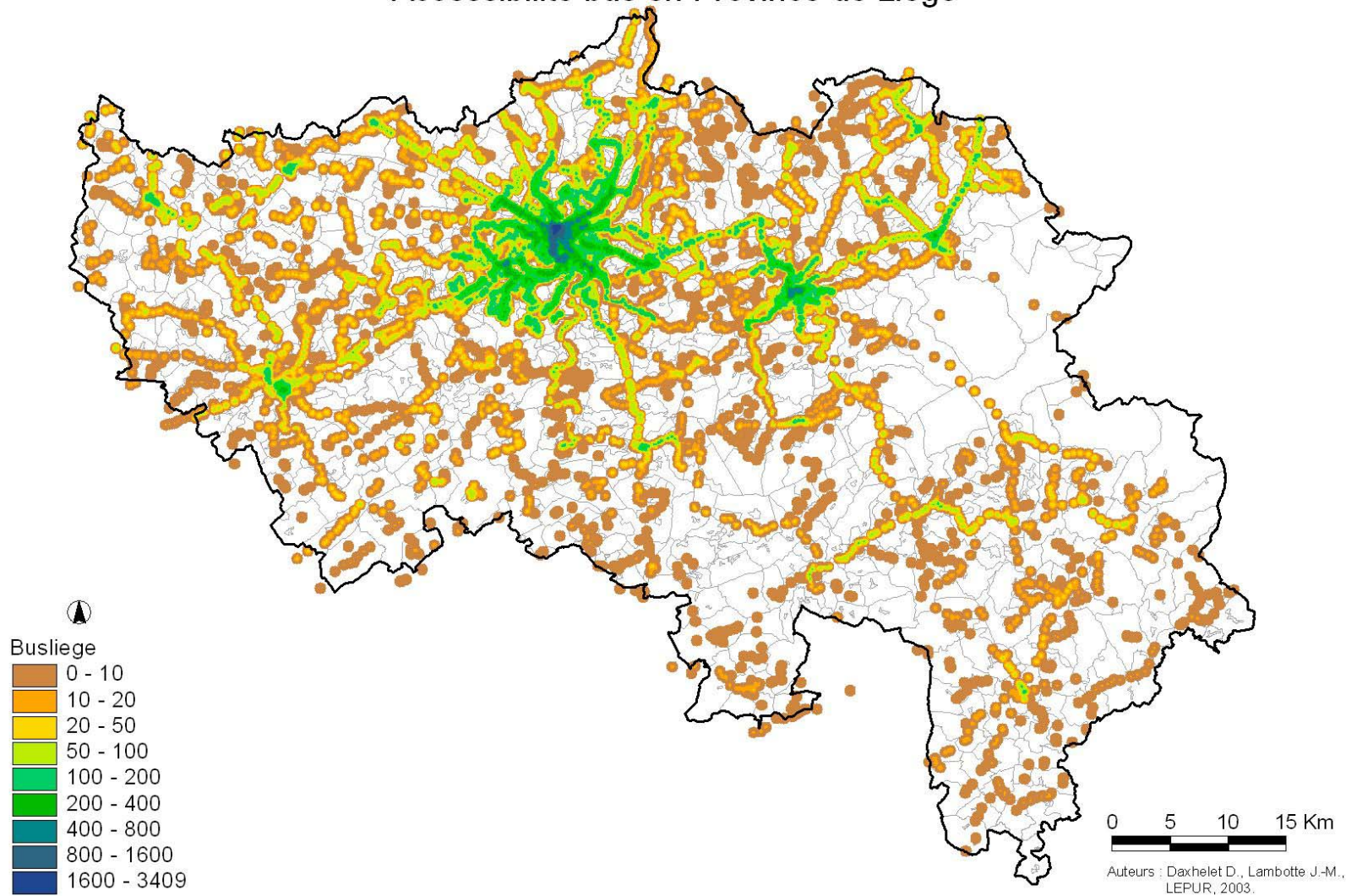
Nous pouvons donc déjà dire que, à l'échelle micro, nos modèles nous donnent une bonne compréhension des comportements observés, et qu'il n'est pas nécessaire d'aller plus en avant dans la recherche et la prise en compte de nouveaux facteurs secondaires (à l'exception de la prise en compte des barrières qui est en cours).

Nous présentons ci-après les résultats cartographiques concernant l'accessibilité en bus des trois provinces dont l'encodage de la desserte est clôturé. Les résultats relatifs aux modes lents et au train seront présentés à la fin de l'étape suivante.

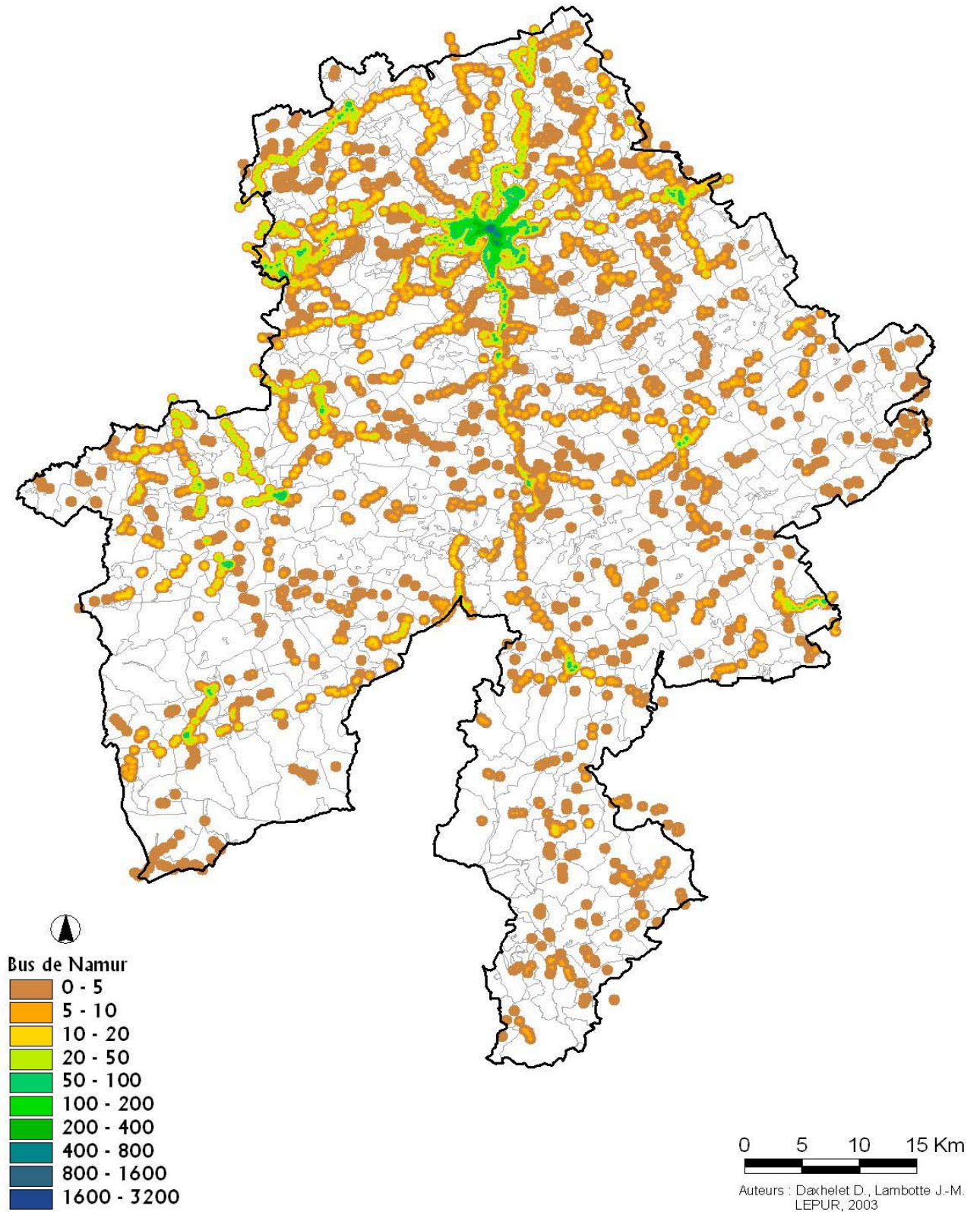
Accessibilité bus en Province de Brabant wallon



Accessibilité bus en Province de Liège



Accessibilité bus en Province de Namur



2.3 COMBINAISON DES DIFFERENTES MESURES D'ACCESSIBILITE ET ETALONNAGE SOUS FORME DE PART MODALE ATTENDUE POUR L'ENSEMBLE DE LA REGION WALLONNE

2.3.1 Introduction

Pour chacune des trois mesures d'accessibilité prises en compte au point précédent, le résultat des méthodes de production des données est de forme identique. Il s'agit d'une valeur d'accessibilité relative à chaque pixel. Malheureusement, les résultats sont rendus dans des unités abstraites et non compatibles entre elles. Dans ce chapitre, nous présentons les réflexions qui ont été produites afin de combiner ces mesures dans un même indicateur : la part modale attendue pour chaque alternative à la voiture. Cet étalonnage des mesures d'accessibilité permet en outre d'aboutir à un indicateur plus simple et plus explicite que des mesures en Equivalent-Bus, en Equivalent-Trains ou encore en Equivalent-Utilisateurs des modes lents. Au stade actuel de la réflexion, l'unité à laquelle il s'agit d'aboutir correspond à *la part attendue de l'ensemble des modes alternatifs à la voiture*.

Cet étalonnage, qui nécessite une analyse fine des relations entre les comportements de mobilité et les caractéristiques des localisations, correspond au processus de recherche poursuivi lors des précédents mois et dont les résultats ne sont encore que provisoires pour certains modes. En effet, les difficultés méthodologiques et statistiques sont considérables et, aujourd'hui, nous ne disposons pas encore de modèles parfaitement robustes susceptibles de couvrir l'ensemble du territoire wallon pour les bus. Au sein de ce rapport, nous présentons donc les démarches méthodologiques déjà effectuées, les résultats obtenus relatifs à l'accessibilité en train et par les modes lents, et les réflexions en cours.

2.3.2 Les démarches effectuées

a) *Le choix de la méthode statistique de la régression multiple*

L'étalonnage de trois mesures d'accessibilité sous forme d'une unique part modale attendue nécessite de réfléchir « toutes choses étant égales par ailleurs ». Sur le plan statistique, cela implique la modélisation via la technique de la régression multiple. La construction d'une régression multiple implique une relation fonctionnelle entre une variable à expliquer (la variable dépendante) et des variables explicatives (les variables indépendantes).

Pour les essais déjà réalisés à ce stade intermédiaire de la recherche, les variables explicatives correspondent aux trois valeurs d'accessibilité. Pour la variable dépendante, nous avons utilisé les données de l'INS du recensement de 1991. Elles portent sur le (ou les) mode(s) de transport utilisé(s) lors des déplacements domicile - travail, couvrent l'ensemble de la Wallonie et sont disponibles à l'échelle du secteur statistique. Ces données portant à la fois sur le lieu de résidence et sur le lieu de travail, l'information permet d'établir deux types de modèles, un premier pour les localisations résidentielles, un second pour les activités à vocation économique.

Concernant la variable dépendante, nos travaux n'ont jusqu'à présent porté que sur la seule variable du « mode de transport principal ». L'INS publiant également les informations sur l'ensemble des modes utilisés, de nouvelles modélisations devront aussi être construites sur cette base.

b) *Le calcul des accessibilités à l'échelle des secteurs statistiques*

L'échelle la plus fine de disponibilité des statistiques INS sur les parts modales étant le secteur statistique, une étape préalable à la réalisation des régressions d'étalonnage a consisté dans le traitement des données d'accessibilité afin d'en disposer à la même échelle. Pour ce faire, c'est une valeur moyenne agrégée qui a été produite, cela par le calcul de la moyenne arithmétique de la valeur de tous les pixels urbanisés compris dans chaque quartier statistique. Relevons que la détermination des pixels urbanisés s'est appuyée sur l'utilisation du masque d'urbanisation commenté au chapitre précédent (point 2.2.2.3). Suite à ce traitement, on obtient donc trois valeurs moyennes d'accessibilité, correspondant aux trois modes alternatifs à la voiture pris en considération.

c) La nécessité de l'estimateur des moindres carrés pondérés

Il existe de fortes disparités entre les 9 142 secteurs statistiques peuplés que totalise la Région wallonne. Alors que de nombreux secteurs ne comptent que quelques habitants et aucun emploi, certains rassemblent un volume très important d'habitants et de travailleurs. Cette hétérogénéité est problématique du point de vue de l'application de la méthode statistique de la régression multiple, l'information à retirer de la variable dépendante étant hétérogène et, en fait, d'autant plus robuste qu'un secteur est important. En effet, une moyenne calculée sur un quartier qui compte moins de 20 emplois ou moins de 20 travailleurs au lieu de résidence ne présente qu'une faible significativité statistique. Par contre, la moyenne relative aux secteurs de grandes villes qui comptent plusieurs milliers de travailleurs ou plusieurs centaines d'habitants répond parfaitement aux exigences de l'inférence statistique.

Afin de solutionner ce problème, nous avons opérationnalisé un processus d'étalonnage sur base de l'estimateur des « moindres carrés pondérés » plutôt que sur base de l'estimateur classique des « moindres carrés ordinaires ». Cette démarche, qui a nécessité la construction d'un nouvel algorithme programmé via le logiciel Statistica, conduit à relativiser l'importance de chaque secteur statistique en fonction du volume de travailleurs au lieu de résidence ou en fonction du volume d'emploi. Intuitivement, cette démarche est aisément compréhensible dans le cas d'une régression simple, ne mettant donc en relation que deux variables et consistant à ajuster une droite traversant un nuage de points. Dans notre cas, l'ajustement ne consistera pas à minimiser la somme des écarts aux carrés entre l'ensemble des points et la droite de régression, mais plutôt à minimiser les écarts aux carrés pondérés en fonction de l'importance de chaque point. Par rapport à l'estimateur des moindres carrés ordinaires, la droite tendra donc à se rapprocher des points importants et, à l'inverse, à s'écarter des points les moins porteurs d'informations.

2.3.3 Méthodologie utilisée dans la gestion de l'hétérogénéité spatiale

Afin de produire *la part modale attendue en tout point pour chaque mode alternatif à la voiture*, il est nécessaire de solutionner le problème technique généré lors de la réalisation des modèles de régression sur des données spatialisées. Une source importante de difficultés correspond à l'hétérogénéité spatiale, c'est-à-dire la variabilité de la relation fonctionnelle à travers l'espace. Concernant les modèles qui rendent compte des relations entre l'accessibilité et les choix de modes de transports, il existe une hétérogénéité spatiale en ce sens que des mêmes valeurs d'accessibilité vont, en fonction du contexte, déterminer des pratiques de mobilité différenciées.

A l'échelle wallonne, nous avons observé qu'une même accessibilité potentielle par l'ensemble des modes alternatifs ne génère pas nécessairement d'identiques pratiques modales. Ces écarts, traduits en résidus lors de nos régressions, possèdent une distribution spatiale qui nous permet d'isoler des facteurs complémentaires. Ceux-ci, après intégration dans nos formules de régression, permettent de mieux faire correspondre accessibilité et parts modales observées.

En réalité, plusieurs possibilités s'offrent à nous pour résoudre le problème de l'hétérogénéité spatiale. Le découpage du territoire régional en zones homogènes en est une première, par exemple en tenant compte du degré d'urbanisation. Nous n'avons pas retenu cette solution car elle ne permettait pas l'établissement d'une cartographie continue ; des « sauts de valeur » apparaissant à chaque limite de zone. Une seconde possibilité technique pourrait consister dans la réalisation de modèles avec extension des variables indépendantes. Il s'agit là de modèles où les variables indépendantes varient en fonction d'autres variables. Une troisième et fort semblable solution, celle que nous avons retenue, est de procéder de manière itérative. Voici les étapes de la méthodologie utilisée :

1. Calcul de l'accessibilité moyenne par secteur statistique ;
2. Recherche de la forme de la courbe de régression unissant part modale et accessibilité (via une agglomération des secteurs statistiques en 30 points, représentant des classes d'accessibilité déterminées à population égale) ;
3. Calcul de la formule de régression et du coefficient de corrélation, à la fois pour l'ensemble de la Région wallonne et pour différents types de sous-territoires (provinces, régions urbaines, typologie des communes basée sur leur degré d'urbanisation...) ;
4. Cartographie des résidus suivie de l'analyse de leur distribution spatiale et ce, aux différentes échelles (par secteur statistique et par commune). De nouveaux critères permettant de mieux faire coller accessibilité et parts modales sont déduits. Ceux-ci peuvent prendre différentes formes : soit l'introduction de nouveaux facteurs, soit la modification de facteurs pris en compte jusque-là afin de les faire correspondre mieux encore à la réalité ;
5. Calcul et recherche des données correspondant le mieux à ce nouveau facteur ;
6. Introduction du facteur dans la relation mathématique unissant part modale et accessibilité ;
7. Calcul du nouveau coefficient de corrélation et cartographie des résidus, c'est à dire reprendre au point 3 ... ;

On procède de la sorte jusqu'à ce que les coefficients de corrélation soient jugés très satisfaisants et/ou que la distribution spatiale des résidus se présente de façon absolument aléatoire.

L'analyse des écarts aux modèles (résidus) a permis de mettre en évidence différents facteurs explicatifs supplémentaires utiles à intégrer dans le processus de calcul, et ce, dans le but de minimiser l'impact des hétérogénéités spatiales. Nous les détaillons au point 2.3.4. tandis que le point 2.3.3.1. reprend l'état de nos réflexions sur l'introduction de facteurs socio-économiques.

2.3.3.1 Prise en compte de facteurs socio-économiques

Certaines variables socio-économiques sont susceptibles d'expliquer la distribution spatiale des modes de transports choisis. Par exemple, concernant les régressions menées au lieu de résidence, nous avons pu vérifier que l'utilisation de la voiture est, pour une même accessibilité par les modes alternatifs, plus importante là où les revenus sont plus élevés. L'insertion des revenus moyens par secteur statistique dans le modèle devrait ainsi permettre de prendre en compte leur influence sur l'usage préférentiel d'un mode par rapport aux autres.

De même, les résultats relatifs aux régressions établies au lieu de travail confirment que les profils de mobilité des activités influencent les choix modaux. Il est par exemple clairement apparu que l'utilisation de la voiture est plus importante lorsque les emplois sont à caractère industriel et moins importante pour les activités du tertiaire public, et cela, rappelons-le, indépendamment du profil d'accessibilité. Au lieu de travail, l'insertion des codes NACE par

secteur statistique devrait permettre d'intégrer un correctif dans nos régressions. Un « tri » a été fait pour regrouper les secteurs d'activité selon leur influence sur le choix modal des usagers. Trois groupes de secteurs d'activités ont été distingués sur base de la comparaison entre :

- la situation observée concernant la relation entre part modale des alternatives à la voiture et accessibilité spécifique à chaque secteur d'activité ;
- la situation attendue (matérialisée par la courbe de régression relative à l'ensemble des secteurs d'activité) ;

Un tel classement en trois groupes (groupe 1 : observé > attendu, c'est-à-dire les activités générant un usage accru des modes alternatifs à la voiture ; groupe 2 : observé \cong attendu, c'est-à-dire les activités neutres ; groupe 3 : observé < attendu, c'est-à-dire les activités générant un recours accru à la voiture) a été opéré sur base d'une étude réalisée dans le contexte bruxellois (VANDERMOTTEN C., 2000-2).

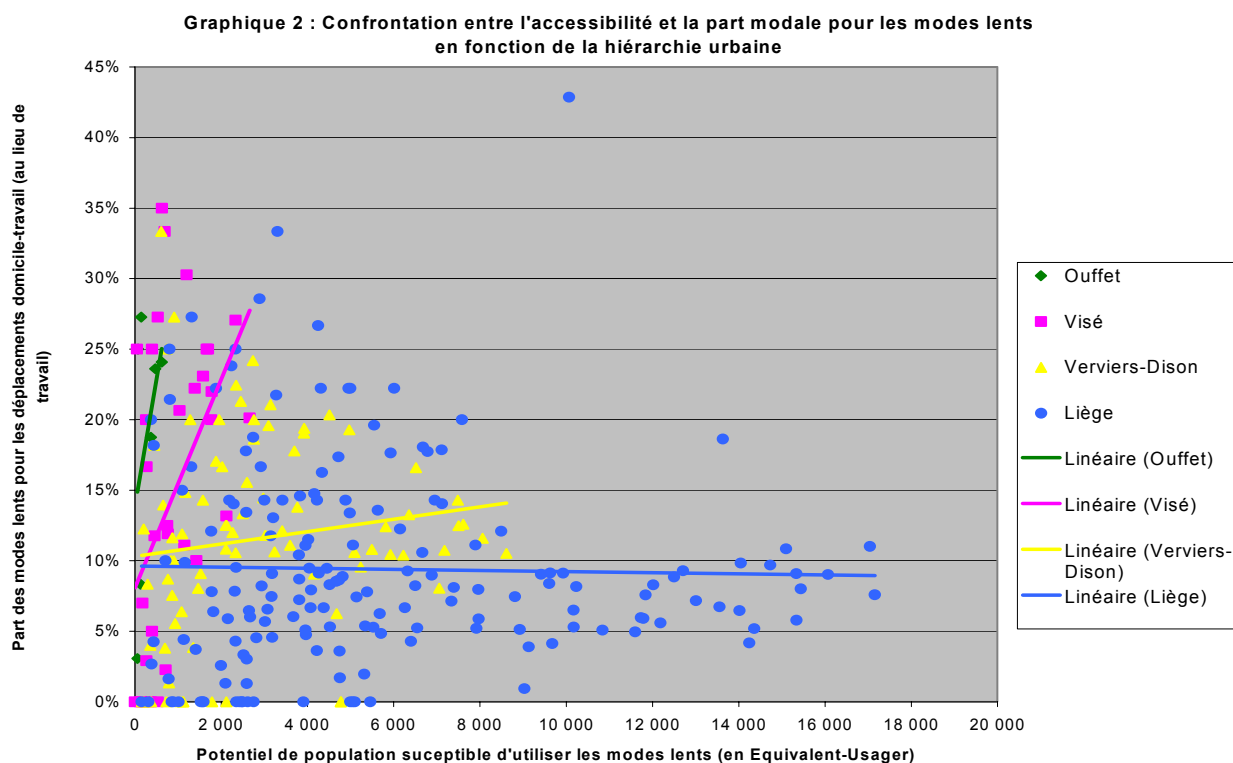
Ces deux pistes de travail n'ont pas encore pu être exploitées car cela supposait l'obtention de nouvelles données de la part de l'INS (tables croisant mode de transport avec des variables socio-économiques pour chaque secteur statistique). La réception de celles-ci s'est fait attendre plusieurs mois et nous n'avons donc pas eu le temps matériel d'exploiter ces nouvelles données.

2.3.4 Correctifs au niveau macro

Les mesures d'accessibilité exposées au point 2.2. donnent de bons coefficients de corrélation quand on s'intéresse à un territoire restreint (à l'échelle d'une commune ou d'un ensemble limité de communes). Ces coefficients diminuent rapidement lorsqu'on considère de plus vastes territoires (l'ensemble du territoire wallon). Il apparaît alors d'important résidus distribués de façon non aléatoire. Les résidus positifs ont tendance à se concentrer dans certaines régions. Sur base de leur distribution, nous pouvons isoler des facteurs jouant à cette échelle. C'est donc sur la mise au point des correctifs visant à compléter la bonne corrélation au niveau micro par une bonne corrélation au niveau macro que nos recherches se sont principalement concentrées ces six derniers mois.

2.3.4.1 Modifications spécifiques aux modes lents

Il existe une très forte hétérogénéité spatiale quant à la relation entre l'accessibilité par les modes lents (calculée en tant que potentiel de population dans un rayon de 1 600 m) et les parts modales afférentes. Plus précisément, les premiers essais de régressions indiquent que, pour un même potentiel de population susceptible d'utiliser les modes lents, l'usage de ceux-ci se réduit lorsque l'on progresse dans la hiérarchie urbaine. Les résultats repris dans le graphique ci-dessous montrent que, pour les grandes agglomérations (par exemple Liège ou Verviers), la part conjointe des déplacements piétons et cyclistes est presque indépendante de ce potentiel. Par contre, au sein des noyaux de petite taille (par exemple Visé et plus encore Ouffet), la relation est claire: il existe un très fort différentiel de pratiques entre le centre aggloméré et les parties périphériques.

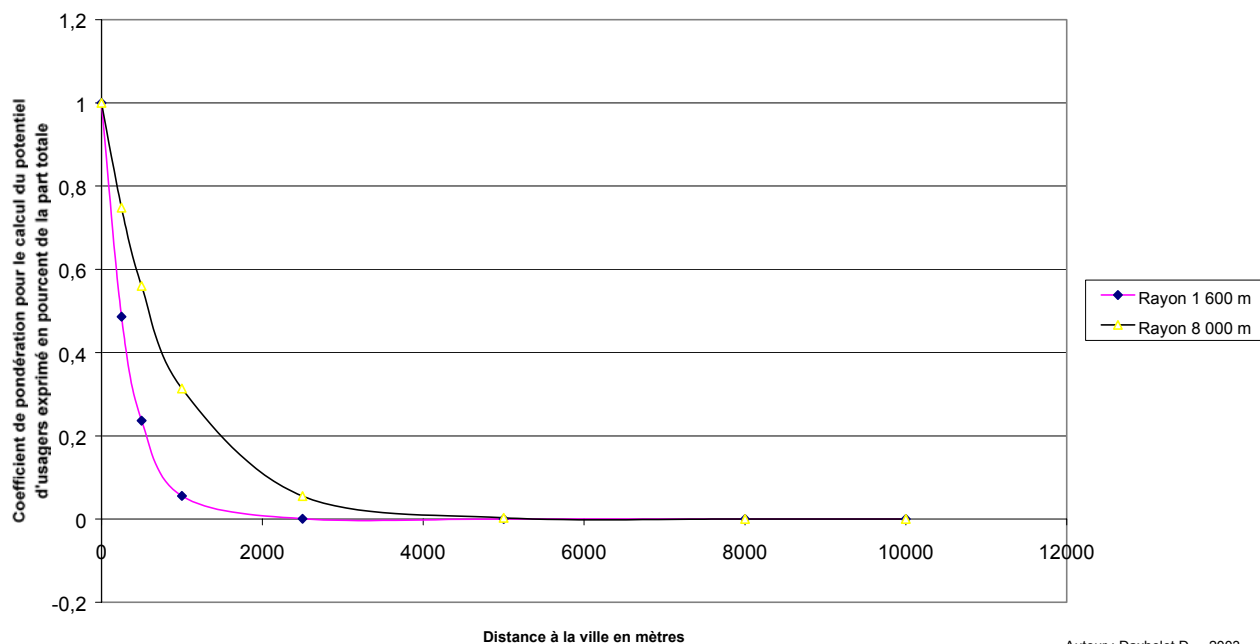


Une solution consiste à relativiser ces valeurs d'accessibilité (qui représentent en fait un calcul de densité de population pondéré par la distance dans un rayon de 1 600 mètres) par un potentiel de population représentatif de l'ensemble des personnes susceptibles de se rendre en ce lieu par d'autres modes de transport. Ce potentiel tient compte de la distribution de la population sur le territoire ainsi que de la relation qui lie la distance à parcourir avec la probabilité d'effectuer un déplacement vers un lieu quel que soit le mode utilisé.

Ces relations peuvent être extraites des résultats de l'enquête sur la mobilité des ménages réalisée par le GRT-FUNDP. Plusieurs essais sur la forme de la courbe ainsi que sur la distance maximum à considérer ont été réalisés. Nous avons retenu une distance maximum de 8 000 m à vol d'oiseaux ce qui correspond approximativement à 10 – 12 km parcouru (optimum entre l'objectif de précision et la minimisation des temps de calcul). La courbe retenue répond à l'équation suivante :

- Coefficient de pondération relatif à la distance horizontale = $1 * \exp(-0.00289 * \text{distance en m})$ pour un rayon de 1 600 m,
- Coefficient de pondération relatif à la distance horizontale tous modes confondus = $1 * \exp(-0.00116 * \text{distance en m})$ pour un rayon de 8 000 m.

Graphique 3 : Courbes des déplacements relatifs aux modes lents



Auteur : Daxhelet D., 2003

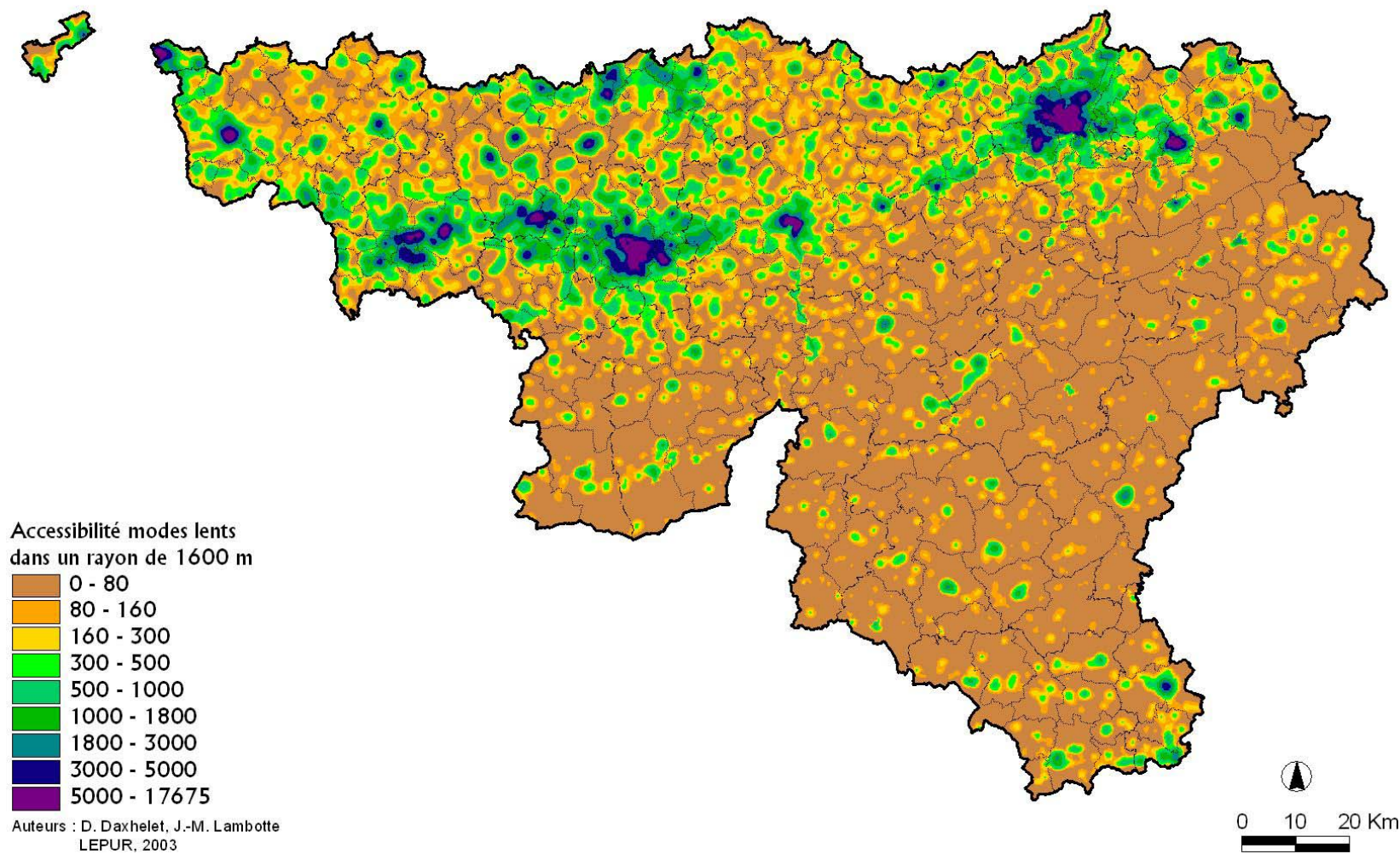
Les deux cartes de potentiel résultant de ces opérations sont jointes ci-après.

Ensuite, on procède à la division de l'une par l'autre. Après plusieurs tests, la nécessité d'ajouter un coefficient supplémentaire au dénominateur est apparue pour éviter une surestimation importante de la part modale attendue au centre de petites localités situées dans des régions très peu peuplées. En effet, plus qu'ailleurs, les résidents de ces régions rurales reculées sont contraints de parcourir des distances supérieures à la moyenne régionale pour se rendre à leur travail. L'opération finalement exécutée est :

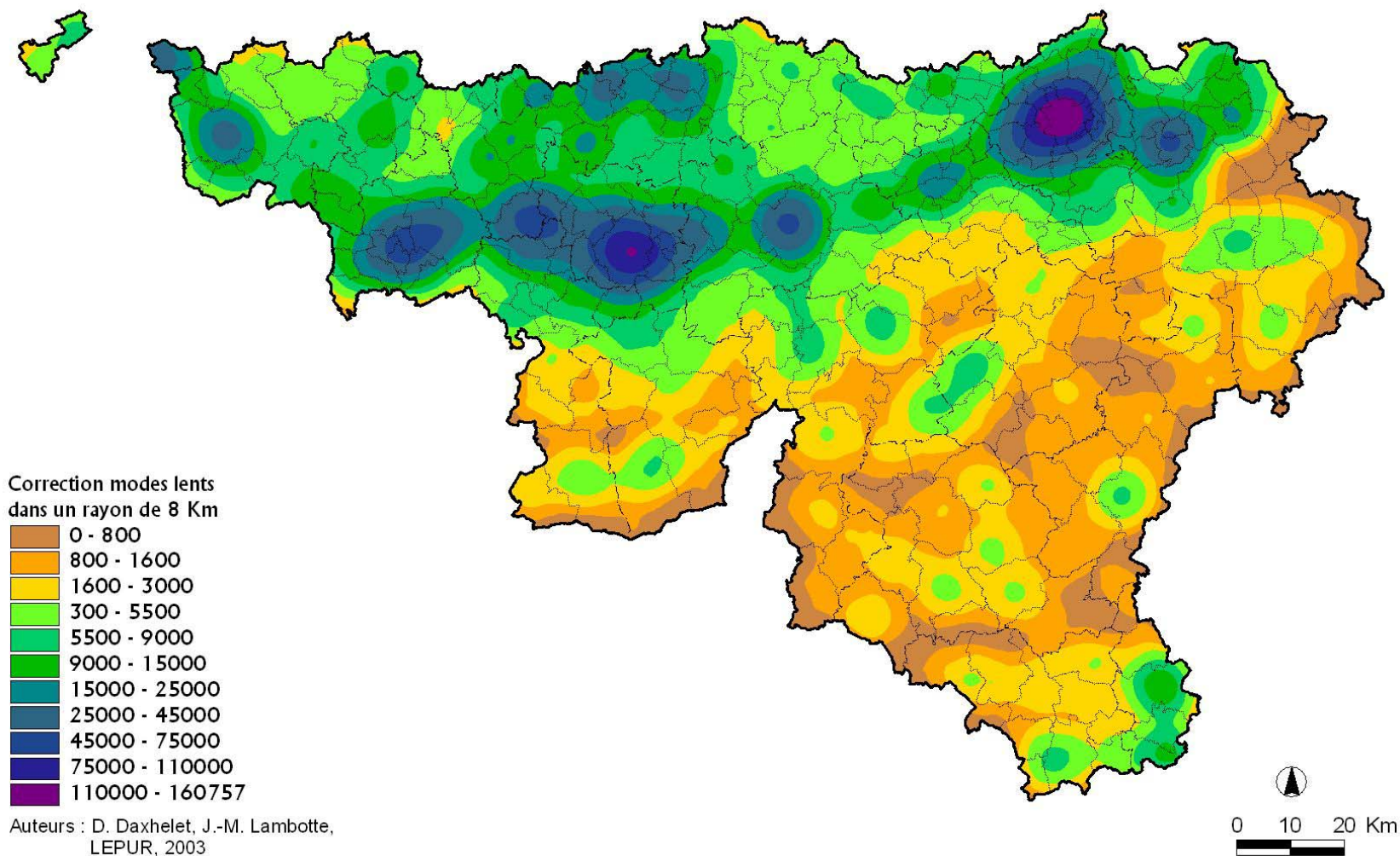
$$\frac{\text{Potentiel}_{\text{rayonde1600m}}}{\text{Potentiel}_{\text{rayonde8000m}} + 500}$$

Cette constante au dénominateur a donc un rôle d'autant plus faible que la région considérée est fortement urbanisée.

Accessibilité par les modes lents en Wallonie



Correction pour les modes lents en Wallonie



2.3.4.2 Correctifs pour les transports en commun au lieu de résidence

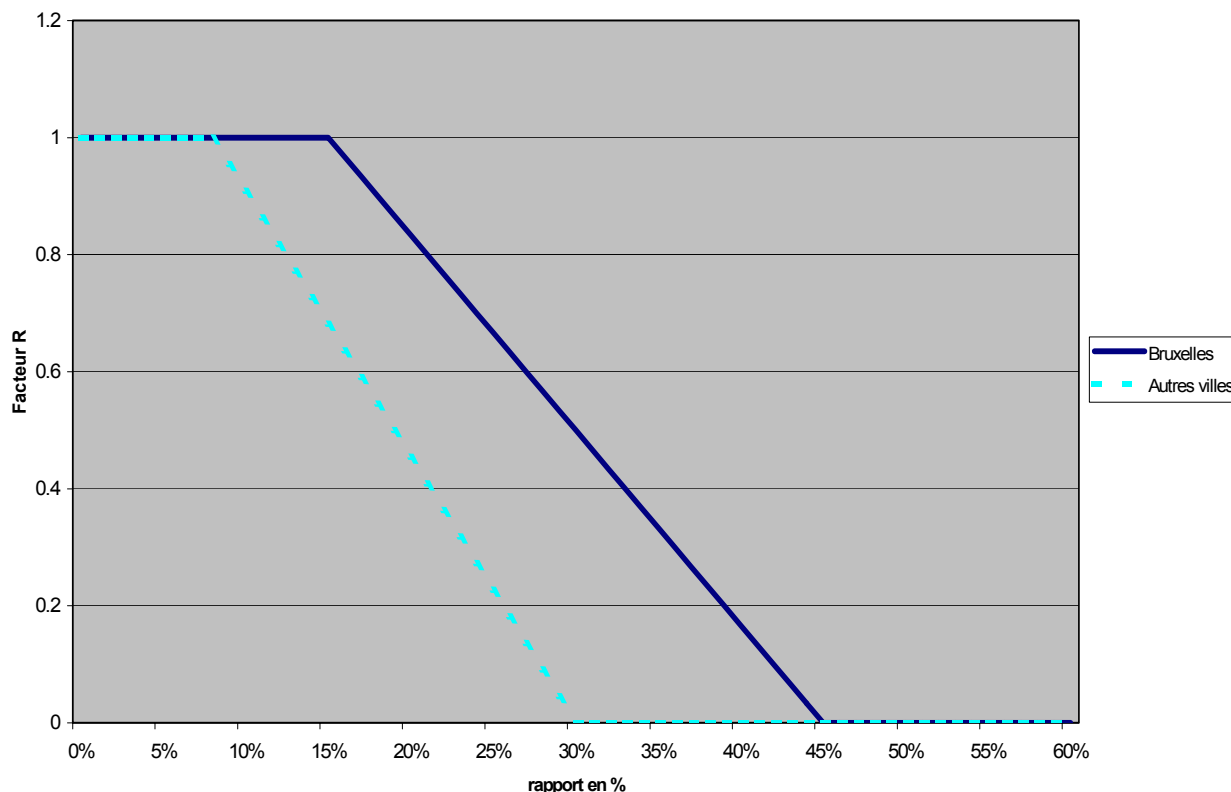
Ce correctif ne concerne pas l'accessibilité au lieu de travail car, après analyse des résidus, il n'apparaît pas nécessaire d'en appliquer un à l'échelle macro. Pour la Wallonie, notre programme donne en effet des accessibilités en transports en commun maximum à la place St Lambert à Liège pour le bus et à la gare de Liège-Guillemins pour le trains, qui correspondent à une réalité au lieu de travail et non à une réalité au lieu d'habitat.

a) Modifications spécifiques au train

Ces modifications viennent du fait que les modes de déplacements possibles entre le domicile et la gare de départ sont plus divers que ceux qu'il est possible d'utiliser entre la gare d'arrivée et le lieu de travail (utilisation de l'automobile quasi nulle et prépondérance de la marche à pieds).

On a constaté que l'augmentation du rayon d'influence autour des gares au lieu de résidence améliore le résultat (meilleur coefficient de corrélation) mais ne suffit pas en soi. La distance et le poids du pôle d'emploi que forme le centre des grandes villes vers lesquelles mènent les voies ferrées jouent également un rôle important dans les choix modaux. Nous avons donc inséré un correctif tenant compte de ces deux facteurs. Celui-ci se présente sous la forme d'une courbe type (présentée ci-dessous) et dont les caractéristiques sont propres à chaque grande ville. L'introduction de ce facteur dans le modèle de calcul, consiste en la combinaison d'autant de couches de valeurs issues de l'application de ces courbes.

Graphique 5 : Valeur du facteur R en fonction du rapport entre la distance à la gare et la distance à la ville considérée



Auteur : Daxhelet D., Lambotte J.-M., 2003

Le graphe indique tout d'abord une moindre utilisation du train par les populations vivant à proximité des centres des principales agglomérations autour desquelles s'organise le réseau ferré (faible utilisation des chemins de fer liée au fait que, pour l'essentiel, les résidents des centres urbains sont actifs au sein même de ces centres). Il indique ensuite un accroissement très rapide de la part du train, atteignant un maximum dans la couronne périphérique (personnes travaillant en grande proportion dans les centres urbains mais dont la résidence est trop éloignée pour encore utiliser la marche à pieds ou le bus), et enfin une diminution aux distances plus importantes (pour une grande proportion de ces personnes, leur lieu de travail est extérieur aux centres urbains). Ce correctif fonction de la distance joue pour 9 villes wallonnes (Liège, Namur, Charleroi, Mons, La Louvière, Verviers, Tournai, Mouscron et Arlon) et 2 villes extérieures à la région : Bruxelles et Luxembourg.

De forme absolue le correctif va de - 21 à + 6.5 % de la part modale. Et il s'effectue également pour les zones situées à plus de 3 km d'une gare, on peut donc grâce à ce correctif atteindre une part attendue se rapprochant de 4 ou 5% dans la grande périphérie Bruxelloise en des localités éloignées de gares ; ce qui reflète assez fidèlement les pratiques observées.

Le centre considéré comme distance zéro est la place principale de la ville (Grand Place de Bruxelles et de Mons, Place Saint-Lambert à Liège, Place d'Armes à Namur et à Luxembourg, Place Verte à Verviers...).

La formulation de cette courbe se décompose en deux parties, délimitée par X_{\max} :

- Courbe 1 : $Y = -b + a * \sin\left(\frac{X * (\pi / 2)}{X_{\max}}\right)$

• Courbe 2 :
$$Y = \frac{a - b}{\cosh((X - X_{\max})/c)}$$

Pour chaque ville, nous avons fixé les 4 paramètres : **a**, **b**, **c** et **X_{max}**.

La logique suivie pour fixer ces paramètres tient compte du poids des villes au vu du volume d'emplois présents au centre, excepté pour le paramètre **b** que nous exposerons plus tard. Les coefficients de ces courbes seront extraits de l'analyse des résidus, la difficulté étant de parvenir à faire la part de l'influence de chaque ville, c'est pourquoi nous avons procédé de manière itérative.

Plus le volume d'emploi au centre de la ville est important, plus la différence entre **a** et **b** sera importante et plus la valeur de correction sera positive à une distance **X_{max}** de la ville considérée.

Les facteurs **c** et **X_{max}** ont également une valeur d'autant plus importante que le volume d'emploi au centre de la ville est important. Le facteur **c** agit sur l'inflexion de la courbe après le maximum. Cela signifie que les majorations importantes en valeur absolue à apporter à la part attendue s'étendent sur de très nombreux kilomètres autour de Bruxelles tandis que cette majoration s'estompe rapidement une fois que l'on s'éloigne de plusieurs dizaines de kilomètres de villes moyennes comme Tournai, Verviers, Mouscron ou Arlon.

X_{max} détermine la distance au centre urbain pour laquelle la correction atteint son maximum (maximum déterminé par le résultat **a-b**). L'importance de cette distance est directement proportionnel à l'importance de la ville considérée. Dans le même temps, l'effet négatif lié à la proximité immédiate d'un centre ville s'estompera d'autant plus vite (le correctif redevenant positif) que l'importance du volume d'emploi de la ville est réduit.

Concernant le facteur **b** (correctif en valeur négative à appliquer au centre de chaque ville, c'est-à-dire quand $X = 0$), nous nous attendions à ce qu'il soit également lié directement au volume d'emploi concentré dans les centres urbains. Or, semble que d'autres facteurs importants - non encore compris - influencent ce paramètre. Si **b** respecte la logique attendue quant on passe successivement de Bruxelles à Liège, puis de Liège à Charleroi et de Charleroi à La Louvière, ce n'est pas le cas ailleurs en Wallonie. Ainsi, dans les centres villes de Namur, Tournai et Mons, la valeur de **b** fixée est beaucoup plus réduite que ne le laisse supposer le poids de ces villes en terme d'emplois dans leurs centres. A l'opposé, à Mouscron, la valeur de **b** semble devoir être plus importante que ne le laisse supposer son poids en nombre de travailleurs employés dans le centre-ville.

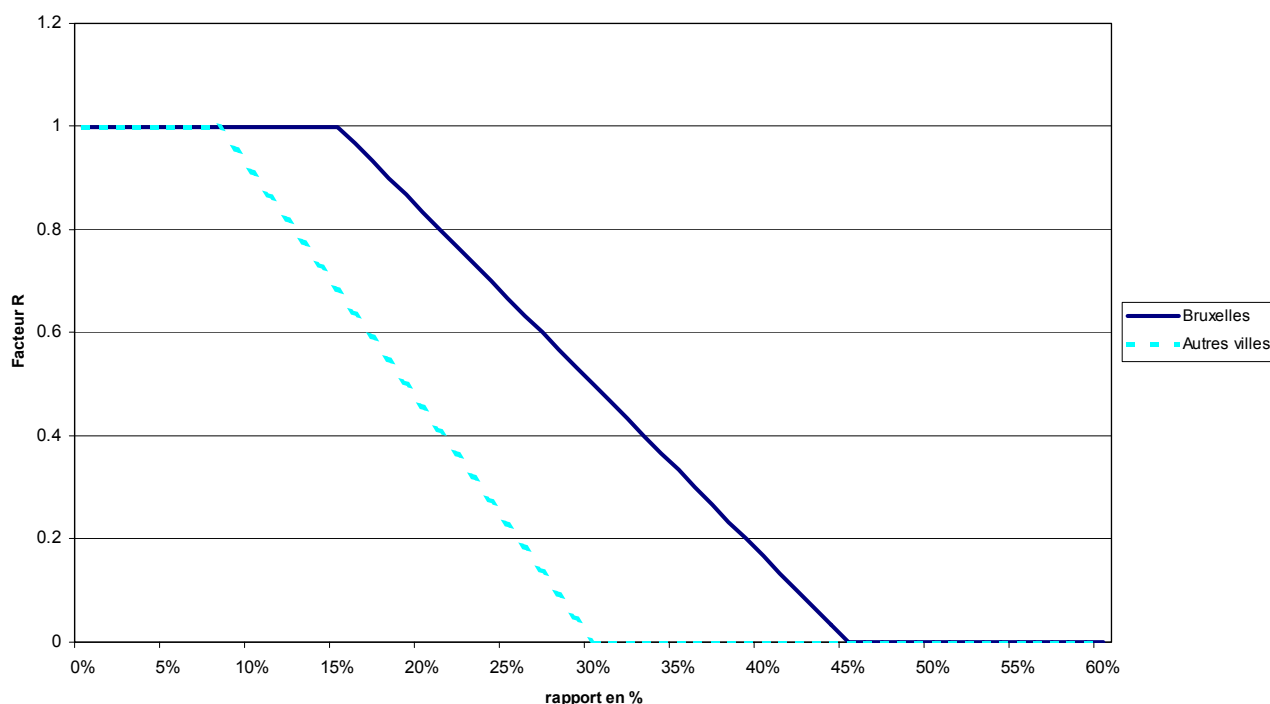
Les quatre paramètres sont déterminés de façon quelque peu subjective (la subjectivité initiale est néanmoins atténuée par les ajustements successifs opérés après chaque analyse des résidus). Une fois ceux-ci fixés pour chacune des onze villes, on calcule en tout point de l'espace la valeur corrigée liée à la distance à chacune de ces villes considérées séparément, en utilisant telles qu'elles les deux formules (voir ci-dessus). Nous obtenons ainsi onze corrections que nous nommerons : $Corr_{Bxl}$, $Corr_{Lg}$, $Corr_{Nam}$, $Corr_{Lux}$...

Dans un second temps, nous combinons tous ces correctifs en les relativisant préalablement de deux manières différentes.

La première pondération se fait par la prise en compte, pour chaque point considéré dans le calcul du correctif, du rapport de la distance à la gare la plus proche sur la distance entre ce même point et le centre de la ville considérée. A partir du moment où la distance à la gare devient une fraction trop importante de la distance à la ville, la personne aura tendance à se rendre jusqu'au centre ville sans prendre le train malgré qu'elle soit située dans une zone pour laquelle l'étape précédente fourni une valeur nettement positive.

Nous avons donc considéré un facteur **R** compris entre 1 et 0 qui multiplierait le correctif précédemment calculé en tout point et ce, indépendamment pour chaque ville. Ce facteur **R** serait égal à 1 lorsque la distance à la gare ne représente qu'une part très réduite de la distance à la ville concernée. Il serait égal à 0 lorsque le rapport entre ces deux distances devient très significatif. Nous avons fixé la valeur de ces rapports de distances minimum et maximum à 8 et 30% pour dix des onze villes considérées. A Bruxelles, vu l'importance de la congestion routière et des problèmes de parking au centre, il apparaît que les gens sont prêts à effectuer une plus longue distance avant de prendre le train proportionnellement à la distance à la ville. Ces rapports seuils sont dès lors fixés respectivement à 15 et 45%. Entre

Graphique 5 : Valeur du facteur R en fonction du rapport entre la distance à la gare et la distance à la ville considérée



Auteur : Daxhelet D., Lambotte J.-M., 2003

ces deux extrêmes, nous avons considéré que le facteur **R** évoluait de façon linéaire en fonction du rapport de distance.

La formulation mathématique de ce correctif est :

$$\text{Corr}_{\text{Bxl}}' = \text{Corr}_{\text{Bxl}} * R, \text{Corr}_{\text{Lg}}' = \text{Corr}_{\text{Lg}} * R, \text{Corr}_{\text{Nam}}' = \text{Corr}_{\text{Nam}} * R \dots$$

Avec **R = 1** si $0\% < r_n < 15\%$, **R = - 3.33*r_n + 1.5** si $15\% < r_n < 45\%$ et **R = 0** si $r_n > 45\%$ pour Bruxelles.

Et avec **R = 1** si $0\% < r_n < 8\%$, **R = - 4.55*r_n + 1.36** si $8\% < r_n < 30\%$ et **R = 0** si $r_n > 30\%$ pour toutes les autres villes.

Avec r_n égale au rapport entre la distance à la gare la plus proche et la distance à la ville **n** considérée.

Ce facteur **R** ne joue toutefois que là où le correctif calculé à l'étape précédente est positif car, à proximité du centre ville, même si l'on se situe plus près d'une gare il y a très peu de chance pour que l'on prenne le train.

La seconde pondération consiste en la combinaison de l'effet individuel de la distance à une ville avec la proximité de chaque autre ville ; pour obtenir un correctif global tenant compte des onze villes à la fois.

Par rapport à une ville et pour une distance donnée, le correctif n'a pas la même importance dans toutes les directions ; on observe un effet d'anisotropie. Cet effet est fonction du poids de chaque autre ville et de la distance à chacune d'elles.

Une simple addition des correctifs ne rend pas cet effet d'anisotropie. La correction doit donc se rapprocher d'un modèle gravitaire, le poids des villes étant à nouveau fonction du volume d'emploi dans le centre (voir tableau 1). Nous utilisons pour ce faire la formule suivante (celle-ci s'inspire directement de la formule de la loi de la gravité) :

$$\bullet \text{ } Corr_{Tot} = A * Corr_{Bxl} + B * Corr_{Lg} + C * Corr_{Nam} + \dots + H * Corr_{Arl}$$

$$\bullet \text{ } A = \frac{PoidsBxl/(1 + distBxl)}{[PoidsBxl/(1 + distBxl)] + [PoidsLg/(1 + distLg)] + \dots + [PoidsArl/(1 + distArl)]}$$

$$\bullet \text{ } B = \frac{PoidsLg/(1 + distLg)}{[PoidsBxl/(1 + distBxl)] + [PoidsLg/(1 + distLg)] + \dots + [PoidsArl/(1 + distArl)]}$$

$$\bullet \text{ } C = \dots$$

Perspectives pour la poursuite de la recherche

Pour la relation domicile – gare, comme une grande partie de ces trajets se fait en voiture, ces déplacements sont la source d'importantes émissions de CO₂ qu'il convient de mesurer. Il nous a semblé utile d'étudier plus finement le mode de transport utilisé pour ce type de déplacements. Pour ce faire, nous utiliserons les données de l'INS relatives à l'ensemble des modes utilisés en isolant en leur sein les utilisateurs du train. Nous tenterons d'extraire de cette analyse les facteurs qui expliquent la distribution spatiale des parts associées à chaque mode pour la relation domicile-gare.

Tableau 56 - Valeurs des paramètres utilisés lors du calcul du correctif lié à la distance aux grandes villes

Ville	a	b	c	X _{max} (en Km)	Condition sur le rapport dist. gare / dist.ville		Poids
					Rapport max (R = 0)	Rapport min (R = 1)	
Bruxelles	30	21	35	30	45	15	36
Luxembourg	14	0.5	30	25	30	8	20
Liège	13	11	18	21	30	8	7
Namur	4	0.5	15	18	30	8	7
Charleroi	9	7	12	18	30	8	5
Mons	3	1	12	16	30	8	3.5
La Louvière	8	7	10	14	30	8	1.5
Verviers	8	7	8	12	30	8	2
Tourmai	3	2	8	12	30	8	1.5
Mouscron	8.5	8	8	12	30	8	1.5
Arlon	7.5	7	8	12	30	8	2

b) Correction relative au bus au lieu de résidence

La couverture de bus sera d'ici peu entièrement finalisée. Les corrections à apporter à l'échelle macro pourront donc être calculées prochainement. Nous savons néanmoins qu'elles devraient présenter la même logique que celles apportées au train. Néanmoins, le nombre d'agglomérations concernées sera considérablement plus élevé en ce qui concerne la desserte des bus. Nous simplifierons donc la recherche des valeurs des paramètres associés à chacune des villes en tenant compte d'une hiérarchie de ces pôles en 4 classes (depuis les métropoles jusqu'aux petites villes inscrites dans le SDER en tant que pôle d'appui en milieu rural). Certaines polarités non reprises comme telles au sein du SDER feront partie de cette 4^{ème} classe : des petit pôles en milieu rural comme Andenne ou Peruwelz et des pôles secondaires au sein de grandes agglomérations comme Ans, Fléron, Herstal, Gosselies, Châtelet ...

Le correctif prendra toutefois une forme relative plutôt qu'absolue - comme c'est le cas pour le train – la prise en compte de ce correctif dans l'estimation de la part modale ne sera donc pas réalisée de la même manière.

Dans le cas du train au lieu de résidence, la correction tient compte de la fréquente utilisation de ce mode pour se rendre au travail par des gens résident loin d'une gare (plus des trois kilomètres utilisés pour le calcul de l'accessibilité à l'échelle micro) et à une distance d'une grande ville rendant le train attrayant.

Dans le cas du bus au lieu de résidence, la proportion des gens vivant au-delà de la distance seuil fixée pour le calcul d'accessibilité micro (500 m d'un arrêt à vol d'oiseau) et utilisant le bus est bien plus insignifiante. Pour le bus, il faut donc adopter une autre méthode de calcul de ce correctif.

- Formulé mathématiquement, on obtient la part modale attendue du train en appliquant les opérations suivantes :
 - $PartModaleTrainObservée - CorrectifDistVillesTrain = PartModaleTrainObservéeCorrigée$
 - Le résultat de la corrélation entre la $PartModaleTrainObservéeCorrigée$ et l' $AccessibilitéMicroEnEquivalentTrain$ permet d'obtenir la $PartModaleTrainAttendue$.
- Formulé mathématiquement, on obtiendra la part modale attendue du bus en appliquant les opérations suivantes :
 - $AccessMicro(équivalentBus) * CorrectifDistVillesBus = AccessMicroCorrigée(équivalentBus)$
 - Le résultat de la corrélation entre la $PartModaleBusObservée$ et l' $AccessibilitéMicroCorrigéeEnEquivalentBus$ permet d'obtenir la $PartModaleBusAttendue$.

A moins de 500 m d'un arrêt de bus, le correctif relatif au bus varie entre 25 et 100 % à proximité immédiate du centre de chaque ville. Une fois celui-ci distant de quelques kilomètres, il atteindra une valeur maximale (légèrement supérieur à 100 %) avant de revenir progressivement à 100 %. Partout ailleurs le correctif ne change rien.

Nous utiliserons donc des formules produisant le même type de courbe que celle présentée au graphique 4. Ensuite, c'est à nouveau de l'analyse de la distribution des résidus de la régression que nous pourrons fixer de façon itérative la valeur des différents paramètres relatifs à chaque ville.

2.3.5 Résultats et pistes en vue de la finalisation

2.3.5.1 Résultats

Dès à présent, trois types de résultats peuvent être présentés :

- La cartographie des parts modales attendues et ce pour les quatre types de part modales :

- Part modale des modes lents au lieu de résidence ;
- Part modale des modes lents au lieu de travail ;
- Part modale du train au lieu de résidence ;
- Part modale du train au lieu de travail.
- Les coefficients de corrélation lié à ces cartographies ;
- La cartographie des résidus moyens par commune, et ce pour les quatre types de parts modales (ces cartes ne seront pas présentées dans ce rapport).

a) Cartographie des parts modales attendues

Visuellement, les différentes cartes présentées dans ce rapport démontrent l'intérêt d'un tel travail. Le fait qu'il soit possible d'effectuer des zooms (la résolution des parts modales observées étant à l'échelle d'un pixel de 50 mètres sur 50) rend pertinente leur utilisation comme outils d'aides à la décision en terme de localisation d'activités et équipements divers.

Pour convertir nos valeurs équivalent - train et équivalent - modes lents en parts modales attendues, nous passons par différentes équations.

Au lieu de résidence :

- Pour le train

$$\Rightarrow \text{PartModaleAttendue} = 0.4 - \exp(a) * \exp(b * \text{AccTr}) * (c - d * \exp(e * \text{AccTr}))$$

avec $a = -1.724950$, $b = -0.001428$, $c = 0.26427$, $d = -0.742342$ et $e = -0.003624$.

- Pour les modes lents

$$\Rightarrow \text{PartModaleAttendue} = 0.4 - \exp(a) * \exp(b * \text{AccMl}) * (c - d * \exp(e * \text{AccMl}))$$

avec $a = -1.1834352$, $b = 0.04822$, $c = 0.508331$, $d = -0.802352$ et $e = -2.30499$.

Au lieu de travail :

- Pour le train

$$\Rightarrow \text{PartModaleAttendue} = 0.35 - \exp(a) * \exp(b * \text{AccTr}) * (c - d * \exp(e * \text{AccTr}))$$

avec $a = -0.7862103$, $b = -0.000989$, $c = -0.043200$, $d = -0.650618$ et $e = -0.00122$.

- Pour les modes lents

$$\Rightarrow \text{PartModaleAttendue} = 0.3 - \exp(a) * \exp(b * \text{AccMl}) * (c - d * \exp(e * \text{AccMl}))$$

avec $a = -1.077443$, $b = -0.069036$, $c = 0.040335$, $d = -0.720775$ et $e = -0.29585$.

b) Coefficients de corrélation

L'analyse statistique s'effectue selon une régression non linéaire pondérée par le poids de population des secteurs statistique concernés et utilise la méthode du Simplex. Les coefficients de corrélation sont donc à prendre avec la réserve d'usage lors d'une régression pondérée.

Pour les trains nous obtenons des coefficients de corrélations de 30,5% au lieu de résidence et de 48,7% au lieu de travail. Ce sont de bons résultats. Ils démontrent que nous avons pris en compte une bonne partie des facteurs influençant le choix modal du train tant au niveau macro qu'au niveau micro.

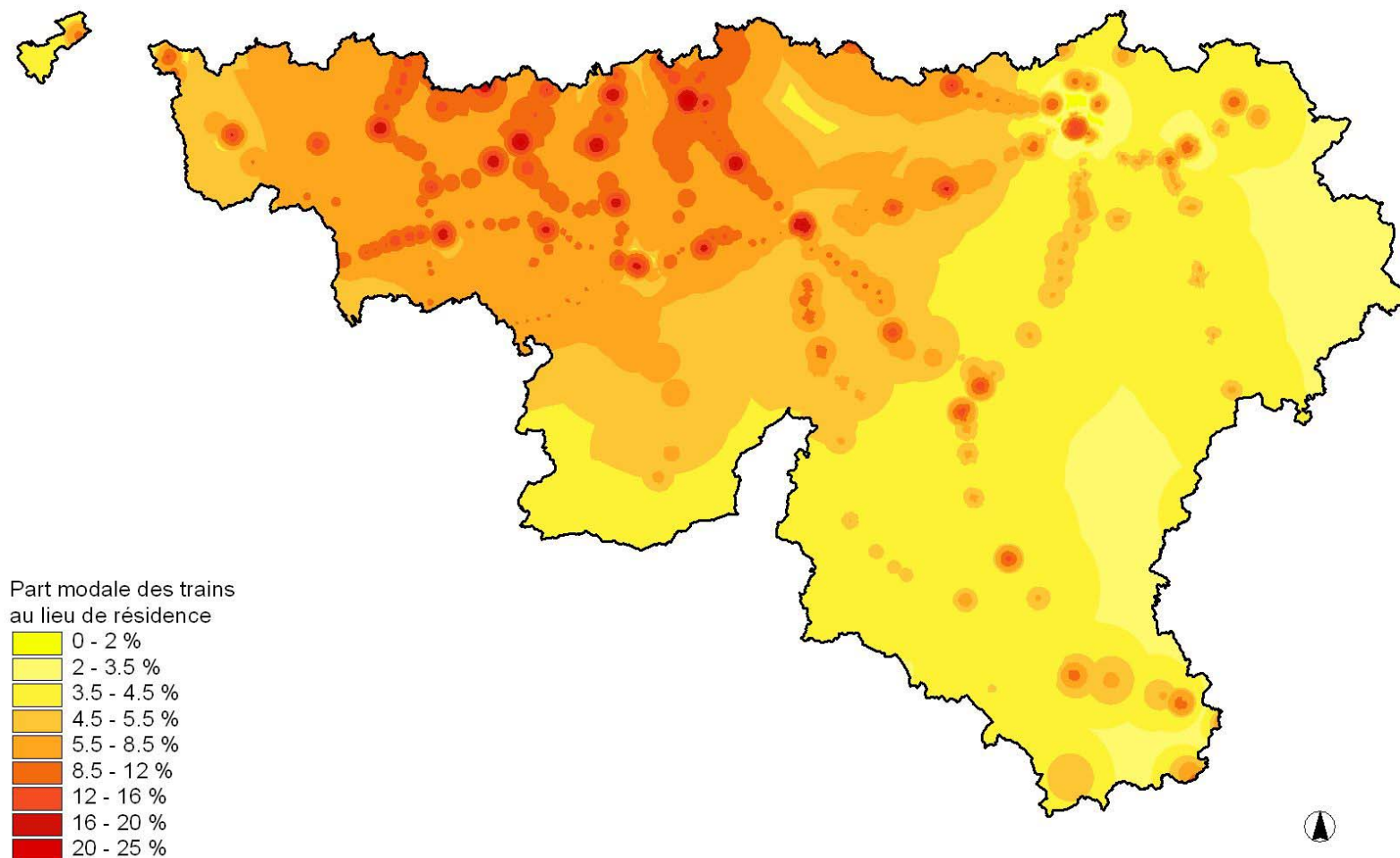
Pour les modes lents nous obtenons des coefficients de corrélations de 43,7% au lieu de résidence et de 9,3% au lieu de travail. Le résultat est bon au lieu de résidence et nous semble encore insatisfaisant au lieu de travail.

Il faut toutefois rester conscient que de nombreuses améliorations sont encore possibles. Cependant, chaque amélioration supplémentaire des coefficients va demander de plus en plus de temps et d'investissement de travail pour des améliorations de plus en plus faibles. Ceci en raison de la complexité des facteurs restant à intégrer. La question se pose donc de savoir si le jeu en vaut la chandelle vu le bon niveau des résultats actuels et la possibilité d'exploitation en l'état.

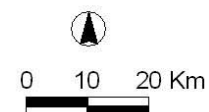
c) Cartographie des résidus

Cette cartographie nous permettra, avec l'aide du CREAT (Thème 1), de déterminer ou préciser les nouveaux facteurs à prendre en compte pour les ultimes améliorations du modèle.

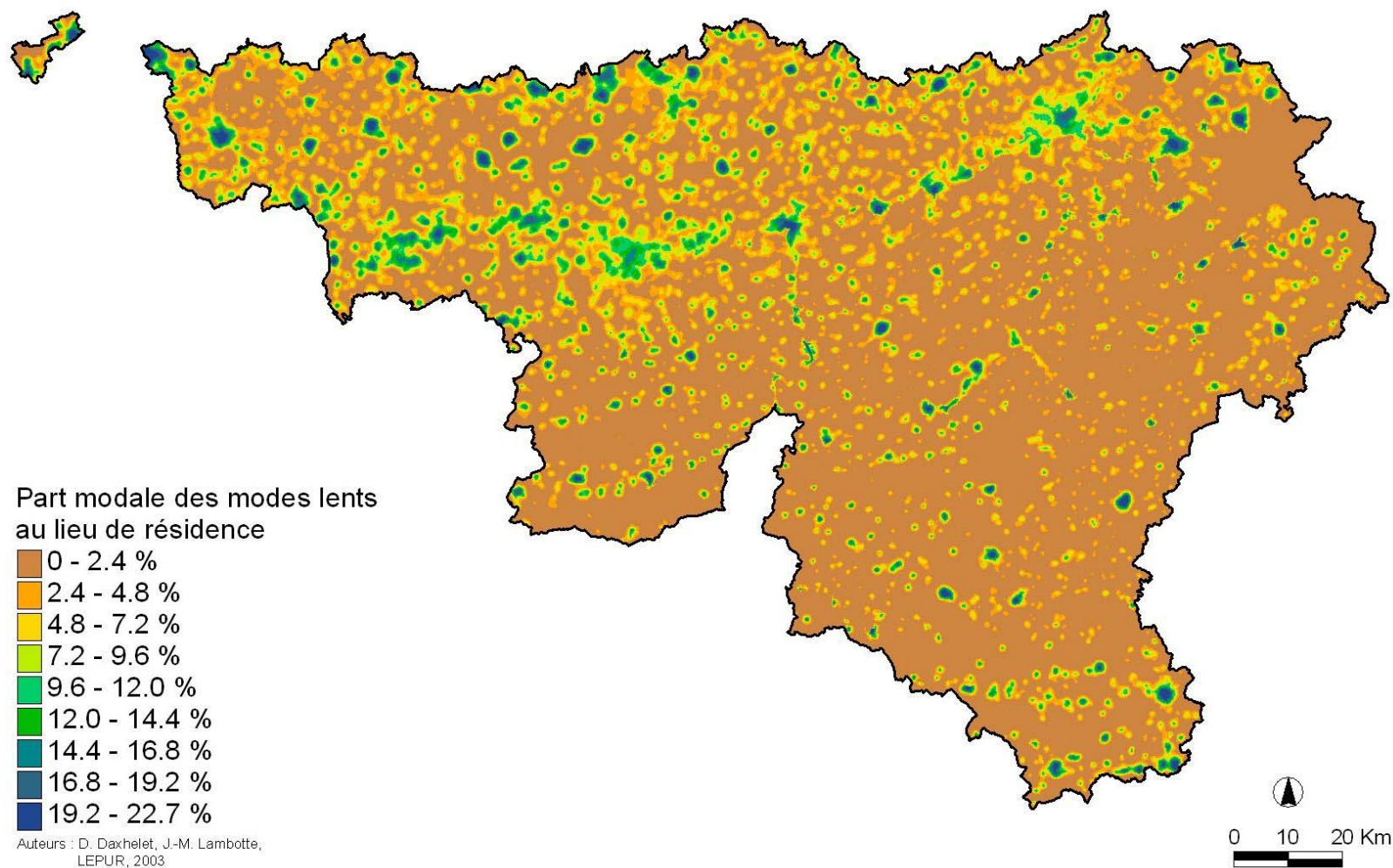
Part modale attendue pour les trains au lieu de résidence



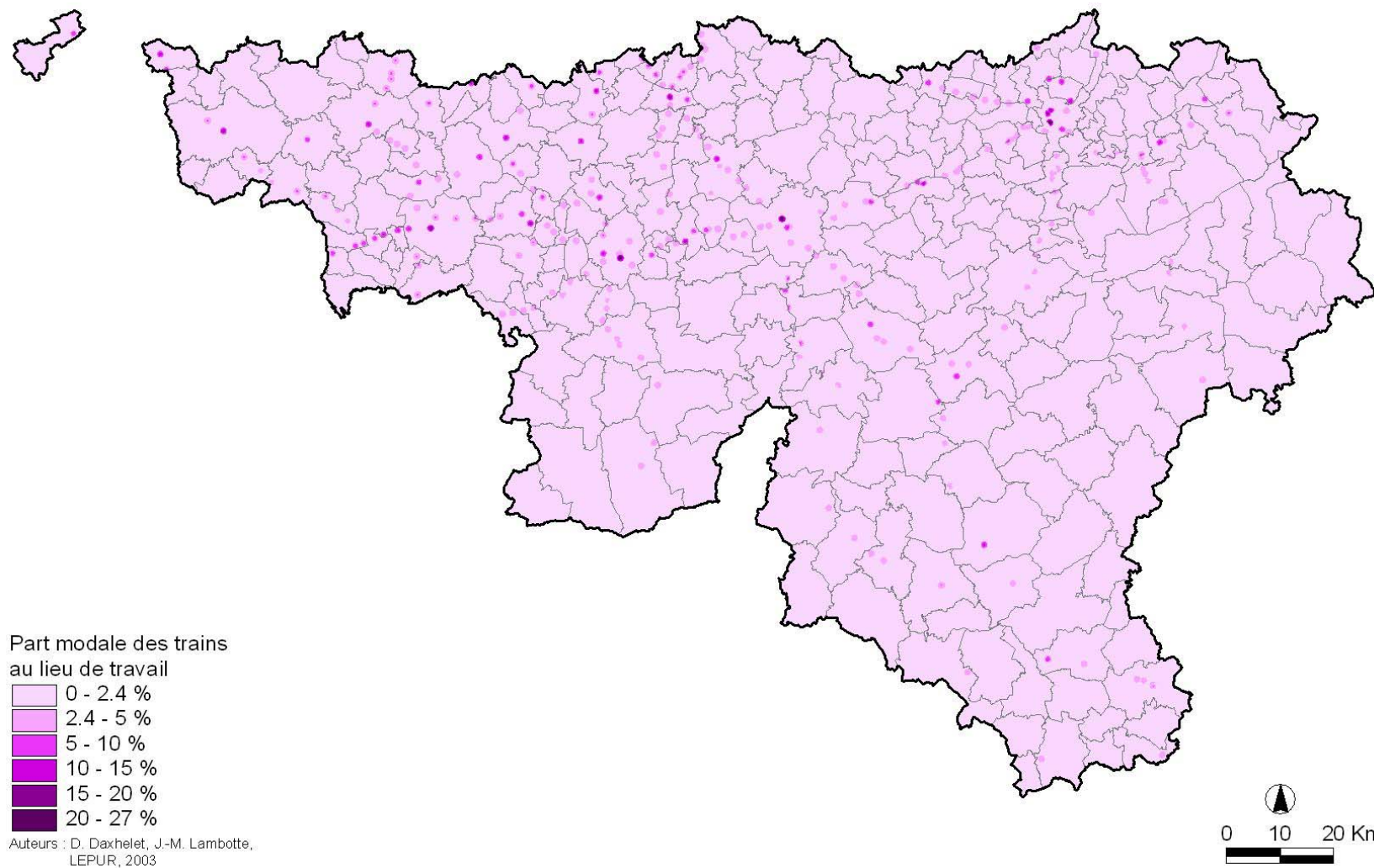
Auteurs : D. Daxhelet, J.-M. Lambotte,
LEPUR, 2003



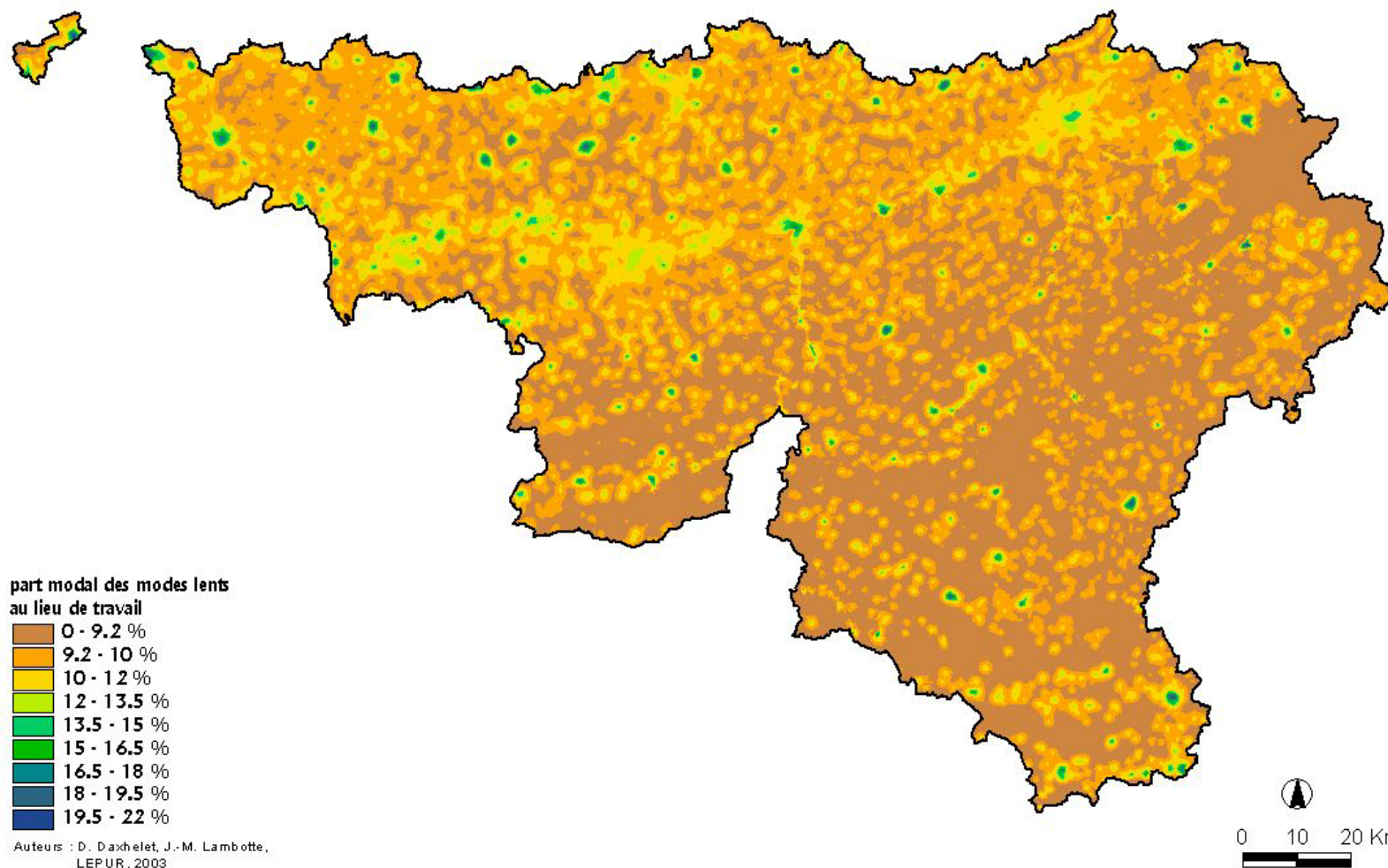
Part modale attendue pour les modes lents au lieu de résidence



Part modale attendue pour les trains au lieu de travail



Part modale attendue pour les modes lents au lieu de travail



2.3.5.2 Pistes en vue de la finalisation

Nous présentons ci-après les diverses étapes auquel vont être consacrées nos recherches lors du début de la subvention 2003-2004 :

- Finalisation de l'encodage des lignes De Lijn et du Grand Duché du. Détermination la valeur des différents paramètres à prendre en compte pour le calcul du « correctif distance aux grandes villes » pour l'estimation de la part modale bus au lieu de résidence ;
- Clôture de l'encodage et intégration des barrières dans le calcul de l'accessibilité par les modes lents; calcul de l'amélioration produite ;
- Prise en considération des facteurs socio-économiques pour l'amélioration des résultats des régressions ;
- Combinaison des trois parts modales attendues pour les différents modes alternatifs à la voiture en un indicateur unique (négatif de la part modale des déplacements voiture) ;
- Mise au point d'une méthode d'estimation de la part relative, parmi les utilisateurs du train, des personnes utilisant la voiture entre le domicile et la gare; en vue d'établir, lors des différents scénarios, les émissions de CO₂ subséquentes.

3. PRECISIONS RELATIVES AUX TROIS PHASES SUIVANTES

Le travail de modélisation se poursuivra, lors de la prochaine subvention, en plusieurs étapes. Une fois les parts modales disponibles, il s'agira :

1. de déterminer les distances parcourues pour chaque mode ;
2. d'en déduire les quantités de CO₂ émises ;
3. d'élaborer des scénarios d'aménagement du territoire (notamment en rapport avec le thème 3.1 sur le renouvellement urbain) et déduire pour chacun les quantités de CO₂ émises.

Ce cheminement s'appliquera en réalité aux seuls trajets en voiture. En effet, les modes lents n'occasionnent pas d'émissions de gaz à effet de serre. Quant aux transports en commun, ils seront pris en compte différemment à partir du kilométrage parcouru et des consommations actuelles pour l'ensemble des réseaux des TEC et de la SNCB¹. En effet, les distances parcourues en bus et en train ne différeront pas d'un scénario à l'autre, notre objet étant d'estimer les retombées de modifications de la demande (par des organisations différentes du territoire) et non de l'offre en transports.

3.1 DISTANCE MOYENNE PARCOURUE EN VOITURE ATTENDUE EN TOUT POINT DU TERRITOIRE

L'objectif est ici d'obtenir une estimation du nombre de kilomètres parcourus par voiture en tout point du territoire d'étude, considéré successivement comme lieu de résidence potentiel ou comme lieu de travail potentiel. Deux types de cartographie à l'échelle des pixels de 50 m sur 50 m seront donc produits. En outre, deux situations seront distinguées :

- Voiture en tant que mode principal : la distance moyenne parcourue en voiture peut être extraite des données 1991 par secteur statistique de l'INS.

¹ De cette consommation totale de carburant, nous déterminerons le volume à imputer aux déplacements domicile-travail en utilisant la part que représente ce motif dans les déplacements effectués en bus (enquête Mobel).

- Voiture en tant que complément au train : ceci concerne uniquement les déplacements effectués en voiture entre le domicile et la gare. La méthodologie adoptée consiste en la création d'une couche de données sur Arc View. Celle-ci reprendra la localisation de toutes les gares du territoire wallon et permettra, pour tout secteur statistique, le calcul de la probabilité relative de prendre le train dans chacune des gares proches (en tenant compte de la distance effective entre chaque secteur statistique et chaque gare et de l'importance de la gare). Une fois la distance et la probabilité établies, il est possible de calculer en tout point la distance moyenne parcourue pour effectuer cette relation domicile – gare.

3.2 ESTIMATION DU CO₂ EMIS PAR UNITE DE DEPLACEMENT

Nous nous baserons sur des valeurs moyennes d'émissions, estimées pour un parc moyen, à partir d'études sur la consommation du parc automobile en Région wallonne.

3.3 SCENARIOS DE DISTRIBUTION DE L'EMPLOI ET DES POPULATIONS

Les divers scénarios d'occupation du sol modéliseront respectivement :

- la situation actuelle, caractérisée par une certaine distribution spatiale de l'emploi et des populations ;
- la situation future à tendances inchangées : déclin urbain, consommation d'espace... c'est-à-dire un scénario prévisionnel n'envisageant aucune modification structurelle des politiques territoriales ;
- la situation future avec application d'une politique volontariste (densification, maîtrise de l'étalement urbain, encouragement de la mixité...), c'est-à-dire un scénario volontariste dont les hypothèses seront à adopter lors d'un prochain comité d'accompagnement. Par exemple, une réduction de la taille moyenne des parcelles, la localisation de nouvelles urbanisations dans les endroits les plus accessibles parmi ceux disponibles, ou encore dans le cadre du renouvellement urbain, une stabilisation voire une légère croissance de la population dans les centres urbains... ;

Ces scénarios devront concerner à la fois les lieux de résidence et les lieux de travail.

Pour la détermination de la distribution des lieux de résidence et des lieux de travail, les données de base exploitées seront les données INS par secteur statistique (de 1991 et 2001 dans le premier cas, de 1981 et 1991 dans le second, les données d'emploi de 2001 n'étant pas encore disponibles)².

Les scénarios devraient permettre d'évaluer l'impact des décisions prises en matière d'aménagement du territoire sur les émissions de CO₂, par intégration des données d'émissions calculées lors de l'étape précédente.

² Afin d'intégrer dans notre analyse les tendances en matière de localisation des activités et des résidences, une réflexion peut être envisagée à partir de différentes sources d'informations : les données cadastrales (étudiées lors d'une subvention précédente) et la superposition d'un masque binaire du bâti et d'une couche vectorielle des plans de secteur, qui permet de visualiser la localisation des disponibilités foncières au sein des zones d'activités économiques, des zones d'habitat et des ZAD (données existantes au sein du laboratoire SURFACES de l'ULg).

Ce calcul sera réalisé grâce au croisement des deux cartographies (part modale – distance par mode) avec les différents scénarios de distribution de la population et des emplois pour en déduire, pour chaque mode et chaque scénario, le nombre de kilomètres parcourus. En multipliant ces distances par les émissions moyennes des différents véhicules du parc, on obtiendra des niveaux totaux d'émissions de CO₂. L'intérêt de ces chiffres ne résidera non pas dans leur valeur absolue, mais dans les possibilités de comparaison entre scénarios.

2^{EME} PARTIE

MESURES A PRENDRE EN AMENAGEMENT DU TERRITOIRE POUR LIMITER LES EFFETS DE LA MODIFICATION DES REGIMES HYDRIQUES : LE CAS DES INONDATIONS

1. INTRODUCTION

1.1 EVOLUTION DES MODIFICATIONS DES REGIMES HYDRIQUES

1.1.1 Les changements climatiques à l'échelle globale et à celle de notre pays

Les changements climatiques que nous pressentons actuellement ont une ampleur globale et les répercussions observées localement sont le résultat de processus régis à l'échelle mondiale. Il est donc utile d'évoquer les grandes tendances qui caractériseront ces phénomènes.

Globalement, une augmentation de la température moyenne est attendue sur la surface de la terre, ainsi qu'une élévation du niveau des mers et des océans. Par contre, les précipitations pourront, selon les endroits, baisser, se stabiliser ou augmenter.

Il est possible d'envisager quels sont les changements climatiques attendus dans notre pays et quelles pourraient en être les conséquences.

1.1.2 Influence des changements climatiques sur le cycle hydrographique en Wallonie

Les modifications susceptibles d'affecter le cycle hydrographique wallon sont nombreuses. Cependant, l'état actuel des connaissances ne permet pas de détailler avec précision les changements à attendre en Région wallonne. Toutefois, il est possible d'en dégager les grandes tendances. Ceci nous permet d'envisager, dès à présent, les problèmes auxquels nous risquons d'être confrontés en terme de gestion des eaux. En effet, la majorité des scénarii s'accordent sur une modification du régime des précipitations en Wallonie caractérisée par une augmentation des pluies en hiver et une diminution de celles-ci l'été (Dutch Global Change programme, 2001).

Ce constat nous a incité à ne pas nous attarder sur les prévisions quantitatives disponibles actuellement (celles-ci étant encore trop approximatives à l'échelle locale) mais à analyser les diverses mesures qui nous permettraient d'anticiper les conséquences de ces changements climatiques.

Un rapide inventaire nous a permis d'identifier ces principales conséquences:

- L'augmentation de la demande en eau.
- La baisse des réserves d'eau (y compris d'eau potable) en été.
- La baisse du niveau moyen des cours d'eau en été et leur hausse en hiver.
- L'augmentation de situations extrêmes et notamment des inondations.
- L'altération des sols due aux changements de niveaux des nappes aquifères.
- L'augmentation du déficit en humidité du sol et l'intensification du stress hydrique des cultures en été.
- L'augmentation de l'érosion due aux précipitations et au vent.

Parmi ces problématiques, nous avons choisi, en accord avec le comité d'accompagnement, d'aborder en priorité le cas des inondations. En effet, la principale conséquence des changements climatiques dans notre pays devrait être une augmentation de leur fréquence et de leur ampleur. Or, les inondations provoquent déjà de nombreux dégâts.

Il est cependant évident que les mesures proposées dans le cadre de la lutte contre les inondations auront une influence sur les autres problématiques liées à la gestion de l'eau. Pour exemple, le maintien et l'amélioration du couvert végétal sert, à la fois, à limiter les crues, mais aussi à museler l'accroissement probable de l'érosion.

1.2 MODUS OPERANDI DE CE TRAVAIL

A partir d'un recensement bibliographique des mesures envisageables dans le cadre de cette étude, nous avons choisi de focaliser notre travail sur une certaine classe de mesures. En effet, le spectre des actions à analyser est trop large pour être considéré globalement. Les mesures sélectionnées ont ensuite été détaillées de façon à mettre en évidence leur efficacité et les modalités de leur application (coûts, entretiens...). Ces informations sont établies, dans la mesure du possible, à la lumière des expériences menées à l'étranger et des publications scientifiques. Ensuite, nous avons émis certaines propositions quant aux modes et aux moyens de mise en œuvre des mesures les plus intéressantes. Parmi ceux-ci, les outils relatifs à l'aménagement du territoire sont plus particulièrement considérés (RCU, SSC,...). De plus, certains projets pilotes étrangers sont analysés afin de dégager davantage de solutions.

2. CHOIX DE MESURES A ANALYSER EN PARTICULIER

Le nombre de mesures envisageables étant trop vaste, nous avons centré notre étude sur certaines classes de mesures. Ainsi, nous avons privilégié les mesures dont les effets à long terme sont susceptibles de contrebalancer les conséquences de l'augmentation des précipitations. Il semble, en effet, que les changements climatiques ne prendront de l'ampleur que progressivement.

Aussi, il nous paraît intéressant d'étudier plus particulièrement les mesures à appliquer sur le bassin versant. Celles-ci ont, en effet, pour caractéristique d'être préventives et auraient, si elles sont appliquées, un impact à long terme sur la régulation des eaux de ruissellement lors d'événements pluvieux. De fait, leur application pourra contribuer à limiter l'augmentation attendue des phénomènes d'inondation en raison du réchauffement global.

Les actions que nous proposons ici sont donc essentiellement à mener en « amont ». Cependant, notre recherche bibliographique a mis en évidence que les mesures dites en « aval » ont un impact majeur sur la réduction des dommages dus aux inondations. Ces dernières encouragent l'adaptation des bâtiments et de l'usage du sol aux risques. La bonne application de ces mesures permet de restreindre sensiblement les coûts liés aux inondations (CIPR, 2002). Le thème 1 de la CPDT, avec lequel nous travaillons en étroite collaboration, traite actuellement de ces sujets.

Or, ces mesures pourraient s'avérer insuffisantes à l'avenir si les événements d'inondations devaient gagner en ampleur et/ou en fréquence. C'est à ce niveau que les bonnes pratiques à appliquer dans les bassins versants prennent leur importance. Celles-ci peuvent, à terme, ralentir le cycle de l'eau par une meilleure gestion des eaux de ruissellement et, ainsi, combattre les conséquences de l'augmentation des précipitations hivernales.

3. PRESENTATION DES MESURES A APPLIQUER DANS LE BASSIN VERSANT

3.1 ASPECTS GLOBAUX

Face aux crues exceptionnelles observées ces dernières années, force est de constater que la politique wallonne de lutte contre les inondations doit être reconsidérée et renforcée. D'autant que les changements climatiques pourraient, à l'avenir, aggraver la donne,

particulièrement en hiver, où une hausse des précipitations est pressentie (de l'ordre de quelques pour-cents) (Dutch Global Change, 2001).

Le débordement d'un cours d'eau, en période de fortes pluies, est un phénomène parfaitement naturel avec lequel nous devons (ré)apprendre à composer. En effet, une part essentielle des dommages causés par les dernières crues est le résultat d'une inadaptation des activités humaines en zones inondables. De fait, une foi aveugle dans les progrès techniques de l'après guerre nous ont amenés à sous-estimer les risques auxquels nous nous exposons. Ainsi, le principal enjeu auquel nous sommes aujourd'hui confrontés est une (re)prise en compte des caractéristiques intrinsèques des terres inondables afin d'utiliser ces surfaces en conséquence.

D'autres facteurs sont intervenus pour aggraver la situation. Ainsi, l'urbanisation galopante de ces dernières décennies a notablement perturbé le cycle hydrographique wallon avec, comme principale conséquence, une accélération de celui-ci. Cette tendance s'est traduite par une imperméabilisation des sols renforçant ainsi le ruissellement des eaux pluviales. De plus, la généralisation du mode « tout à l'égout » a contribué à mener au plus vite ces eaux de ruissellement vers l'aval. Cette option « bétonnée » a également touché la gestion des cours d'eau eux-mêmes (recalibrages, recoupements de méandres, reprofilages, murs anti-crues, berges bétonnées...), les transformant en véritables autoroutes de l'eau. Il s'avère que la combinaison de ces éléments favorise la saturation des réseaux hydriques en période de forte précipitation.

Enfin, notons que certaines pratiques agricoles peuvent également imperméabiliser les sols et favoriser le ruissellement des eaux de pluie. Or, les surfaces occupées par l'agriculture couvrent une part très importante du territoire wallon (+/- 52 %) ¹. C'est pourquoi certaines études portent sur la détermination de bonnes pratiques à encourager dans l'optique d'une lutte contre les inondations.

Suite à ces constats, il apparaît opportun de favoriser une conception intégrée de l'assainissement pluvial urbain. Cette conception doit se traduire par une préservation du milieu naturel afin de laisser la place qu'il convient aux cours d'eau et par une occupation de l'espace urbain offrant une meilleure gestion des ruissellements (Brigando M. *et al.* (2002)).

3.1.1 Paramètres à prendre en compte

Les mesures que nous allons détailler constituent un ensemble de techniques alternatives de gestion des eaux pluviales. Outre la lutte contre les inondations, ces dernières peuvent avoir un rôle positif sur la pollution par le stockage et la restitution différée des eaux pluviales, ainsi que par les différentes dispositions qui permettent de traiter les effluents avant de les rejeter (puits d'infiltration avec décanteur par exemple).

Cependant, l'infiltration des eaux de pluie n'est pas toujours recommandée pour des raisons techniques ou de risques de pollution. En effet, un substrat imperméable (argileux...) ou une nappe phréatique en surface ne permettent pas la percolation. Ces sols ne peuvent physiquement pas absorber d'eau et risquent donc de refouler vers la surface.

Les risques de pollution sont, eux, à l'origine des restrictions qu'il faut apporter dans les zones sensibles comme les points de captages. C'est pourquoi différentes aires de protection sont définies autour de ces points (AGW du 14 novembre 1991) : la zone de prise d'eau (10m), la zone de prévention dans laquelle on distingue une zone de prévention rapprochée (35m) et une éloignée (110, 500 ou 1000 m) et la zone de surveillance.

¹ Recensement du cadastre (2000)

- La zone de prise d'eau interdit toutes autres activités que celles en rapport avec la prise d'eau.
- La zone de prévention éloignée impose des restrictions parmi lesquelles les puits perdus sont interdits ainsi que l'installation de nouveaux parkings de plus de 20 véhicules. Ces éléments nous incitent à éviter l'infiltration des eaux pluviales dans ce périmètre. La définition du périmètre de cette zone dépend de la nature du sous-sol : elle est de 100 mètres pour les aquifères sableux, de 500 m pour les aquifères graveleux et de 1000 m pour les formations fissurées ou karstiques. Ces distances ont été définies de manière à assurer un temps de transfert de 50 jours avant l'arrivée dans la nappe, laps de temps nécessaire pour éliminer les polluants organiques ou pour permettre la mise en œuvre de mesures précises de protection en cas d'accident (J. Daum et A. Martelet, 1997).

Les périmètres de protection des sources d'eaux minérales sont également des zones soumises à de sévères restrictions en terme de gestion des eaux résiduaires ou pluviales. Pour exemple, les puits perdus sont interdits dans le périmètre de surveillance des sources de Chaudfontaine. En outre, les zones de stationnement ne peuvent être imperméables et doivent avoir un système de récupération des eaux pluviales avec un séparateur d'hydrocarbures.

De fait, l'utilisation de ces techniques alternatives doit être analysée sérieusement : pour cela de nombreux paramètres propres au site doivent être pris en compte, parmi lesquels on peut citer (Brigando M. *et al.* (2002)) :

- La hauteur de la nappe phréatique, son usage, sa vulnérabilité,...
- La perméabilité du sol, sa nature,...
- La topographie, le réseau de talwegs,...
- La gestion, l'entretien des systèmes,...
- L'ampleur des événements pluvieux décennaux, centennaux,...

3.1.2 Point de vue économique

Le développement de l'urbanisation a forcé les réseaux d'assainissement classiques à prendre en charge des quantités d'eau de plus en plus importantes avec des débits de pointe accrus.

Si le projet d'aménagement se fait sur un site vierge, le nouveau réseau pourrait nécessiter des collecteurs aux dimensionnements prohibitifs. Si, par contre, le nouveau lotissement est raccordé au réseau existant, l'amélioration des ouvrages en place est souvent impossible, notamment pour des raisons de coûts et d'accès. Or, ceux-ci connaissent souvent de gros problèmes de dimensionnement.

Les techniques alternatives que nous présentons permettent de répondre à ce problème. Elles agissent effectivement en amont pour réduire les flux que le réseau doit prendre en charge. Cet objectif est atteint par l'infiltration des eaux de pluie et par l'utilisation de dispositifs de rétention qui écrêtent les pointes de débit.

Si la mise en œuvre de bassins de rétention semble se généraliser, les réticences à l'égard des autres techniques restent importantes (chaussées poreuses, puits d'infiltration,...). Or, si la solution de l'assainissement pluvial sans tuyau n'est pas celle de la facilité pour les auteurs de projet, elle peut représenter un gain économique important pour la collectivité. En effet, ces techniques s'avèrent, dans certains cas, une alternative plus économique. Ceci est principalement vrai pour les lotissements. Le gain économique éventuel dégagé par l'emploi des mesures compensatoires dépend principalement des caractéristiques propres à chaque situation. L'expérience bordelaise a ainsi prouvé que l'utilisation des techniques alternatives n'engendre en aucun cas de surcoût par rapport aux solutions traditionnelles, mais bien quelques économies d'autant qu'elles permettent aux collectivités de répartir les coûts d'assainissement avec les opérateurs (Valiron et Tabuchi, 1994).

Il est toutefois nécessaire de nuancer ce constat, car la charge d'entretien est souvent assez importante et est parfois négligée. Or, c'est souvent l'entretien qui assure l'efficacité de ces méthodes. Enfin, il semblerait que ces méthodes souffrent du manque d'incitations réglementaires pour agir en amont dans les politiques de gestion des eaux de pluie. (Leroux et Baladès, 1993)

3.2 DIFFERENTES METHODES²

3.2.1 Citernes d'eau de pluie

Les citernes d'eau de pluie constituent un moyen de rétention de l'eau en vue d'une utilisation ultérieure. Elles permettent donc une certaine diminution de ruissellement, surtout lorsque des pluies importantes suivent une période de sécheresse. Pour ce faire, l'utilisation de celles-ci doit être fréquente afin de maintenir un niveau assez bas. Si elles sont pleines lors d'événements pluvieux, la rétention est nulle. De plus, leur usage permet de redistribuer l'eau de pluie dans l'espace et dans le temps en fonction de l'utilisation que l'on en fera.

Les citernes d'eau de pluie constituent en général des réserves d'appoint utilisées pour le jardinage et les travaux extérieurs. Cependant, le coût sans cesse croissant de l'eau de distribution peut inciter à étendre leur emploi à diverses utilisations domestiques non alimentaires comme les chasses d'eau. Notons, que ce dernier poste représente à lui seul 36 % de la consommation totale moyenne d'un foyer (Devillers, Govaerts *et al*, 1994).

Avantages:

- Rétention/régulation des eaux de pluie
- Eau détournée par évaporation/infiltration si usage externe et vers les eaux usées pour les usages domestiques
- Gain économique pour les familles
- Gain écologique : rationalisation de la consommation

Inconvénients:

- Coût d'investissement (citerne, double réseau de distribution,...)
- Utilisation souvent inadaptée par rapport aux objectifs de rétention

Préalables et coûts :

² Les principales références pour ce point sont tirées de Leroux et Baladès (1993), ADOPTA (2002), Azzout *et al.* (1994)

Si bon nombre de foyers optent pour des citernes de 3.000 à 5.000 litres, une capacité supérieure à 120 litres de citerne par m² est nécessaire pour récupérer la quasi totalité de l'eau de pluie potentiellement disponible (soit 12.000 litres pour une toiture de 100 m²). Ajoutons que l'installation d'un petit bassin de décantation doit être prévu au débouché des gouttières afin de retenir les particules les plus grosses.

Le prix d'une citerne variera en fonction de sa taille (+/- 300 € pour 3.000 litres), mais aussi des matériaux employés (les modèles standards sont en béton). Enfin, l'usage d'une pompe (groupe hydrophore) est nécessaire pour amener l'eau dans le réseau. La fourchette de prix se situe entre 250 et 500 € pour cette dernière.

3.2.2 Rétention de l'eau au niveau des toitures

(toit-citerne à fond plat, revêtement à alvéoles, toit engazonné, toit terrasse...)

Cette technique est utilisée pour ralentir le plus en amont possible le ruissellement, grâce à un stockage temporaire de quelques centimètres d'eau de pluie sur les toits. Un petit parapet (acrotère) en pourtour de toiture permet de retenir l'eau et de la relâcher à faible débit. Les surfaces réservoirs peuvent être engravillonnées, ce qui élève leur capacité de rétention. Les gravillons augmentent la surface à mouiller et la saturation est moins vite atteinte.

Avantages:

- Stockage immédiat et temporaire à la parcelle
- Aucune consommation d'espace au sol

Inconvénients:

- Réalisation soignée nécessaire par des entreprises qualifiées afin de garantir une étanchéité optimale
- Entretien régulier nécessaire afin d'éviter les risques de pollution.

Préalables et coûts :

Différents types de système peuvent être considérés. Le toit réservoir offre une capacité de rétention notable (hauteur d'eau de 10 cm), mais le toit devra être construit de manière à supporter ce poids supplémentaire. L'intégration urbanistique de celui-ci nécessite certaines précautions, car il est généralement plat. Des toits-réservoirs en pente peuvent aussi être envisagés avec des alvéoles de stockage mais leur efficacité est moindre.

Les toits-jardins ou toits engazonnés offrent une plus-value esthétique et écologique. Cependant, l'entretien de ceux-ci doit être régulier pour assurer la bonne étanchéité de l'ensemble. Dans certains cas, d'autres fonctions peuvent être développées, telles qu'un parking, une terrasse,....

3.2.3 Tranchées drainantes et noues

3.2.3.1 Tranchées drainantes

A ce sujet, on distingue les tranchées drainantes dont l'objectif est la restitution des eaux de pluie à un faible débit (sols imperméables ou systèmes étanches pour des sols à risques), et les tranchées d'infiltration qui permettent la restitution dans des sols perméables non saturés et non sensibles.

Ainsi, les eaux de ruissellement (terrasses, rues piétonnes, allées de garage, ..) peuvent être recueillies par ces tranchées. Ces ouvrages superficiels (1m de profondeur environ) et linéaires peuvent être revêtus d'un enrobé drainant, de galets ou de pelouse pour être intégrés dans les espaces verts, ou aménagés en voies d'accès pour les piétons ou les voitures. Les eaux y accèdent par la partie supérieure maintenue poreuse et elles sont stockées dans la partie granulaire centrale. Dans tous les cas, elles sont protégées du milieu extérieur par du géotextile pour éviter les migrations des fines.

Figure 11 - Tranchée drainante à lambres (France)



Adopta (2002) ; la photo de gauche illustre l'installation de la tranchée, celle de droite est prise après l'aménagement.

Avantages:

- Intégration aisée au paysage urbain, faible emprise sur le sol
- Mise en oeuvre facile et bien maîtrisée
- Restitution retardée des eaux de pluie et/ou infiltration

Inconvénients:

- Attention aux risques de pollution des nappes, les eaux infiltrées doivent être de bonne qualité.

Préalables et coûts :

Cette technique nécessite la présence d'un puisard de décantation pour assurer un bon contrôle de la qualité des eaux infiltrées. L'influence des pentes devra être, si nécessaire, limitée par un compartimentage dans le profil en long de la tranchée.

Le dimensionnement de ces tranchées sera fonction des surfaces imperméabilisées considérées et de la perméabilité des sols. A défaut de connaître celle-ci, le volume de la tranchée peut être estimé globalement pour une pluie de 50 l/m² (orage décennal), en multipliant la surface imperméabilisée par 0,05 (ADOPTA, 2002). Le coût de fourniture et de pose est compris entre 60 et 90 € par mètre linéaire. Il faut en outre compter les coûts d'engazonnement (voir pour les noues).

L'intégration dans les sites urbains peut être compliquée par l'encombrement des sous-sols mais il existe des solutions qui font intervenir des matériaux plus compacts (réservoir alvéolaire).

Entretien :

Celui du puisard est nécessaire deux fois l'an et sera notamment effectué après la période de chute des feuilles. En outre, il faut prendre en compte l'entretien des pelouses, le nettoyage du sol en surface et la maîtrise de la végétation environnante. Cette dernière, en effet, peut détériorer ces ouvrages par son réseau de racines.

3.2.3.2 Noues

Une noue est un fossé large et peu profond avec des rives en pente douce. Elle sert à stocker un épisode de pluie (décennal par exemple) ou à écouler un épisode plus rare (centennal). L'eau est collectée soit par l'intermédiaire de canalisations (récupération des eaux de toiture et de chaussée), soit directement, après ruissellement, sur les surfaces adjacentes. L'eau est ensuite évacuée vers un exutoire (réseau, puits ou bassin de rétention) ou par infiltration dans le sol. De fait, deux fonctions peuvent être confiées aux noues : sur sol perméable, elles sont assimilées à des tranchées d'infiltration et sur sols imperméables, à des bassins de rétention dont la fonction est la rétention étalée dans le temps du ruissellement.

Figure 12 - Exemples de Noues à Douai (France) et Gelsenkirchen (Allemagne)



[Adopta \(2002\)](#)

Avantages:

- Fonctions : rétention, régulation, écrêtement des débits et drainage des sols
- Création d'un paysage végétal et d'un habitat aéré

Inconvénients:

- Nécessité d'entretenir régulièrement les noues
- Nuisances possibles dues à la stagnation de l'eau

Préalables et coûts :

Le volume de la noue doit être calculé de manière à permettre le stockage de la quantité de pluie engendrée par un orage décennal. Les noues peuvent faire l'objet d'un embellissement. En effet, celles-ci sont en général engazonnées et peuvent être intégrées dans un projet de plantation. Les coûts de création sont détaillés ainsi :

- Utilisation forfaitaire d'engin : 300 à 400 €
- Terrassement et évacuation : 10 € / m³
- Massif drainant : fourniture et pose : de 60 à 100 € le mètre
- Engazonnement : 1 à 2 € le mètre linéaire

Entretien :

L'entretien de base se résume à celui que requiert tout espace vert. Il faut, cependant, veiller à ce qu'elle ne s'encombre pas en automne et éviter le colmatage. Ce phénomène se présentera par un colmatage progressif dans le cas de noues infiltrantes (curage pluriannuel nécessaire) et prendra la forme d'une obstruction des buses (moyens de communication pour traverser les noues) qu'il faudra éviter par l'entretien. Une attention particulière doit aussi être apportée pour éviter les dépôts d'immondices clandestins.

3.2.4 Puits d'infiltration

Ce dispositif assure le transit des eaux de ruissellement vers les couches perméables du sol lorsque les surfaces sont imperméables. L'horizon non saturé doit être suffisamment large et les eaux pluviales doivent être le moins polluées possible (du fait de sa faible surface d'infiltration). Pour ce faire, le ruissellement doit être réduit au maximum. Aussi, ils sont essentiellement utilisés pour recevoir les eaux de toiture. Le puits est précédé d'un regard de décantation pour piéger les éléments indésirables. L'infiltration se fait par le fond du puits et, éventuellement, par les côtés formant les parois.

Avantages:

- Conception simple
- Bonne intégration au tissu urbain du fait de sa faible emprise au sol

Inconvénients:

- Minimisation des risques de pollution de la nappe et de colmatage en respectant les conditions de mise en oeuvre et d'entretien recommandées par les spécialistes.
- Nécessiter de surdimensionner l'ouvrage car il n'y a pas d'exutoire pour les événements exceptionnels.

Préalables et coûts :

Le dimensionnement du puits doit être prévu de la même manière que celui des tranchées drainantes. Il est conseillé d'éviter de planter des arbres à proximité en raison du colmatage par les racines. Notons que cette remarque vaut pour toutes les techniques d'infiltration. Le coût des fournitures sera, pour les puits d'infiltration, compris entre 350 et 600 €. Pour la pose, il faut compter entre 550 et 700 €.

Entretien :

Celui-ci se limite au nettoyage annuel du regard de décantation et au remplacement périodique du gravier ou du sable.

Plateau d'infiltration :

En sols perméables, mais ayant une nappe à faible profondeur, il est possible d'aménager des plateaux filtrants qui permettent d'étaler sur une grande surface le volume stockage-infiltration.

3.2.5 Chaussées à structures réservoirs et revêtements perméables

Utilisée pour la voirie et les parkings, la structure réservoir permet de stocker les eaux pluviales dans le corps de la chaussée. Elle est souvent constituée de pierres concassées. La chaussée peut être recouverte d'un enrobé poreux qui laisse passer l'eau directement dans la structure réservoir, tout en retenant les impuretés. On peut aussi choisir un enrobé traditionnel imperméable avec un système d'avaloirs et de bassins qui collectent et diffusent les eaux de pluie dans la structure. L'eau circule entre les vides laissés par les cailloux et peut être, soit infiltrée dans le sol, soit évacuée vers un exutoire naturel ou un réseau d'eau pluviale.

Avantages:

- Intégration au milieu urbain sans occuper d'espace supplémentaire
- Piégeage des polluants par décantation, diminution des bruits du trafic et amélioration de l'adhérence des véhicules.
- Rétention des eaux de ruissellement et /ou infiltration

Inconvénients:

- Colmatage et problèmes de viabilité hivernale dans le cas d'un revêtement poreux. Pour éviter cela, l'entretien doit être régulier afin de maintenir une bonne perméabilité.
- Le curage des bouches d'injection doit également être effectué régulièrement pour éviter le colmatage.

Préalables, coûts et entretien:

Cette technique doit être assimilée à des bassins de retenues enterrés. Il est utile d'intégrer très tôt cette technique dans l'étude d'aménagement. Sa construction nécessite une certaine expérience. En effet, le choix de granulométrie et de taille des drains doit être posé sciemment. Le coût d'un mètre linéaire de chaussée avec un revêtement classique est compris entre 240 et 290 €. L'utilisation de matériaux poreux entraîne un surcoût de 5 à 10 %. Cependant, ce dernier est largement compensé par l'économie pratiquée en terme de canalisations, d'avaloirs, de bouches d'égout,...et ce, en tenant compte des charges d'entretien.

La construction de chaussées réservoirs avec revêtement classique nécessite d'injecter l'eau recueillie par les caniveaux dans la structure. La bouche d'injection et son filtre permettent le pré-traitement des eaux et évitent le colmatage. La fourniture et la pose de la bouche d'injection s'élèvent à un montant compris entre 750 et 925 € (150 € pour la pose du filtre). Notons qu'une bouche d'injection reprend les eaux pluviales de 200 à 250 m² de voirie. L'entretien de celle-ci consiste à nettoyer régulièrement le filtre par un jet d'eau pour maintenir la capacité d'infiltration et à le remplacer tous les ans. Enfin, le curage de la partie décantation sera assuré deux fois par an.

Le choix de revêtements poreux permet la répartition immédiate de l'eau dans la structure, ce qui évite la formation de flaques et de projections dues à la circulation. Cependant, il nécessitera un entretien particulier afin d'éviter son colmatage, surtout lorsque des sources de pollution possibles sont à proximité (apport de terre,...). En effet, un entretien préventif est conseillé pour éviter le piégeage d'éléments de plus en plus fins (technique de mouillage/aspiration). Ce dernier sera préféré pour les parkings ou les voies à faible circulation, là où l'auto-nettoyage dû au trafic n'intervient pas. L'entretien curatif exige, pour sa part, un procédé de haute pression/ aspiration. Le coût des chaussées à revêtement poreux s'élève de 270 à 450 € par mètre.

Figure 13 - Parking avec revêtement poreux à Douai



ADOPTA (2002)

Les dispositifs d'évacuation dépendront de la nature des sols et du type de réseau d'assainissement local. Si les sols sont imperméables, les eaux seront collectées via des drains vers le réseau ou vers un ouvrage où la nature du sol permet l'infiltration. Si le sol est perméable dans une zone non sensible, il sera préférable d'infiltrer l'eau sur place, en appliquant un géotextile à l'interface sol/structure pour une meilleure répartition.

Réservoirs :

Parmi les différents réservoirs utilisables, nous détaillerons ici les réservoirs alvéolaires et les réservoirs en matériaux poreux.

Les réservoirs alvéolaires conviennent pour les sols perméables et peu sensibles à une éventuelle pollution lorsque les volumes à stocker sont importants et que la nappe est proche de la surface. Généralement, l'eau est stockée et infiltrée directement sans passer par le réseau de gestion des eaux. Cependant, une technique classique par vidange vers le réseau est envisageable. Ces réservoirs sont appréciés dans les milieux urbains denses en

raison de leur compacité. Les réservoirs en matériaux poreux sont souvent mis en œuvre à l'exutoire de petits bassins versants lorsque les volumes à stocker sont faibles. La base et les côtés du bassin seront protégés par un géotextile pour éviter la migration des fines. Enfin, selon leur géométrie, ces réservoirs fonctionneront comme des puits d'infiltration ou des tranchées drainantes.

Revêtements perméables:

Une option très simple existe pour diminuer l'impact imperméabilisant des surfaces de stationnement ou des voiries rurales à faible trafic. Il s'agit simplement de substituer les revêtements classiques imperméables (macadam, béton...) par des éléments qui assurent un contact avec le sol aux eaux de pluies (briques posées sur leur tranche, klinker...). De nombreux exemples de réalisations existent pour illustrer ces méthodes : parkings à Rendeux, parking IKEA de Zaventem... Cette méthode est connue depuis longtemps et mériterait un usage plus répandu.

Figure 14 - Parking employant un revêtement perméable (Hem – Suisse)



ARENE (www.arenidf.com)

3.2.6 Bassins de retenue

L'eau est collectée par un ouvrage d'arrivée, puis stockée dans un bassin avant d'être évacuée vers un exutoire de surface (ou bassin de retenue) ou infiltrée dans le sol (bassin d'infiltration). Parmi les bassins de retenue, on distingue les bassins en eau (qui conservent une lame d'eau en permanence), les bassins secs, mais aussi les bassins revêtus ou non. Les bassins sont situés soit en domaine public, soit en lotissement ou encore chez un particulier.

Avantages:

Les bassins font partie de l'aménagement paysager. Les bassins secs peuvent servir d'espaces verts inondables ou être utilisés comme terrain de football, vélodrome (Vittel) ou piste de skate (Nancy). Les bassins en eau constituent, quant à eux, un lieu de promenade ou d'activités aquatiques. Ils peuvent aussi jouer une certaine fonction écologique et paysagère.

Inconvénients:

- Risques liés à la sécurité pour des riverains et les éventuelles nuisances dues à la stagnation de l'eau

- Consommation d'espaces
- Attention à la pollution de la nappe par les bassins d'infiltration.

Préalables et coûts :

Ces inconvénients rendent nécessaire, au préalable, une étude d'incidence. La connaissance des sols est notamment indispensable (niveau de la nappe, perméabilité des sols, topographie du terrain,...). Le dimensionnement doit lui aussi faire l'objet de calculs prenant en compte un événement pluvieux donné. De plus, la taille de celui-ci doit être suffisante pour permettre de diluer suffisamment la pollution amenée par le ruissellement. Sa profondeur, elle aussi, doit être calculée pour éviter la prolifération des végétaux dressés et le choc thermique dû au réchauffement en été. Ainsi, un stockage d'environ 200 m³ par hectare imperméabilisé peut être nécessaire.

Ces bassins de retenue doivent être situés sur les axes de ruissellement, dans les terrains à faible pente et équipés d'un évacuateur de crue pour gérer les situations d'insuffisance de l'ouvrage (Brigando, 2002).

Le coût du m³ utile peut varier entre 60 et 220 €, en fonction du génie civil essentiellement. Ainsi, les bassins enterrés en centre ville (bassins revêtus) peuvent atteindre des valeurs supérieures (STU, 1991). De plus, les surfaces concernées rendent ces ouvrages particulièrement sensibles au régime foncier. Cet élément justifie parfois la construction de bassins revêtus en centre urbain (Carré, 2002).

Les bassins à vocation d'infiltration doivent être munis d'un bassin tampon avec clapet automatique pour protéger les nappes phréatiques de pollutions accidentelles. Dans les zones à risques, des bassins en eau étanches seront envisageables.

Entretien :

L'entretien du bassin consiste à nettoyer l'ouvrage d'entrée et, de façon ponctuelle, l'élément principal (apport d'éléments solides par les usagers,...). Le bon fonctionnement du système sera assuré par le nettoyage des fossés d'écoulement et des grilles placées à l'entrée du bassin. Pour les sous-bassins, les principaux travaux consistent en un curage pour éviter l'envasement et un faucardage de la végétation pour obtenir un rendement épuratoire plus élevé.

Une attention toute particulière doit être portée aux produits du curage, car les métaux lourds et les hydrocarbures ont tendance à s'y concentrer. Le coût d'un nettoyage approfondi pourra s'élever à 3,5 € le mètre carré de bassin.

Bassins revêtus :

Ces ouvrages sont souvent utilisés en ville où leur articulation avec un autre projet d'aménagement (parking ou espaces verts en surface) permet de rentabiliser leur coût souvent élevé en raison des conditions foncières. De telles infrastructures doivent faire face à de nouvelles contraintes telles que l'encombrement des sous-sols ou la hauteur de la nappe. En effet, si la nappe est trop proche, le coût de rabattement sera trop élevé et ce dernier pourra avoir des incidences néfastes sur la stabilité des bâtiments environnants. En outre, l'entretien des bassins revêtus est plus lourd (entretien de la chape, des parois, nettoyage nécessaire après chaque utilisation...) et les risques liés aux pollutions accidentelles sont importants (dispositif de sécurité pour faire face aux émanations de gaz toxiques...). Pour ces raisons, il y a lieu de privilégier dans la mesure du possible les ouvrages à l'air libre.

Espaces publics inondables :

Les bassins projetés pour se remplir uniquement lors d'événements pluviométriques d'importance peuvent être prévus afin de servir d'espaces publics (terrains de sports, parcs,...) le reste de l'année. Cette option offre une double rentabilité de l'espace considéré et permet une intégration réfléchie dans l'urbanisation. Le coût de cette technique est principalement lié au foncier, car les autres éléments sont peu onéreux (systèmes hydrauliques, terrassements assez simples). En outre, l'entretien, peut se combiner avec celui de l'équipement d'utilité publique. Ce dernier n'exige d'ailleurs qu'un nettoyage après la mise en eau.

Figure 15 - Terrain de sport adapté pour remplir une fonction de bassin de régulation (Clermont-Ferrand)



Terrain de sport abaissé de 2 mètres afin de créer un bassin de régulation de 15.000 m³ (www.ville-clermonf-ferrand.fr)

Il est, à ce titre, très intéressant de citer une expérience pilote menée par le GERU de l'UCL sur le bassin versant du ry saint-jean à Jodoigne. L'aménagement d'une Zone d'Inondation Temporaire y est mis sur pied afin d'utiliser ce bassin rural en une zone de rétention (stockage de 5000 m³) en situation de précipitations extrêmes.

3.2.7 Le réseau séparatif

Le dimensionnement d'un réseau unitaire de collecte est fonction essentiellement des eaux de pluie. En effet, les débits d'eaux usées sont plus réguliers et n'ont pas de maxima très élevés. Ainsi, ce sont les paramètres pluviométriques qui influencent le dimensionnement des collecteurs. Ceci peut amener à des dimensionnements aux coûts prohibitifs.

Dans la situation du réseau séparatif, les eaux usées sont collectées pour être traitées en aval et les eaux de pluie sont acheminées soit dans un bassin d'orage, soit dans un plan d'eau permanent pour veiller à leur épuration. Le dimensionnement de ce deuxième réseau dépendra de la pluviométrie locale et sera calé sur un événement particulier (pluie décennale par exemple). Le réseau des eaux usées sera donc à l'abri de ces fluctuations, mais devra éviter la sédimentation des dépôts là où les débits et les pentes seraient trop faibles.

Avantages:

- Gain écologique important : possibilité d'épurer une partie des eaux de pluie via des plans d'eau permanents.
- La décantabilité des eaux pluviales est bien meilleure que celle des eaux unitaires.
- Economie en terme d'épuration des eaux usées : en effet, les quantités d'eau à traiter sont moindres et la rentabilité du système est supérieure (charges polluantes des effluents supérieures)
- Lutte contre les inondations : les débits d'eaux usées sont stables et les eaux de pluie peuvent être régulées par un bassin de retenue.

Inconvénients:

- Surcoût dû aux infrastructures (double réseau de collecteurs, ...) qui s'est soldé dans le cas de Louvain-la-Neuve par 25 à 30 % de plus qu'un réseau traditionnel.
- La gestion de ce réseau est délicate, car une faible proportion de raccordements erronés peut mettre à mal l'efficacité de tout le réseau. En effet, le rejet d'eau pluviale dans le réseau épuratif peut surcharger celui-ci et le rejet d'eau usée dans le système d'eau de pluie mène à une pollution dommageable.

4. ETUDE DE FAISABILITE : LA MISE EN ŒUVRE DE CES TECHNIQUES

Une première analyse des outils de mises en œuvre des mesures pour lutter contre les inondations, nous a permis de repérer quatre classes différentes :

1. Les outils de gestion des flux : politiques de gestion des rivières et de leurs lits (zones d'expansion des crues, gestion des berges...), politique d'égouttage...
2. Les outils de gestion de l'occupation du sol (plans de secteur, PCA et SSC) pour traiter des questions de localisation, de densité par rapport aux risques d'inondations. A cela peut s'ajouter dans cette catégorie les politiques traitant des questions agricoles.
3. Les outils de réglementation des constructions (RRU, RCU...) qui peuvent fixer des types de matériaux, l'utilisation de mesures ponctuelles,...
4. Enfin, les outils financiers : taxation, exonération...

Les deux premières classes concernent principalement les surfaces en zones inondables et donc, par définition, en dehors des bassins versants. Néanmoins, certains éléments de la gestion des flux, tel que l'égouttage séparatif, concernent également ces versants. Ce sujet a été abordé d'un point de vue technique au chapitre précédent, mais la politique d'égouttage ne sera pas évoquée ici pour nous concentrer sur les outils d'aménagement du territoire .

L'essentiel des moyens auxquelles nous pouvons avoir recours concernant la troisième classe, c'est-à-dire les outils de réglementation des constructions et plus particulièrement les RRU et RCU. Nous verrons que ceux-ci permettraient d'assurer l'emploi des mesures de lutte contre les inondations mentionnées précédemment.

Enfin, nous aborderons brièvement le domaine des actions financières en tant qu'action d'accompagnement.

4.1 JUSTIFICATION AU REGARD DU SDER ET DES DECISIONS GOUVERNEMENTALES

4.1.1 Le SDER

Le SDER fait de la protection de la population contre les risques naturels et technologiques l'un de ses axes majeurs³. Ainsi, l'intitulé de cet axe précise que « *le développement d'une politique préventive visant à prendre en compte les risques d'origine naturelle ou technologique est indispensable. Il faut assurer l'intégrité physique des habitants et protéger les infrastructures* ». Pour ce faire, il définit quatre domaines pour une bonne gestion des risques naturels d'inondation :

- L'identification des zones à risques
- La limitation des zones à risques
- La limitation des risques de crue
- L'information des communes, des maîtres d'ouvrage et de la population

Parmi ces objectifs, *la limitation des risques de crue* au niveau des bassins versants, en amont des zones inondables est envisagé :

« *La gestion des eaux de ruissellement doit se réaliser de manière intégrée en prenant en compte tous les problèmes inhérents à l'urbanisation (égouttage, imperméabilisation du sol) ainsi qu'à l'occupation du sol (plantations, techniques culturelles, remembrement).*

*Le risque de crue sera limité par la recherche du **ralentissement du ruissellement**, ce qui favorisera également la réalimentation des nappes aquifères.*

Les mesures suivantes seront favorisées :

- *installation de réseaux séparatifs traitant les eaux usées distinctement des eaux pluviales;*
- *adoption de revêtements plus perméables pour les voiries, les aires de parcage, les espaces publics;*
- *utilisation de techniques compensatoires (tranchées drainantes, fossés d'infiltration) en vue de pallier les effets négatifs d'une trop grande imperméabilisation des sols;*
- *installation de citernes de récupération de l'eau de pluie.*

Dans les plaines alluviales et le lit majeur des rivières, les actes susceptibles d'aggraver localement les inondations (notamment les remblais) seront interdits.

En fond de vallée, les occupations du sol susceptibles de jouer de manière occasionnelle le rôle de plaine d'inondation (terrains de sport, espaces verts, sites naturels, prairies) seront favorisées. »⁴

4.1.2 Circulaire du 9 janvier 2003

Suite aux inondations de janvier 2003 qui ont durement touché la région, le gouvernement a rédigé une circulaire relative à la délivrance de permis dans les zones exposées à des inondations et à la lutte contre l'imperméabilisation des espaces (M.B. du 04/03/2003, p. 10669). Cette dernière explicite clairement la prise de position du gouvernement vis-à-vis du principe de ralentissement des eaux pluviales au moyen de méthodes de rétention et ou d'infiltration :

« *Afin de limiter autant que faire se peut le risque de crue, il convient que l'ensemble des actes et travaux projetés dans un bassin hydrographique visent à ralentir le ruissellement de l'eau et à en favoriser l'infiltration.(...)*

³ Extrait du SDER – troisième partie : mise en œuvre du projet – page 180

⁴ Ibid.

Enfin, sur tout le territoire wallon, j'invite les autorités communales à s'assurer que les projets qui leur sont soumis répondent aux conditions suivantes :

- adopter des revêtements plus perméables pour les voiries, les aires de parcage et de circulation, pour les espaces publics;
- avoir obtenu l'avis favorable préalable du gestionnaire du cours d'eau concerné;
- le cas échéant, utiliser des techniques compensatoires (par exemple tranchées drainantes, fossés d'infiltration) en vue de pallier les effets négatifs d'une trop grande imperméabilisation des sols;
- privilégier l'installation de tout équipement qui peut ralentir l'écoulement des eaux de pluie ou de ruissellement, sans préjudice aux autres dispositions du Code ou de toute législation environnementale, ainsi que du Code Civil;
- veiller à ne pas construire d'égout en dehors des zones d'égouttage prioritaire;

L'ensemble des lignes de conduite énoncées sont bien entendu également d'application lors de la délivrance de certificats d'urbanisme ».

Cette dernière précise aussi la prise de position du gouvernement vis-à-vis de l'égouttage séparatif. Celle-ci est explicitée dans le projet de Règlement Général d'Assainissement des eaux urbaines résiduaires (RGA) approuvé en 1ère lecture le 19 décembre dernier. L'article 4 notifie que « les projets de travaux d'égouttage, tant de nouveaux égouts que se rapportant à la réhabilitation d'égouts existants, devront privilégier la pose d'égouts séparatifs aux égouts unitaires, sauf exception dûment justifiée par des contraintes techniques insurmontables ».

La circulaire du 9 janvier 2003 en conclut :

« Même si cette option est d'abord dictée par la préoccupation d'optimiser le fonctionnement des stations d'épuration, elle montre bien que la Région entend que les eaux de pluie et de ruissellement ne soient plus purement et simplement transférées dans les égouts, et ainsi renforcent très rapidement les débits des cours d'eau ».

4.2 APPLICATION DE LA MESURE VIA LES OUTILS D'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE

4.2.1 Le règlement régional d'urbanisme

4.2.1.1 Exemples de règlements à l'étranger

a) Bruxelles

Le RRU de la région Bruxelles-Capitale impose, parmi les caractéristiques des constructions et des abords (arrêté du 3 juin 1999), que soit maintenu un minimum de surface perméable sur la parcelle. Ainsi, les zones de cours et de jardin doivent conserver une surface perméable de minimum 50 % de leur surface cumulée. Ceci pour éviter une imperméabilisation abusive des parcelles. Si cette mesure n'assure pas forcément l'infiltration (en cas de sol argileux), elle a l'avantage d'être facile à appliquer.

b) Normes d'infiltration et de rétention : Maryland (USA)⁵

⁵ MDE (2000), *2000 Maryland stormwater design manual*, Maryland Department of the Environment: USA (www.mde.state.md.us)

Cet état des Etats-Unis a défini des critères en terme de traitement des eaux de ruissellement que doivent remplir les nouvelles constructions. Cette approche peut donc rentrer dans une logique de gestion individuelle groupée de ces eaux, car ces critères imposent un volume d'eau de pluie à traiter, percoler et/ou retenir à l'exutoire du lotissement (ou d'une propriété). Les techniques qui permettent de remplir ces rôles sont décrites dans le chapitre précédent. Cinq critères sont retenus, ceux-ci sont définis suivant toute une série de facteurs tels que la surface imperméabilisée par le projet, le type de sol, le régime de précipitations... :

- Volume concernant la qualité de l'eau
- Volume concernant la protection des ouvrages de collecte
- Volume concernant la recharge de la nappe phréatique
- Volume concernant la protection face aux inondations par débordement
- Volume concernant les situations extrêmes d'inondation

Volume concernant la qualité de l'eau

Le premier critère concerne le traitement des eaux de ruissellement polluées, aussi celui-ci ne nous concerne pas directement. Il est cependant intéressant de préciser la manière dont il est construit. Ce critère est défini de manière à déterminer la capacité des ouvrages de traitement afin que ceux-ci puissent traiter 90 % des précipitations annuelles moyennes. Pour ce faire les variables envisagées sont les précipitations annuelles moyennes (P) et le taux d'imperméabilisation du projet (I) (part de la parcelle imperméabilisée).

$$WQ_v = \{ (P) (f I) (A) \}$$

Où f est un facteur et A l'aire de la parcelle

Volume concernant la protection des ouvrages de collecte

Le second prévoit une quantité d'eau à retenir lors de pluie de tempête afin de répartir dans le temps le flux d'eau de ruissellement. Cette démarche permet de réduire le débit des eaux et ainsi la capacité érosive de celles-ci vis-vis des ouvrages de collectes. En effet, ces éléments peuvent être soumis à des phases érosives intenses lors de pluie de tempête. Pour répondre à cela l'épaisseur des boyaux est renforcée, mais cela engendre un surcoût. Ce critère prévoit aussi une capacité de rétention des ouvrages amonts pour réduire les vitesses d'écoulement. Cette approche est cependant controversée, car elle mène à soumettre les infrastructures à des périodes érosives moins intenses mais plus longues. Or, certaines études ont démontré que cette alternative n'entraîne pas nécessairement moins de contraintes (MDE, 2000).

Volume concernant la recharge de la nappe phréatique

L'imperméabilisation d'un site a pour conséquence de diminuer l'infiltration de l'eau de ruissellement sur cette parcelle. Or, c'est par ce biais que les nappes aquifères se rechargent. L'augmentation des zones urbaines peut donc entraîner à long terme une diminution des ressources en eau potable du niveau des cours d'eau. Ce critère impose donc au projet d'urbanisme d'assurer l'infiltration d'une part d'eau de ruissellement identique à celle qui était percolée avant la nouvelle construction. Pour ce faire, les variables prises en compte sont le taux d'imperméabilisation du site (I) et le taux annuel moyen d'infiltration (S). Ce dernier est défini à partir des cartes géologiques en fonction desquelles quatre grandes classes de sols ont été déterminées sur base des taux d'infiltration de l'eau de ruissellement(S). Différents éléments interviennent dans la détermination de ce taux : les pentes, le type de sol, la couverture végétale, l'évapo-transpiration...

$$Re_v = \{ (S) (f I) (A) \}$$

Où f est un facteur et A l'aire de la parcelle

Volume concernant la protection face aux inondations par débordement

Ce critère souhaite prévenir l'augmentation de fréquence et d'ampleur des inondations par débordement. Comme nous l'avons déjà précisé, l'urbanisation croissante de notre région a modifié les cycles hydrographiques qui prévalaient avec pour conséquence une augmentation du ruissellement en période de forte pluie. L'enjeu est ici de prévoir une capacité de rétention des ces eaux au niveau des nouveaux lotissements afin de ne pas augmenter la quantité d'eau à résorber en aval. Le critère impose donc de prévoir un volume de rétention égal au surplus de ruissellement dû au projet par rapport à la situation préexistante.

La détermination de cette quantité se fait pour un événement de référence (pluie d'occurrence bi-annuelles, décennales...) qui doit être choisie en fonction des conditions propres à chaque bassin versant. A partir de ces données de référence, il s'agit de modéliser l'hydrogramme (pour 24 h) de fréquence à l'exutoire du lotissement pour les situations pré et post urbanisation. La comparaison de ces deux hydrogrammes permet alors de déterminer le surplus de ruissellement dû au nouveau projet. Cette modélisation est assez complexe, car elle doit prendre en compte l'occupation du sol avant et après l'urbanisation, le complexe des pentes, le taux d'infiltration des différents sol...

c) Limitation de débits rejetés par les opérations immobilières (Bordeaux)

Dès le début des années 1980, l'agglomération de Bordeaux a connu des inondations spectaculaires. Celles-ci ont été mises sur le compte du développement urbain de la ville et sur ses caractéristiques topographiques particulières (pentes extrêmement faibles). La communauté Urbaine de Bordeaux (CUB) a décidé de réagir en intégrant dans le règlement d'assainissement, une limitation des débits rejetés aux réseaux publics par la mise en œuvre de techniques compensatoires. De ce fait, « seul l'excès de ruissellement peut être rejeté au réseau public après qu'aient été mises en œuvre, sur la parcelle privée, toutes les solutions susceptibles de limiter et étaler les apports pluviaux ». Cette condition s'applique notamment aux opérations immobilières pouvant produire des débits susceptibles de provoquer une saturation des réseaux existants. Dans ces conditions, le service d'assainissement, détermine, avec l'usager concerné, les techniques à mettre en œuvre par ce dernier pour étaler les débits d'apports pluviaux. En outre, des dispositions ont été transférées dans le Plan d'Occupation des Sols pour certains quartiers. Ainsi, il est stipulé que le débit pouvant être rejeté dans le réseau public ne peut être supérieur à celui correspondant à une imperméabilisation de 30% de la parcelle.

Cette disposition a permis le développement d'une soixantaine de bassins privés sur le territoire de la CUB. En parallèle, la commune réalisait comme maître d'ouvrage un certain nombre d'aménagements expérimentaux. Cette démarche nous paraît très intéressante et pourrait inspirer la mise au point d'un RRU en région wallonne.

4.2.1.2 Fondements juridiques

Les mesures de prévention des risques d'inondations à entreprendre sur les bassins versants pourraient être mises en œuvre par un règlement régional d'urbanisme. En effet, les articles 76 et 77 du CWATUP permettent de le penser.

L'article 76 définit ce que les RRU peuvent traiter :

« le Gouvernement peut édicter un ou des règlements régionaux d'urbanisme contenant toutes les dispositions de nature à assurer :

1° la salubrité, la conservation, la solidité et la beauté des constructions, des installations et de leurs abords ainsi que leur sécurité notamment leur protection contre l'incendie et les risques naturels prévisibles, en ce compris les contraintes physiques majeures visées à l'article 136, soit notamment les risques d'inondation (cfr. Article 136).

Ceci nous permet de considérer, notamment à la lumière des éléments avancés dans ce travail, que la mise en œuvre de mesures de prévention des risques d'inondations dans les bassins versants (tranchées drainantes, bassins d'orage, chaussées poreuses...) peut contribuer indirectement à la protection des constructions soumises au risque d'inondations, ainsi que des infrastructures et de leurs abords. Il s'agit donc d'une protection qui s'appliquerait sur l'ensemble des constructions du bassin versant de manière à protéger efficacement les constructions en zones inondables. Il est de fait logique de répartir les efforts inhérents à la lutte contre les inondations à l'ensemble du territoire, sachant que les risques d'inondation ont plus que probablement été accrus par l'action de l'homme sur l'ensemble des bassins versants.

Une telle interprétation est cependant sujette à discussions. Aussi, il nous semble important de rappeler que l'adoption d'un RRU traitant des mesures d'infiltration/rétention des eaux pluviales sur les bassins versants fait partie des mesures que la circulaire du 9 janvier préconise:

« ...le Règlement Régional d'Urbanisme, en cours de préparation, sur le thème des inondations, déterminera les termes de références à suivre, tant en matière de gestion des zones soumises à l'aléa « inondation » (zones inondables), qu'en matière de gestion des eaux de ruissellement et des équipements à imposer ou à privilégier à cette fin ».

L'avantage d'un tel règlement est d'être applicable sur tout ou une partie prédéfinie des bassins versants, de fait l'Article 77 du CWATUP stipule que : « ces règlements sont applicables à tout le territoire de la région wallonne, à une partie de ce territoire dont ils fixent les limites ou encore à telles catégories de communes ou de parties de communes qu'ils déterminent. » Cet état de fait est évidemment crucial pour les mesures de prévention étudiées dans ce travail, car celles-ci doivent, de par leur nature, être adoptées en amont des zones inondables, soit sur les bassins versants. En effet, elles répondent au principe de ralentissement du ruissellement par infiltration et/ou rétention le plus tôt possible de manière à réduire les volumes d'eau que les vallées doivent charrier en période de fortes pluies.

Cet article permet aussi d'envisager l'emploi d'un règlement zoné. Or cette possibilité est essentielle pour la mise en œuvre des techniques que nous étudions. En effet, l'infiltration des eaux de pluie n'est pas souhaitable partout en raison des risques de pollution des zones sensibles (zones de captages, zones karstiques...), elle n'est pas non plus réalisable techniquement en toutes circonstances (sols imperméables comme l'argile, nappe phréatique proche du sol...). Il est donc nécessaire d'envisager une définition des zones où l'infiltration doit être proscrite soit nécessaire

De plus, ces règlements sont applicables par arrêté du gouvernement, ce qui permet une mise en œuvre plus facile. De fait, la mise en route d'un RRU ne nécessite pas nécessairement de modification du code.

Enfin, la gamme d'actions couvertes par les RRU est très large. De fait, ils s'appliquent aux actions suivantes : « ces règlements peuvent concerner les constructions et les installations au-dessus et en-dessous du sol, les enseignes, les dispositifs de publicité et d'affichage, les antennes, les canalisations, les clôtures, les dépôts, les plantations, les modifications au relief du sol et l'aménagement d'emplacements destinés à la circulation et au parcage des voitures en dehors de la voie publique » (Art. 76). Ainsi, les actes et travaux nécessaires à la mise en œuvre des techniques décrites au chapitre 3 rentrent bien dans les compétences d'un arrêté gouvernemental.

4.2.1.3 Justification scientifique

Cette prise de position s'explique par le fait que les mesures décrites au chapitre précédent permettent, correctement mises en œuvre, de réduire notablement les pics de débit atteints lors d'épisode de pluie à l'exutoire d'une parcelle. Or, nous savons que l'urbanisation d'une surface se solde par son imperméabilisation et, de ce fait, entraîne une augmentation notable du pic de débit de ruissellement pour un régime de précipitations donné. Mais, certaines pratiques pourraient, si elles sont répandues et sous certaines conditions (nature des sols, caractéristiques du bassin...), réduire les risques d'inondation en aval.

L'exemple de la construction de Louvain-la-Neuve sur un plateau initialement occupé par des activités agricoles est, à ce titre, assez explicite, puisque cette opération a imperméabilisé 50 % de la surface. Les pics de débits à l'exutoire du site avant aménagement ont été estimés récemment à $1\text{m}^3/\text{s}$. En outre, l'imperméabilisation brutale du site aurait conduit à un débit réel évalué à $20\text{m}^3/\text{s}$ (dans l'hypothèse d'une ville de 50.000 habitants). Notons aujourd'hui que des maxima de $14\text{m}^3/\text{s}$ ont été enregistrés lors d'événements pluviaux importants. Ces débits devaient, à l'état initial, être évacués dans la Dyle à Ottignies, or le seuil de débordement de cette rivière est de $30\text{m}^3/\text{s}$ à Wavre. Pour répondre à ce problème, des mesures de gestion des eaux ont été envisagées pour diminuer les débits à l'exutoire de la zone urbanisée. Le choix s'est alors porté sur la réalisation du Lac de Louvain-la-Neuve qui remplit les fonctions d'un bassin d'orage et permet une intégration urbanistique non négligeable (Persoons *et al.*, 1996).

D'autres éléments permettent d'évaluer l'impact de l'urbanisation sur les débits de crue. Ainsi, l'urbanisation de toutes les zones d'habitat au Plan de secteur du bassin de la Dyle entraînerait une augmentation des débits de crue pour une pluie centennale de $10\text{m}^3/\text{s}$, soit un passage de $32\text{m}^3/\text{s}$ à $42\text{m}^3/\text{s}$. Cette croissance est énorme et doit nous inciter à concevoir des modes d'urbanisation favorisant au maximum la rétention et l'infiltration des eaux de pluie (Tricot, 2003).

4.2.1.4 Mise en œuvre

Comme nous l'avons vu dans la partie 3.1.1., de trop nombreux paramètres interviennent pour pouvoir définir *a priori* les mesures de rétention/infiltration à imposer dans tel ou tel bassin-versant. Le contexte physique joue un rôle primordial (pente, type de sol, caractéristique du bassin versant, présence de zones sensibles...) mais d'autres éléments doivent entrer en ligne de compte comme la nature du projet (des solutions différentes seront envisagées s'il s'agit d'une usine, d'un lotissement ou d'une habitation isolée), le contexte spatial (centre ville, milieu rural...), ou les infrastructures disponibles (réseau séparatif, égouttage absent...).

C'est pourquoi, il est intéressant d'édicter dans le RRU des objectifs à atteindre en terme de rétention/infiltration lors de la construction d'un bâtiment en laissant aux entrepreneurs le soin de déterminer la solution la plus efficace. La publication d'un guide de bonnes pratiques pour la rétention et l'infiltration des eaux pluviales serait l'outil indispensable pour accompagner le choix de ceux-ci.

Ces objectifs devraient être définis en fonction des caractéristiques de ruissellement et de percolation du site avant aménagement. Une estimation des caractéristiques hydrologiques initiales de la parcelle serait alors nécessaire à l'image de ce qui se fait en France ou aux Etats-Unis (voir exemples précédents). Ces normes pourraient imposer le maintien des paramètres hydrologiques avant urbanisation ou permettre une marge de dépassement. Enfin, elles seraient d'application à l'exutoire d'une parcelle ou d'un lotissement. De fait, nous avons vu dans le chapitre précédent que c'est à ce niveau que les techniques alternatives permettent la plus grande économie. Il serait donc très intéressant de prévoir des mécanismes pour encourager leur usage à cette échelle. Enfin, la possibilité de mettre en œuvre des ouvrages de compensation à l'extérieur de la parcelle doit être envisagée. De fait, certaines situations peuvent rendre l'usage de techniques d'infiltration/rétention impossible sur la parcelle.

Les paramètres à régler pourraient être :

- La part imperméabilisée :

Un règlement pourrait, à l'instar du RGU bruxellois, limiter la part d'imperméabilisation artificielle des cours et jardins pour encourager les revêtements perméables. Une dérogation devrait être prévue pour les terrains imperméables naturels.

- La capacité de rétention de la parcelle :

Imposer la rétention d'un volume égal (ou inférieur de x %) au surplus de ruissellement dû à la construction par rapport à la situation avant aménagement. Ce volume serait défini en fonction d'une pluie de référence (pluie décennale par exemple).

- La capacité d'infiltration de la parcelle

Imposer la mise en œuvre de techniques pour infiltrer un volume égal (ou inférieur de x %) à celui percolé initialement.

- Le rejet des eaux pluviales à l'exutoire de la parcelle

Un débit maximal applicable à l'exutoire d'une parcelle peut être défini. Cette réglementation impliquerait indirectement la mise en œuvre de moyen de percolation et/ ou d'infiltration. Elle pourrait ainsi remplacer avantageusement les deux normes précédentes car elle est plus simple et reste souple. En effet, elle laisse la possibilité à l'entrepreneur de recourir à des méthodes de rétention et/ou d'infiltration en fonction des caractéristiques intrinsèques du lieu. Pour exemple, il est stipulé dans le POS de Bordeaux que les débits pouvant être rejetés dans le réseau public ne peuvent être supérieurs à celui correspondant à une imperméabilisation de 30% de la parcelle.

- L'obligation d'installer une citerne d'eau de pluie pour les nouvelles maisons unifamiliales.

Cette obligation a été introduite dans le RRU flamand.

4.2.2 Les risques d'inondation dans les SSC

4.2.2.1 Ce qui se fait aujourd'hui

a) Introduction

Certaines communes sensibilisées par les risques d'inondation ont intégré cette problématique dans leur schéma communal de structure. Nous avons notamment recensé les communes d'Aiseau-Presles, Rendeux, Esneux, Braives, Aywaille et Wanze⁶. Ces dernières adoptent une démarche sensiblement similaire : délimitation des zones inondables et restrictions des activités permises dans ces zones. Il n'y a, cependant, pas de mesures envisagées sur le bassin versant.

4.2.2.2 Ce qui pourrait se faire

Ce qui est envisageable à l'échelle régionale peut aussi être encouragé au niveau communal. Le SSC est l'outil par lequel une entité définit ses axes de développement. Aussi, il est tout à fait envisageable que les communes délimitent les zones urbanisables dans lesquelles il serait utile d'imposer des normes quant aux débits de rejet des eaux pluviales. Le RCU pourrait ensuite fixer ces normes en fonction des objectifs édictés dans le SSC. Les raisons d'une telle démarche sont nombreuses : capacité des réseaux d'égouttage et/ou de ruissellement des eaux pluviales en place insuffisant, débordements fréquents ... ou prise de position volontariste.

L'exemple de Bordeaux que nous avons détaillé dans le chapitre précédent (traitant des RCU) illustre une démarche publique active qui a permis la réduction de problèmes d'inondations récurrentes en favorisant les techniques alternatives de maîtrise des eaux pluviales. Cette démarche s'est concrétisée par la définition de normes dans les plans d'assainissement, dans le POS (Plan d'Occupation des Sols) mais aussi par l'élaboration par la commune d'ouvrages expérimentaux.

Notons que d'autres villes françaises comme Lyon ou Douais ont une politique volontariste dans la mise en œuvre des techniques d'assainissement alternatives.

4.2.3 Les mesures pour le bassin versant dans les RCU⁷

Ces documents envisagent deux mesures pour favoriser la rétention et la percolation à appliquer sur l'ensemble de la commune :

- Les citernes d'eau de pluie : obligation est faite pour toutes les maisons unifamiliales d'installer une citerne d'un minimum de 5.000 litres.
- Le revêtement des voiries : le RCU souhaite privilégier l'emploi de revêtements non étanches pour les parkings et éventuellement les voiries.

4.2.3.1 Citernes d'eau de pluie

L'obligation d'installer une citerne d'eau de pluie dans les maisons unifamiliales est une mesure assez fréquemment adoptée par les communes. Il est cependant nécessaire d'avoir une utilisation adaptée de celle-ci pour qu'elles puissent remplir pleinement leur rôle. En effet, il semblerait qu'une taille au moins supérieure à 10.000 litres soit nécessaire pour que ces citernes aient réellement un impact. Or, la plupart des RCU qui imposent ces citernes en Wallonie le font pour des volumes allant de 3.000 à 5.000 litres.

⁶ les Schémas de Structures Communales de ces communes ont été consultés

⁷ Exemples tirés des RCU de Esneux et Wanze

Comme nous l'avons précisé au chapitre précédent, l'utilisation de ces citernes doit être suffisamment fréquente pour maintenir un niveau assez bas. Pour ce faire, il faut élargir l'utilisation de ses réserves, traditionnellement employées pour les travaux extérieurs, à des usages domestiques (chasse d'eau...). En effet, l'hiver qui est la période la plus critique en terme de précipitation est souvent une période où l'utilisation de l'eau de citerne est très faible si l'on se cantonne à un usage extérieur de celle-ci. Il serait aussi intéressant de prévoir dans la citerne un volume qui serait constamment consacré à la rétention en cas de fortes pluies et qui donc serait maintenu vide.

Notons enfin que la Région flamande a arrêté un Règlement Régional d'Urbanisme sur la bâtisse en matière de citernes d'eau (arrêté du 28/08/1999). Ce dernier impose aux nouvelles maisons unifamiliales de construire une citerne qui doit répondre aux deux conditions suivantes :

- Contenu minimum de 3.000 litres
- Ce contenu doit permettre de recevoir les eaux d'au moins la moitié des eaux pluviales de la superficie du toit
- Une pompe doit être raccordée à la citerne

Il pourrait être intéressant que la région wallonne adopte un règlement similaire même si, pour les raisons évoquées ci-avant, cette mesure n'est efficace que sous certaines conditions. Notons que l'obligation de récupérer au moins la moitié des eaux de pluie impose concrètement l'installation d'une citerne dont la capacité est de 60 à 70 litres par m² de toiture. Certaines études estiment de fait qu'il faut 120 à 140 litres de citernes par m² de surface de toit pour récupérer la totalité des eaux (précipitation moyenne à Uccle) (Devillers et Govaerts, 1994).

4.2.3.2 Revêtements perméables

La seconde mesure mentionnée dans ces RCU (utilisation de revêtement perméable) est très intéressante, mais n'est malheureusement reprise que sous la forme d'un souhait dans ce document. Il serait plus intéressant que le RCU fixe des objectifs chiffrés et contraignants en terme d'utilisation de ces revêtements. Il est tout aussi envisageable de prévoir des normes quant aux rejets d'eaux pluviales pour les nouvelles zones d'urbanisation (voire point 4.2.2.2. sur les SSC).

Il reste donc à espérer que cette prise de position soit suivie dans les faits. L'usage de techniques de gestion des eaux pluviales à l'échelle communale est appelé à se généraliser. En effet, la circulaire du 9 janvier 2003 que nous citons au point 4.1.2. encourage très clairement les communes à généraliser l'emploi de revêtements perméables pour les voiries et parkings par exemple et l'utilisation de techniques pour compenser les nouvelles imperméabilisations. Or l'échelle communale peut être intéressante pour réglementer ces mesures via un RCU. En effet, l'article 78, paragraphe premier du CWATUP définit que le RCU peut, entre autres, « *fixer les limites en ce qui concerne la voirie, les espaces publics, les prescriptions relatives aux gabarits, au mode de revêtement, au traitement du sol, au mobilier urbain, aux plantations, au parcage des véhicules...ainsi qu'aux conduites, câbles et canalisations* ». Ces actions que le RCU peut couvrir permettent d'imposer la mise en œuvre de bon nombre de techniques alternatives pour la maîtrise des eaux de ruissellement.

De plus, ce niveau permet de prendre en compte avec précision les nombreux facteurs (caractéristiques du bassin versant, hauteur des nappes, type de sol...) qui doivent être considérés avant de privilégier l'infiltration des eaux de ruissellement. Il est donc largement souhaitable que les mandataires communaux soient informés, sensibilisés et encouragés à promouvoir ces mesures. Pour ce faire, il serait utile de préparer un guide de bonnes pratiques destiné aux entrepreneurs, gestionnaires de services publics et aux décideurs communaux afin de garantir une meilleure connaissance et application des techniques alternatives. Ce guide attirera l'attention de ces acteurs sur l'importance de la prise en compte des facteurs physiques et contextuels (type de sols, nappes...) dans leurs actions.

4.3 CONCLUSIONS

Nous avons vu, précédemment, que les techniques alternatives de gestion des eaux pluviales permettent, par leur grande diversité, d'assurer une rétention et une infiltration dans de nombreux cas de figure. Certes, les inondations ne pourront être éradiquées, mais ces outils devraient permettre de mieux maîtriser les eaux de ruissellement d'origine urbaine dans les moments critiques.

Ce chapitre a, en outre, mis en exergue de nombreux moyens pour mettre en œuvre ces techniques. La première de ces mesures devraient être la réalisation d'un code de bonnes pratiques afin de promouvoir et d'informer tout un chacun sur les avantages et les caractéristiques de ces méthodes.

Il sera ensuite indispensable de légiférer sur ce sujet pour garantir une urbanisation « raisonnée » en terme d'imperméabilisation et de gestion des eaux de ruissellement. Le RRU pourrait être l'outil qui permettrait d'atteindre cet objectif. La question juridique de cette solution doit encore être approfondie, mais il est clair qu'il s'agit là d'un des axes principaux que le gouvernement a édicté dans le Plan Pluies de 2003. La grande diversité et la complexité des situations ne permettront pas, dans ce RRU, de définir *a priori* les moyens à mettre en œuvre mais bien de définir les objectifs à atteindre. Ces objectifs pourrait définir des normes quant aux débits de rejet des eaux pluviales à l'exutoire des parcelles ou des lotissements. Ces normes inciteront les prestataires à mettre en œuvre des équipements de rétention et d'infiltration des eaux pluviales sur base du code de bonnes pratiques.

La région peut également imposer l'installation de citernes d'eau de pluie pour les maison unifamiliales via un RRU. Elle confirmerait ainsi la politique de nombreuses communes qui ont déjà pris cette disposition dans leur RCU. Elle pourrait, enfin, utiliser des moyens financiers pour inciter (subsides) ou découragés (redevances à l'imperméabilisation) certaines pratiques.

Les communes pourraient, à leur niveau, accompagner cette politique. Nous l'avons vu, de nombreuses communes imposent déjà des citernes d'eau de pluie pour les maisons, d'autres encouragent le recours aux revêtements perméables pour les voiries. Cette démarche pourrait être prolongée via la réglementation (normes sur l'imperméabilisation, la rétention et l'infiltration des eaux dans les nouveaux quartiers par exemple) ou la mise en œuvre de projets précurseurs qui peuvent à la fois assurer une bonne gestion des eaux pluviales et offrir un « plus » urbanistique (lac artificiel, noues, terrains de sport temporairement inondables...).

5. EVALUATION

5.1 LES MESURES TECHNIQUES

Les techniques alternatives de gestion des eaux pluviales sont de nature et de fonctionnement très divers. Elles contribuent toutes à ralentir le ruissellement des eaux par rétention et/ou percolation, mais leur fonctionnement si varié rend toute comparaison hasardeuse. Leur emploi doit donc être évalué au cas par cas.

Leur échelle est très variable, là où les toits réservoirs et les citernes d'eau assurent la rétention à la parcelle, les tranchées ou les noues peuvent gérer les eaux de ruissellement d'une rue et les bassins de rétention interviennent eux à l'échelle d'un quartier voire même d'une petite ville.

Leur impact urbanistique diffère également : les toits réservoirs, les noues ou les bassins de grande taille nécessitent un travail d'intégration très important là où les chaussées poreuses, les citernes ou les tranchées drainantes ont un impact assez faible. Toutefois, ce travail d'intégration s'avère souvent bénéfique, car il permet de valoriser l'espace en assurant une place à l'eau dans la ville.

Certaines mesures ont essentiellement une action de rétention. C'est le cas des citernes d'eaux de pluie ou des toits réservoirs à l'infiltration. Ces techniques ne demandent que quelques précautions d'usage en ce qui concerne le sous sol. Par contre, les mesures d'infiltration nécessitent une étude d'incidence afin d'éviter les risques de pollution ou de saturation des couches superficielles du sol. Ainsi la percolation peut être assurée par les puits d'infiltration mais aussi par des mesures qui peuvent avoir, à la fois, un rôle de rétention et/ou une action d'infiltration (bassins de rétention et d'infiltration, tranchées drainantes, noues). Ces techniques peuvent donc être amputées de leur fonction de percolation si le contexte ne le permet pas. Cette multiplicité des fonctions peut être résumée sur le tableau ci-dessous. Nous y avons repris les différentes mesures et classé celles-ci en fonction de leurs actions.

Tableau 57 - Classification des mesures selon leurs actions

	Actions sur les bassins versants	A	B
1	Citerne d'eau de pluie	<input checked="" type="checkbox"/>	(<input checked="" type="checkbox"/>)
2	Rétention de l'eau au niveau des toitures	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	Tranchées drainantes et noues	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Puits d'infiltration		<input checked="" type="checkbox"/>
5	Chaussée à structures réservoirs	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	Bassins de retenue	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7	Réseau séparatif	<input checked="" type="checkbox"/>	

A : gestion des flux avant le cours d'eau

B : actions de percolation, infiltration

En définitive, il est utile de souligner que, à chaque situation, correspond une solution particulière qu'il convient de définir en fonction de différents éléments : la nature du projet, les objectifs que l'on souhaite atteindre, les caractéristiques intrinsèques du site de construction, les coûts générés... Heureusement, le large panel des techniques alternatives disponibles doit permettre de répondre à un grand nombre de problématiques.

a) Citernes d'eau de pluie

Comme nous l'avons dit, la taille de la citerne doit être conséquente pour qu'elle puisse assurer son rôle. De plus, son usage doit être réfléchi de manière à assurer une capacité de rétention pour les épisodes critiques. Nous avons, en outre, cherché à déterminer quelle serait l'influence des citernes en terme de rétention dans l'hypothèse d'une averse importante pour la ville de Louvain-la-Neuve.

Pour ce faire, nous sommes parti d'une averse de référence pour laquelle de nombreuses mesures avaient été faites sur le site de Louvain-la-Neuve. Il s'agit de la pluie du 28 août 1996 durant laquelle il plut 105,1 mm en 24 heures avec une intensité supérieure à l'occurrence centennale de 4,38 mm/h (Persoons *et al.*, 1996). Le total brut de pluie tombée sur le site (superficie de 278 hectares⁸) s'élève donc à un volume de 292.955 m³. Il faut ensuite tenir compte du coefficient de ruissellement pour déterminer le volume d'eau de ruissellement que le réseau a dû gérer. Ce coefficient a été estimé à 0,265 grâce aux mesures qui ont été effectuées par le GERU lors de cet événement particulier (Persoons *et al.*, 1996). Le volume d'eau ruisselé lors de cette journée s'élève donc approximativement à 77.633 m³.

Nous avons ensuite estimé la superficie bâtie couverte par les habitations unifamiliales à 19 hectares⁹. Cette superficie nous permet d'évaluer la quantité d'eau reçue par les toitures des maisons de Louvain-la-Neuve à 19.945,3 m³. Valeur à laquelle il convient de retirer un coefficient de ruissellement théorique de 0,8 pour une toiture. Nous obtenons ainsi un volume d'eau ruisselé de 15.956 m³, ce chiffre représente la quantité d'eau susceptible d'être captée par les citernes de l'ensemble des habitations. Enfin, sachant que le nombre de ces habitations s'élève à 2060, nous pouvons faire des hypothèses quant à l'impact en terme de rétention de cet outil¹⁰.

- Première hypothèse : situation idéale

Cette hypothèse considère que l'ensemble des maisons unifamiliales possède une citerne d'eau de pluie de 5 m³ minimum et que l'usage de ces citernes est suffisamment régulier pour assurer un espace de rétention permanent de 3 m³. Ce cas de figure permet aux citernes de retenir un volume de 6180 m³, ce qui correspond à 38,7 % des eaux qui transitent par les toitures mais à seulement 8,0 % des eaux pluviales ruisselées de l'ensemble du site.

- Deuxième hypothèse plus réaliste

Nous considérons ici que deux tiers des foyers possèdent une citerne. En outre, nous estimons que le volume disponible ne dépasse pas 2 m³. Dans cette situation, le stock de rétention ne s'élève qu'à 2040 m³, ce qui représente 12,8 % de l'eau susceptible d'être captée via les toitures et 2,6 % de l'eau de ruissellement totale.

⁸ PICC 2003

⁹ Ibid.

¹⁰ Ibid.

En conclusion, il apparaît que les citernes sont que d'une utilité secondaire pour résorber des pluies aussi exceptionnelles (rétention de 2,6 % des eaux de ruissellement dans l'hypothèse réaliste). Ceci ne doit cependant pas occulter les nombreux avantages que les citernes individuelles peuvent remplir : économie pour le ménage, utilisation parcimonieuse de l'eau potable, mais aussi une capacité de rétention qui, dans des situations normales, permet de récupérer une part importante des eaux de pluie récoltées sur les toits (Devillers et Govaerts, 1994).

b) *Rétention de l'eau au niveau des toitures*

L'efficacité d'une telle mesure reste faible à moins d'être appliquée à l'ensemble d'un bassin versant, soit dans le cas d'un projet d'importance. Ainsi, dans le cas d'une campagne menée dans un bassin versant de 26 ha situé à Aix-en-Provence (surface imperméabilisée de 20 ha, dont 7 ha de surface en toiture-terrasse), les résultats suivants ont été obtenus (Valiron et Tabuchi, 1992) :

- Réduction des débits de pointe compris entre 30 et 70 %, en fonction de l'importance de la pluie. L'abattement des débits est maximum pour des pluies courtes et intenses.
- Restitution différée à faible débit sur 6 heures.

Il est en outre utile de préciser que la maîtrise technique de cet outil n'est pas facile. Les acteurs de terrain que nous avons rencontrés restent sceptiques eu égard aux difficultés que peut apporter la détérioration des toits-citerne après quelques décennies. L'étanchéité du toit est, de fait, un élément qu'il faut contrôler, car des accidents peuvent survenir avec le temps.

c) *Tranchées drainantes et Noues*

Ces deux techniques offrent une alternative aux petits bassins d'orage en assurant un rôle de rétention des eaux pluviales qui peut s'avérer très précieux. Il n'est, en effet, pas toujours possible d'installer des bassins dans les noyaux d'habitats les plus denses en raison de la place que ces structures mobilisent. Les tranchées ou les noues peuvent également suppléer les bassins là où ils ne sont pas acceptés par les riverains. Ceux-ci invoquent parfois les risques de débordement, de mauvaises odeurs ou de déprédation du site (abandon d'ordures...) pour refuser leur emploi. Ils pourront être remplacés par ces éléments qui ont l'avantage d'être plus discret dans l'environnement urbain.

Les noues apportent, en outre, un plus urbanistique qui est très appréciable. De nombreuses expériences sont menées à leur sujet et elles semblent aboutir à des résultats positifs.

d) *Puits d'infiltration*

Si cette méthode peut ponctuellement s'avérer utile, sa capacité de stockage n'en est pas moins limitée. En outre, les risques de pollution de la nappe doivent être considérés avec sérieux. De plus, il faut veiller à maintenir un entretien régulier pour éviter le colmatage du puit.

e) *Chaussées à structures réservoirs et revêtements perméables*

L'impact de ces outils en terme de stockage est important. Des suivis expérimentaux ont mesuré des déficits d'écoulement de 55 à 75 % en fonction des matériaux utilisés comme structure réservoir. Le stockage d'eau possible peut ainsi varier selon les structures choisies de 120 à 135 mm. Enfin, outre les déficits, des retards à l'écoulement intéressants sont également été mesurés (Valiron et Tabuchi, 1992). Cette technique mériterait donc une utilisation plus étendue.

f) *Bassins de retenue*

C'est la solution la plus usitée actuellement pour la maîtrise des eaux de ruissellement. Elle permet une capacité de stockage et d'écrêtement des débits de crue très importante. L'exemple du lac de Louvain-la-Neuve est explicite à ce sujet. Les pluies d'occurrence centennales de la fin août 1996 ont permis de mettre en lumière son efficacité. En effet, le pic de débit d'entrée a été estimé à 8 m³/s à l'entrée du lac alors que le débit de sortie ne dépassait pas les 0,5 m³/s. Sans la capacité de rétention du lac, ces 8m³/s de débit auraient rejoint directement leur affluent naturel la Dyle dont le seuil de débordement est de 30 m³/s à Wavre (Persoons *et al.*, 1996)!

Comme nous l'avons évoqué ci-dessus, les bassins de rétention peuvent prendre des formes très différentes au gré des situations. En effet, chaque cas doit être pris en compte particulièrement pour sélectionner et définir la meilleure solution technique à envisager. Nous encourageons cependant l'emploi accru des bassins multi-fonctionnels (bassin sec sous forme de terrain de sport, lac à vocation écologique et/ou ludique...) qui peuvent offrir, s'ils sont bien conçus, un plus urbanistique qui contribuera à faire oublier les bassins d'orage en béton que l'on a trop souvent vus se transformer en dépotoirs.

g) *Le réseau séparatif*

Si l'emploi d'un réseau séparatif n'est pas à proprement parler une mesure de lutte contre les inondations. Sa mise en œuvre nécessite, cependant, la limitation des débits de pointe et incite donc à une maîtrise des eaux pluviales « en amont ». Cette limitation est, en effet, nécessaire pour réduire le diamètre des conduites (gain économique) et facilite l'implantation de dispositifs de stockage-décantation plus efficaces en aval (gain écologique par dépollution). Cette limitation se fait classiquement par l'utilisation d'un bassin d'orage en amont mais peut aussi encourager la mise en œuvre des techniques alternatives envisagées ci-dessus. C'est à ce niveau que les réseaux séparatifs peuvent avoir une réelle incidence sur la lutte contre les inondations.

5.2 LA MISE EN ŒUVRE

Le gouvernement souhaite établir un RRU pour déterminer les termes de référence en matière de gestion des eaux de ruissellement et des équipements à imposer ou à privilégier à cette fin. L'objectif de cette démarche est de limiter les impacts néfastes de l'imperméabilisation sur les régimes hydriques.

Pour ce faire, nous pensons qu'il serait pertinent de définir des objectifs de rétention/infiltration en laissant aux auteurs de projets la latitude de choisir les moyens pour y parvenir à l'image de ce qui s'est fait à Bordeaux. En effet, ce dernier point nécessite la prise en compte de nombreux paramètres locaux (complexe de pentes, sols, précipitations, infrastructures...) dont un règlement régional ne peut se charger.

La définition de ces objectifs peut concerner différents paramètres. Nous avons présenté des exemples d'expériences étrangères pour illustrer cela. Une approche, semblable à celle du Maryland, serait de définir des normes pour les paramètres suivants : part de surface imperméabilisée, capacité de rétention et capacité de percolation de la parcelle. Cette démarche est intéressante mais paraît lourde à appliquer.

Nous pensons qu'il est plus pertinent d'imposer une limitation quant aux débits d'eaux pluviales rejetées à l'exutoire du projet comme à Bordeaux. Cette manière d'opérer est plus simple et plus souple que la précédente, car elle laisse aux entrepreneurs le soin d'agir sur la rétention et/ou la percolation eu égard aux conditions intrinsèques de l'opération.

D'une manière générale, ces normes seront fixées en fonction des caractéristiques initiales de la parcelle et pour une pluie de référence. L'idéal serait d'établir cette référence en fonction des caractéristiques de chaque bassin hydrographique pour plus de pertinence.

De plus, les communes doivent être suffisamment informées et sensibilisées à propos de la rétention et de l'infiltration des eaux urbaines. En effet, elles jouent un rôle important dans la gestion de leur espace et pourront, notamment via leur RCU, encourager les mesures analysées dans cette étude à l'instar de ce qui se fait à Rendeux.

6. ACTIONS D'ACCOMPAGNEMENT : TAXES OU INCITANTS FINANCIERS

6.1 REDEVANCES A L'IMPERMEABILISATION : L'EXEMPLE FRANÇAIS

Une redevance sur l'imperméabilisation des sols est un outil dissuasif qui se base sur le principe du « pollueur – payeur ». Une telle redevance est notamment développée dans le nouveau Code de l'Environnement français en projet sous le nom de « redevance pour modification du régime des eaux (Article L. 213-21) » (Marcovitch D., 2001). Cet article vise à créer un type de redevance applicable à toute action venant modifier l'écoulement ou le régime hydrologique des eaux de manière à prévenir la dégradation qualitative des eaux. En effet, le code considère « *que ces modifications ont un impact important sur le milieu aquatique et réduisent la biodiversités des espèces, ne laissant dans les cours d'eau qu'un débit résiduel très faible, piégeant les sédiments, réduisant le débit d'étiage ou provoquant des variations intenses du débit.* »

La problématique des inondations n'a cependant pas été oubliée, car deux actions susceptibles d'aggraver les dommages causés par les inondations sont également concernées par ces redevances. La première porte sur les nouvelles imperméabilisations supérieures à un hectare. Les grands complexe comme les autoroutes, les parkings ou les centres commerciaux sont particulièrement visés ici, car ces infrastructures facilitent le ruissellement. La seconde redevance s'applique sur la réduction de la surface des champs d'expansion des crues d'une taille supérieure à 10 hectares. Cette dernière catégorie d'imposition s'accorde avec le principe selon lequel il faut laisser de la place aux cours d'eau pour leur débordement périodique. Elle sanctionne donc les projets de constructions sur les zones d'écoulement des cours d'eau.

Ces redevances seront utilisées pour rééquilibrer le financement de la politique d'amélioration de la qualité des eaux, supporté largement par les consommateurs. De plus, elles participent à la prévention des inondations en reconnaissant le rôle joué par les « données » urbanistiques dans les événements survenus dans plusieurs régions de France ces dernières années.

Le mode de calcul de la redevance relative à l'imperméabilisation du sol a été élaboré de manière à encourager les « bonnes pratiques ». En effet, celle-ci est calculée à partir du produit de la surface imperméabilisée par un coefficient de compensation de l'aggravation du ruissellement qui varie de 0 à 1 en fonction des mesures prises par le maître d'ouvrage ou la collectivité concernée pour atténuer l'aggravation du ruissellement. Notons que la surface imperméabilisée a été définie comme « *toute surface aménagée exposée aux pluies et recouverte d'un matériau artificiel modifiant la capacité naturelle d'infiltration et de rétention des sols, à l'exclusion de l'emprise au sol des immeubles destinés à l'habitat* ».

Le même principe a été appliqué dans le calcul de la redevance relative à la réduction de la surface des champs d'expansion de crues. Cette dernière est définie par la superficie soustraite au champ d'expansion des crues multipliée par un coefficient de rétention. Celui-ci varie lui aussi entre 0 et 1 en fonction des mesures prises par les concepteurs pour faciliter l'écoulement des crues au travers ou au-dessus de l'aménagement considéré.

6.2 MISE EN ŒUVRE EN REGION WALLONNE

Cet exemple est intéressant et pourrait inspirer la Région wallonne. Les modalités de sa mise en œuvre devraient encore être détaillées, mais son élaboration devra s'assurer que la redevance soit suffisamment élevée pour encourager les opérateurs à prévoir, dès la conception de leur projet, la réalisation des techniques alternatives pour minimiser les conséquences de l'imperméabilisation du site sur le régime de l'eau.

Une autre manière d'encourager financièrement les bonnes pratiques serait de permettre un abattement des frais d'assurance « inondation ». Celui-ci serait réservé aux habitations qui auraient rempli les conditions reprises dans un cahier des charges. Ce dernier serait défini de manière à assurer un niveau élevé de rétention et d'infiltration au niveau de la parcelle ou du lotissement.

Nous savons, en effet, que de nouvelles dispositions sont à l'étude concernant l'abandon de la couverture des inondations par le fond des calamités et la mise sur pied d'une assurance « inondation » à contracter auprès d'une société privée. Ajoutons que cette assurance sera plus que vraisemblablement obligatoire pour tout le monde au même titre que l'assurance incendie.

Enfin, il est tout à fait possible de prévoir des subsides pour encourager les particuliers ou les communes à utiliser les techniques alternatives de gestion des eaux pluviales à l'image de ce qui se fait en Région Flamande. En effet, l'arrêté du gouvernement flamand du premier février 2002 prévoit que la région intervienne pour 50 % dans les frais de revalorisation des fossés aux conditions fixées par ce même arrêté : *« à condition que la commune mène une politique axée sur la séparation des eaux pluviales sur l'ensemble de son territoire :*

1° en fixant un règlement communal de prime en vue de l'installation d'un puits pour eaux pluviales et/ou d'un équipement d'infiltration conforme au code de bonne pratique, et
2° en fixant un règlement communal en matière de raccordements séparés d'immeubles neufs et restaurés en vue de l'évacuation séparée des eaux usées et des eaux pluviales n'autorisant l'évacuation des eaux pluviales vers un réseau mixte qu'en cas de défaut d'un équipement d'infiltration, d'un fossé ou d'une canalisation d'évacuation d'eaux de surfaces ou d'eaux pluviales.

Ce subside s'assure donc que les communes posent les bases d'une politique de gestion des eaux pluviales via des techniques alternatives. Cet arrêté permet également une majoration de l'intervention de la région allant jusqu'à 100 % pour un réseau séparatif qui évacue les eaux de pluies par un système de fossés revalorisés écologiquement ou à l'aide d'équipements de rétention de ces eaux.

PARTIE III

MESURES A PRENDRE EN MATIERE D'URBANISME POUR AMELIORER L'EFFICACITE ENERGETIQUE

1. INTRODUCTION

Le programme de travail 2002-2005 comporte l'objectif d'élaborer des propositions de mesures d'aménagement du territoire visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) ainsi qu'à prévenir les effets du changement climatique.¹

A cette fin, la recherche porte notamment sur les principes et les outils (réglementaires, fiscaux, techniques, ...) appliqués en Belgique et dans d'autres pays de l'Union européenne qui ont pour objet la réduction des émissions par des mesures d'urbanisme et d'aménagement du territoire.

Dans ce chapitre, on étudiera plus particulièrement les performances énergétiques de différentes formes d'urbanisation à une échelle fine : volumes et formes du bâti, articulation des volumes par groupements mitoyens ou non, densité et mixité, ensoleillement et exposition au vent...). Il s'agit de proposer des mesures nouvelles ou d'adapter les mesures existantes pour rencontrer les obligations et engagements pris par la Région wallonne dans le cadre du Protocole de Kyoto.

1.1 EFFICACITE ENERGETIQUE DES BATIMENTS ET EMISSION DE GES

La recherche tend à vérifier l'hypothèse suivante : l'objectif de réduction d'ici 2010 de 7,5% des émissions de GES en Région wallonne peut être rencontré pour partie par l'amélioration de l'efficacité énergétique des constructions et des structures urbaines. Les émissions résultant des consommations des secteurs résidentiels, industriels et tertiaires comptent en effet pour une part importante dans les pollutions par GES.

Cette hypothèse repose sur le postulat qu'une réduction des émissions de GES est possible par une minimisation des pertes énergétiques résultant de la forme du bâti, par une maximisation des apports passifs, ce qui se traduirait par une moindre consommation et production d'énergie amenant finalement à une réduction des rejets gazeux dans l'atmosphère. Cette hypothèse ne doit pas faire oublier l'importance des choix des systèmes de production énergétique ainsi que des comportements de consommation individuels dans la problématique des émissions de GES, aspects développés entre autre dans deux documents stratégiques du Gouvernement wallon : le Plan pour la maîtrise durable de l'énergie à l'horizon 2010 et dans le projet de Plan de l'air.

1.2 CONTENU DU RAPPORT

Le présent chapitre présente les premiers résultats partiels de la première partie de la recherche relative à l'efficacité énergétique en urbanisme. Les aspects relatifs au potentiel énergétique des zones définies dans les documents d'aménagement du territoire et les mesures relatives à l'efficacité des systèmes d'énergie ne seront abordés que dans les deux années à venir.

¹ C.P.D.T., Programme de travail 2002-2005, document du 04/07/2002, p 7.

Conformément au plan de recherche², trois étapes sont présentées ci-après :

- l'identification des types de mesures prises en matière d'urbanisme,
- l'étude des mesures relatives à l'enveloppe des constructions,
- les recommandations et mesures proposées.

1.3 LES MESURES EN MATIERE D'URBANISME COMME LEVIER DE LA POLITIQUE ENERGETIQUE WALLONNE

La politique wallonne de l'énergie s'est fixé pour objectif de réduire la consommation finale globale de quelque 2% entre 2000 et 2010. Toutefois, la consommation finale de 2010 sera cependant toujours en hausse.³ Sans changement de politique énergétique, on s'attend en effet à une augmentation de la consommation finale de l'ordre de +8% entre 2000 et 2010.

L'objectif de la politique énergétique est donc de ramener à +5% l'augmentation de la consommation par rapport à 1990, année de référence du Protocole de Kyoto. A coefficient moyen d'émission de CO₂ inchangé, cette augmentation amènerait un accroissement équivalent (+5%) des émissions de CO₂ d'origine énergétique. Au contraire, la stratégie d'utilisation durable de l'énergie (UDE) proposée par le plan wallon permettra de réduire les émissions de CO₂ d'environ 7,5%.

La production d'énergie produit aussi d'autres polluants : SO₂, NOx, imbrûlés, poussières. Leur impact est plus localisé que celui du CO₂ et leur intensité peut être réduite par des améliorations technologiques.

L'objectif de réduction des émissions de CO₂ pourra être atteint par le recours aux énergies renouvelables (soit 1/3 de l'effort) et par l'implémentation d'une stratégie d'utilisation rationnelle de l'énergie (URE) (soit 2/3 de l'effort).

Ces deux stratégies concernent directement la politique urbanistique menée par la Région wallonne.

L'URE implique en effet :

- des mesures d'économie (liées au comportement de l'utilisateur dont les besoins dépendent directement de l'environnement bâti dans lequel il évolue),
- le choix judicieux des combustibles qui est notamment conditionné par la présence de réseaux d'énergie ou de chaleur et par les possibilités de développer des installations utilisant des énergies renouvelables (soleil, vent, eau, bio-masse),
- l'efficacité énergétique des bâtiments, des installations, des structures urbaines mises en place.

Le recours aux énergies renouvelables amène aussi à repenser à différentes échelles la chaîne de production – distribution - consommation d'énergie ce qui conduit à faire évoluer les conceptions en matière d'urbanisation du territoire et de réappropriation des espaces bâtis. Il s'agit notamment de se rapprocher des sources d'énergie renouvelable et de concevoir un habitat suffisamment dense et performant pour exploiter au mieux le potentiel des énergies produites.

² Projet de plan de recherche, p. 9-13. Document approuvé par le Comité d'accompagnement thématique le 12.11.2002.

³ DGTRE (2001), La maîtrise durable de l'énergie. Synthèse du Plan pour la maîtrise durable de l'énergie à l'horizon 2010 en Wallonie, p. 3.

Des mesures en matière d'urbanisme seront donc à prendre dans les années à venir à la fois pour accroître l'efficacité énergétique des bâtiments et des réseaux et pour réduire globalement les besoins énergétiques de l'habitat (logements, commerces, bureaux, ...) en ville, mais aussi dans les zones périurbaines et rurales.

Quatre types de mesures peuvent a priori être envisagés :

- des organisations spatiales tendant à limiter les comportements de consommation,
- des structures optimisant les systèmes de production d'énergie et les stratégies de régulation,
- des mesures modulant les caractéristiques physiques des bâtiments (matériaux, conception architecturale, vitrage, ...) en fonction d'un environnement,
- des mesures plus strictement urbanistiques concernant les fonctions (mixité des programmes) et la forme urbaine (mode d'implantation, articulation volumétrique, ensoleillement, exposition au vent, ...) des bâtiments.

Le quatrième type de mesures relève plus spécifiquement des compétences régionales en matière d'urbanisme. Le premier fait davantage référence à l'aménagement du territoire et aux comportements responsables de ses utilisateurs, le second et le troisième relevant d'approches à la fois techniques et architecturales.

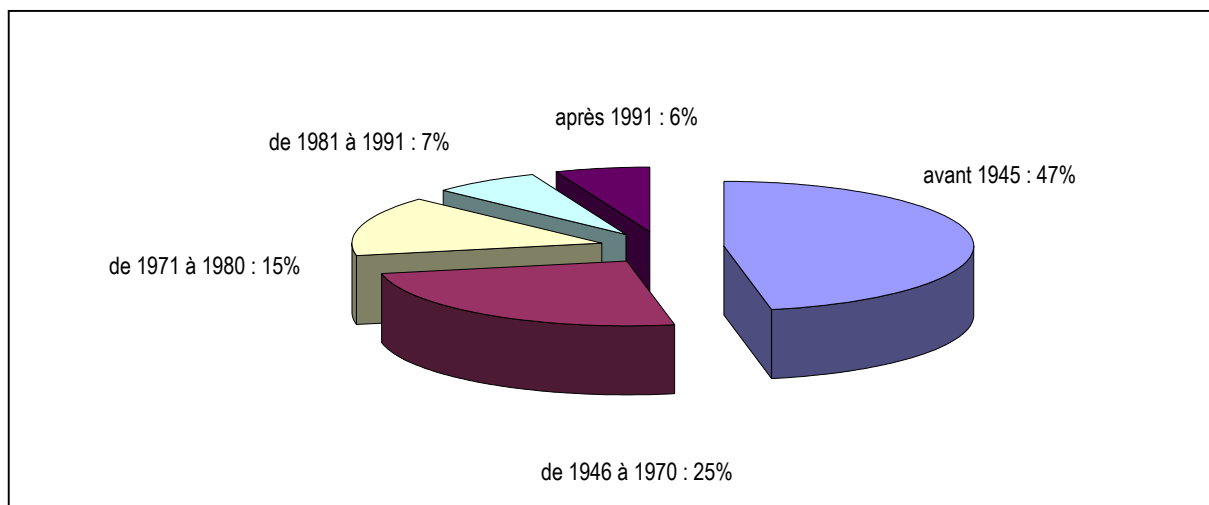
1.3.1 Part des consommations d'énergie et émissions de GES

Le secteur domestique (agriculture, logements et secteur tertiaire) représente 30,2% de la consommation énergétique finale wallonne en 2000. A lui seul, le secteur résidentiel consomme 22,1% de l'énergie utilisée. On mesure bien l'incidence de la politique urbanistique sur les besoins en énergie lorsque l'on considère l'âge du logement wallon, le type de logement ainsi que la structure de la consommation des ménages.

1.3.1.1 Le secteur du logement

Nombre et âge des logements

Au 01.10.2001, on dénombrait 1.383.761 logements en Région wallonne. Alors que la population s'accroissait de 5% entre 1970 et 2000, le nombre de logements augmentait de 23%.

Figure 1 : Age du logement en Wallonie (données 2000)

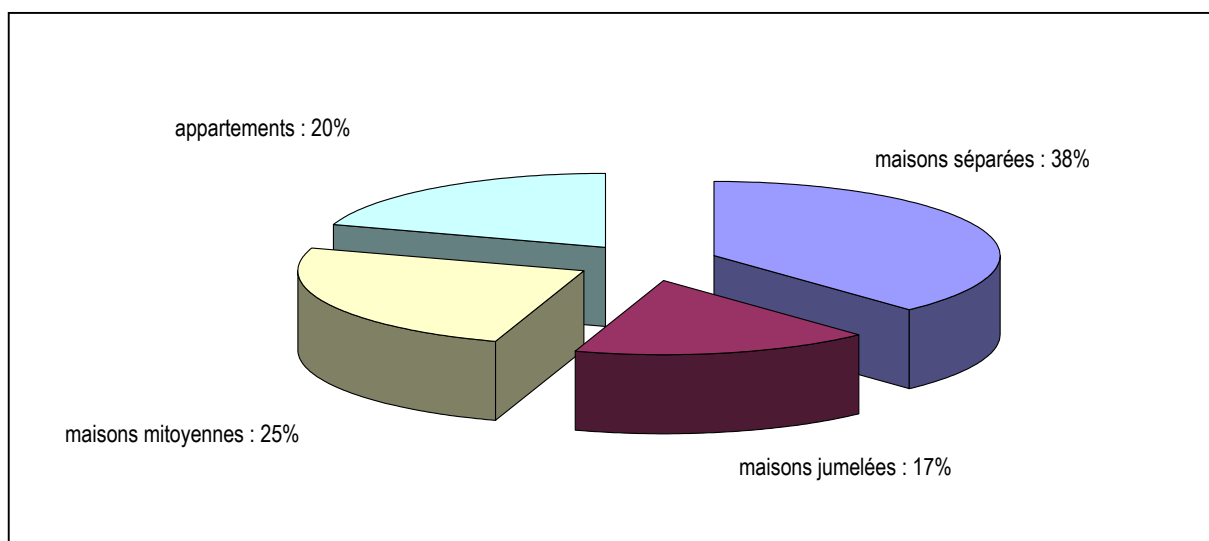
Sources : Institut wallon, Atlas de l'Énergie

L'âge du logement montre qu'environ un logement sur deux a plus de 50 ans (48%), alors qu'un logement sur huit (13%) a moins de 20 ans (7% datent de la période 1981-1991 et 6% d'après 1991). Depuis 1991, on construit de l'ordre de 10.000 nouveaux logements par an. La prédominance de logements anciens, datant d'époques où l'on se souciait peu d'efficacité énergétique⁴ combinée à une relativement faible occupation des logements laisse supposé une faible efficacité énergétique des bâtiments qui conduit à des consommations importantes. Se pose donc un problème de rénovation des logements anciens et leur adaptation aux standards d'équipement actuel, ainsi qu'une question de densité de l'occupation de l'habitat. On mesure aussi l'impact de mesures portant sur les performances énergétiques du bâti : introduit en 1984 dans la réglementation wallonne, le règlement relatif à l'isolation thermique des logements ne concerne après 20 ans quelques 11 à 12% du parc, à savoir les constructions neuves érigées dans la période 1985-2000. Ces valeurs pourraient être affinées pour tenir compte des travaux de rénovation qui font l'objet depuis 1996 de prescriptions touchant le niveau d'isolation.

Type de logement

Le type de logement éclaire également sur les consommations énergétiques du secteur résidentiel. En outre, les données disponibles pour 1991 font apparaître que l'on a 25% de maisons, mitoyennes, 17% de maisons jumelées et 38% de maisons séparées (4 façades). On compte 20% d'appartements. Ces proportions varient fortement selon le milieu bâti considéré : les villes présentent bien davantage d'immeubles à appartements ou de « maisons » divisées en logements multiples alors que les milieux périurbains et villageois comptent davantage de maisons isolées.

⁴ 72% des constructions sont antérieures à 1970, c'est-à-dire antérieures au premier choc pétrolier. (Atlas de l'énergie, Le secteur résidentiel)

Figure 2 : Type de logement en Wallonie (données 1991)

Sources : Institut wallon, Atlas de l'Energie

L'évolution du nombre des permis de bâtir et d'urbanisme révèle d'ailleurs que la demande en logement va vers un plus grand nombre de maisons mitoyennes durant la dernière décennie (de 20% en 1991, on est passé à 27% en 2001). Cela est de nature à influencer la consommation liée au chauffage puisqu'une maison isolée est davantage exposée au froid et au vent qu'une maison mitoyenne inscrite dans un ensemble bâti.

Tableau 1 : Logements privés occupés par type en Wallonie en 1991 et 2001 (en %)

Année	Total	Maisons unifamiliales				Appartements	Autres
		Séparées	Jumelées	Mitoyennes	Non spécifié		
1991	100	41	16	20	1	17	5
2001	100	32	17	27	1	16	8

Source : INS - Enquête 1/10/2001 – Tableau 00.40 A et INS – Recensement 1991

Une tendance constante en Belgique est une nette dominante de constructions neuves par rapport aux transformations « lourdes » soumises à permis. On constate aussi une tendance à réduire les superficies habitables moyennes dans les logements neufs.

Tableau 2 : Nombre de logements autorisés et superficie habitable moyenne par logement dans des nouveaux bâtiments en Belgique (en m²)

	1997	1998	1999	2000	2001
Nombre de logements dans des nouveaux bâtiments	50.190	37.876	45.719	42.586	41.314
Superficie habitable moyenne par nouveau logement (m ²)	129,0	133,2	123,1	119,5	118,1
Nombre de transformations de bâtiments résidentiels	21.625	23.458	25.926	25.653	24.549

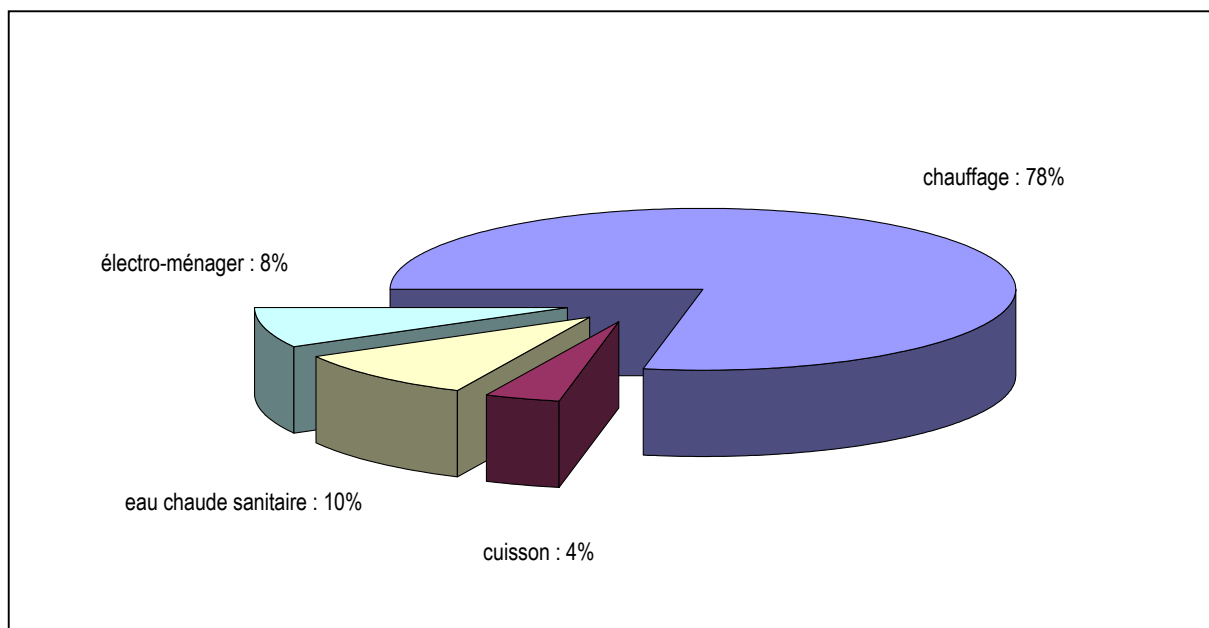
Source : INS – Chiffres-clés 2002 – Statistiques des permis de bâtir et des bâtiments commencés

Comme l'indique le tableau 2, la superficie habitable moyenne des nouveaux logements tend à se réduire (-11 m² en cinq ans, soit - 8,5%).

Structure de la consommation énergétique

La consommation énergétique moyenne des ménages fait apparaître l'importance de certains postes liés à l'environnement urbanistique.

Figure 3 : Consommation des logements par usage (données 2000)



Sources : Institut wallon, Atlas de l'Énergie

Le chauffage représente le poste le plus important avec 78% du total. L'eau chaude sanitaire représente 10% de la consommation et le solde (4% pour la cuisson et 8% pour l'électroménager) 12%. Le mode d'implantation du bâtiment permet d'agir sur l'orientation, l'exposition au soleil et les besoins en chauffage. Le choix de la source d'énergie utilisée sera dépendant de la disponibilité de celle-ci au sein du bâti. L'organisation de réseaux d'énergie et de chaleur ou encore la possibilité de chauffer de l'eau sanitaire par apports solaires relèvent également de la composition de l'environnement urbanistique du logement.

Les produits pétroliers, le gaz naturel et l'électricité sont les principaux vecteurs énergétiques de la consommation, les produits pétroliers représentant près de 50% de l'énergie consommée. La constitution de quartiers bâtis équipés en gaz naturel et en systèmes d'énergie renouvelable devrait permettre de réduire l'émission de CO₂.

Il est clair qu'une étude plus approfondie des performances énergétiques de certaines structures bâties permettra de mesurer l'impact de mesures urbanistiques sur la consommation des ménages et donc sur la réduction d'émissions de GES.

1.3.1.2 Le secteur tertiaire

L'atlas énergétique de la Wallonie distingue trois types de services⁵ : le secteur « commercial », le secteur « public » et le secteur « santé et culture ». En 2000, les commerces représentaient un quart (25%) de la consommation totale des activités tertiaires, l'enseignement environ un cinquième (19%), les administrations un dixième (11%) et les soins de santé 18%. La demande énergétique de l'ensemble du secteur n'a cessé de croître depuis 1980, augmentant de 117% durant la période 1980-2000. Cela s'explique notamment par la croissance structurelle du secteur mais aussi par certaines caractéristiques des bâtiments et de l'infrastructure nécessaire : nécessité de système d'éclairage artificiel et de conditionnement d'air permanent, développement de la bureautique et de la climatisation, apparition de technologies énergivores (chaîne du froid dans l'alimentaire, technologies spécifiques, consommation dues aux espaces de parking extérieurs éclairés...). La conception de l'enveloppe des bâtiments tertiaires, souvent isolés hors contexte bâti mitoyen, agit évidemment sur les déperditions de chaleur et les apports passifs d'énergie dans ce type de bâtiment.

L'énergie électrique, le gaz naturel et les combustibles (produits pétroliers, charbon, vapeur et autres) sont les principaux vecteurs énergétiques de la consommation, l'électricité représentant à elle seule 64% des dépenses énergétiques du secteur. On mesure l'intérêt d'une bonne desserte des équipements tertiaires par des réseaux d'énergie renouvelable.

Les dispositions urbanistiques régissant le parc tertiaire exercent une influence non négligeable sur les besoins de ce secteur. Dans une économie qui se tertiarise, le potentiel de réduction des consommations du secteur tertiaire constitue un enjeu important pour la réduction d'émissions de GES.

On n'a pas identifié à ce stade de l'étude une méthodologie qui déterminerait la part des différents facteurs qui contribuent à l'émission de GES. Parmi l'ensemble des facteurs, les aspects comportementaux liés à la consommation et les aspects technologiques relatifs aux installations sont certes importants. Mais il reste que les aspects liés à l'architecture des constructions, leur forme et leur inscription urbanistique, tout comme les dispositions régissant l'aménagement du territoire (les localisations d'activités) influencent sensiblement les émissions.

2. IDENTIFICATION DES MESURES PRISES EN MATIERE D'URBANISME

2.1 MESURES PRISES EN REGION WALLONNE

Les capacités d'action des pouvoirs publics en matière de promotion de la qualité de l'air sont nombreuses. Toutefois, les compétences en matière d'urbanisme et d'aménagement du territoire reposent essentiellement sur les autorités régionales et communales, en Belgique en tout cas.

On peut dès lors tenter d'identifier les mesures prises dans ces domaines et qui réduisent les émissions de gaz à effet de serres. Pour les mesures prises à l'étranger, on se référera par

⁵ Les données de l'Atlas concernent uniquement les activités tertiaires raccordées au réseau électrique haute tension. Elles n'incluent pas les consommations de commerces non raccordés à ce réseau ou les bureaux ne disposant pas de raccordement HT.

la suite à la littérature existante qui explicite à des degrés divers l'impact effectif des mesures prises.

Quatre types de mesures sont identifiés :

- des mesures relatives à la planification de l'usage du sol ; elles concernent les fonctions (mixité des programmes, densité, ...) et la forme urbaine (mode d'implantation, articulation volumétrique, ...) des bâtiments,
- des mesures réglant la composition urbaine (forme de l'enveloppe des bâtiments et articulation de ceux-ci),
- des mesures fixant les caractéristiques physiques des bâtiments (matériaux, degré d'isolation, vitrages, ...),
- des mesures tendant à optimiser les systèmes de chauffage, de climatisation ou d'éclairage et les stratégies de régulation.

Ces mesures peuvent impliquer différents degrés d'intervention de la part de l'autorité, tel que l'information, la sensibilisation, l'incitation, la réglementation, l'évaluation.

2.1.1 Le mode d'implantation du bâti

Divers documents d'urbanisme et d'aménagement du territoire déterminent l'affectation du sol (localisation des activités) ainsi que les modes d'implantation du bâti (densité). Cependant, peut exprimer une préoccupation au sujet des besoins énergétiques induits et des performances du bâti à construire ou à réaménager.

Planification au niveau régional

2.1.1.1 Schéma de développement de l'espace régional

Le Schéma de développement de l'espace régional (SDER) est un document d'orientation, non contraignant pour les particuliers. Il propose un projet de structure spatiale qui vise à une reconcentration de l'habitat sur des centres et des axes de développement afin d'enrayer un phénomène de dispersion croissant et peu rationnel des activités sur le territoire.

De nombreuses mesures de mise en œuvre concourent à la réalisation du projet de développement spatial :

- structurer l'espace wallon, pour (re)structurer les villes et les villages, freiner la délocalisation des activités vers les périphéries, densifier les centres, encourager la mixité raisonnée des activités ;
- répondre aux besoins primordiaux : logement, commerces, équipements et services mais avec une préoccupation de parcimonie de l'usage du sol ;
- améliorer le parc de logements dont près d'un tiers nécessite un assainissement moyen ou lourd ;
- intégrer les commerces et centres commerciaux dans le tissu d'habitat ; promouvoir des équipements récréatifs et sportifs dans les centres urbains et les quartiers ;
- valoriser le patrimoine et protéger les ressources : favoriser l'utilisation rationnelle de l'énergie et le recours aux énergies renouvelables ;
- sensibiliser et responsabiliser les acteurs sur ces enjeux.

Il y a lieu d'évaluer les outils d'aménagement (notamment les plans d'aménagement) et les modifier si nécessaire.

Le SDER ne fixe pas d'objectif quantitatif à atteindre en termes de densité, mixité ou utilisation rationnelle de l'énergie.

2.1.1.2 Les plans de secteurs

Depuis 1989, l'ensemble du territoire wallon est couvert par des plans d'affectation des sols : les plans de secteur. Le SDER a fixé les grandes orientations pour les révisions partielles de ces plans. Ils pourraient notamment comporter des indications de densité, porter des prescriptions en matière de mixité des activités, prévoir des périmètres d'urbanisation prioritaires. Ces mesures pourraient concourir à une utilisation plus rationnelle de l'énergie, mais cet objectif est souvent absent des préoccupations d'aménagement.

Les récentes modifications du code wallon de l'urbanisme ont mis un frein à la mise en œuvre des zones appelées anciennement d'extension d'habitat, devenues en 1997 zones d'aménagement différé. On a récemment introduit l'idée que les nouvelles zones destinées à l'urbanisation ne peuvent pas prendre la forme d'un développement linéaire le long de la voirie, ce qui pousse à une plus forte densité des espaces bâtis. Des procédures de dérogation via un plan communal d'aménagement ou des permis individuels permettent d'adapter au cas par cas la planification aux besoins actuels.

Le plan de secteur est réglementaire et s'applique strictement lors de la délivrance de permis, sauf dérogation en bonne et due forme.

Le recours à l'évaluation environnementale des projets de révision partielle des plans de secteur devrait éclairer sur les incidences énergétiques des nouvelles affectations du sol prévues.

Planification au niveau local

2.1.1.3 Le schéma de structure

Les communes peuvent élaborer un schéma de structure communal, document d'orientation qui comprend entre autres un plan d'affectation plus détaillé que le plan de secteur ainsi que des mesures d'aménagement. Il s'agit là aussi d'un document permettant une meilleure maîtrise de la localisation et de la densité des activités. Mais cette préoccupation est rare dans les documents. En outre, le schéma de structure n'est qu'indicatif pour les particuliers.

2.1.1.4 Le plan communal d'aménagement

Précisant l'affectation du sol sur un périmètre restreint du territoire, le plan communal d'aménagement fixe les affectations autorisées, les zones d'implantation des constructions, les dégagements et espaces publics, les prescriptions relatives aux bâtiments. Il constitue l'instrument le plus adéquat pour une maîtrise des aspects énergétiques en aménagement du territoire. Ce plan est réglementaire et s'applique strictement lors de la délivrance de permis, sauf dérogation en bonne et due forme.

Une des limites de ce document réside dans le fait qu'il devient souvent obsolète après quelques années et que les communes hésitent à entreprendre sa révision.

Les règlements d'urbanisme

2.1.1.5 Les règlements régionaux d'urbanisme

La Région élabore des règlements régionaux d'urbanisme qui peuvent porter sur les modes d'implantation du bâti. C'est le cas en particulier pour deux règlements de nature esthétique : le règlement des centres anciens protégés (milieu urbain) et le règlement sur la bâtisse en site rural (milieu villageois). A noter que le Gouvernement désigne explicitement les périmètres dans lesquels s'appliquent les règles de protection de la typologie du bâti traditionnel.

Ces deux règlements datant de 1976 et 1985, un réexamen approfondi sur le plan de leur pertinence énergétique devrait être fait afin de favoriser des modes d'implantation plus efficaces sur le plan énergétique.

Le tableau 3 synthétise les différents paramètres inclus dans ces règlements qui déterminent le mode d'implantation ainsi que certains critères de forme auxquels doivent répondre les bâtiments.

Tableau 3 : Principaux paramètres réglementaires du règlement régional d'urbanisme des centres anciens protégés et du règlement régional sur la bâtisse en site rural

Paramètre	Règlement des centres anciens protégés	Règlement sur la bâtisse en site rural
Implantation	Maintien des alignements existants Zone de bâtisse de 15m. de largeur max.	Respect de la trame parcellaire Prolongement des fronts de bâtisse Soit à l'alignement, soit en mitoyen
Hauteur	Principe d'équilibre	Hauteur entre 1,5 et 3 niveaux (selon la région agro-géographique)
Largeur	Principe de continuité	Rapport façade-pignon (1 à 2,5 selon la région agro-géographique)
Volume	Faïte symétrique si habitat en ordre fermé	Faîtage symétrique Principe d'harmonie avec volumes voisins ou anciens
Matériaux d'élévation	Tonalité des matériaux traditionnels	Matériaux traditionnels exclusivement
Pignons/façades latérales ou arrière	Principe d'harmonie	Volumes secondaires év. Accolés
Toitures	Principe d'harmonie Pentes continues parallèle aux constructions voisines	Pentes continues et symétriques (entre 25° et 50° selon la région agro-géographique)
Matériaux de couverture	Proche de l'aspect et tonalité des immeubles anciens	Matériaux traditionnels exclusivement (tuile ou ardoise)
Baies et ouvertures	Maintien des trumeaux	Max. 50% des élévations et toitures Verticalité dominante

Sources : d'après le Code wallon, art. 393 et suivants ainsi que 417 et suivants.

Ces dispositions appellent quelques commentaires.

Les règles d'implantation déterminent grandement le type de bâtiment à ériger en s'inspirant en cela de l'architecture traditionnelle des villes ou des villages. On constate qu'aucun des deux règlements n'impose la mitoyenneté des nouvelles constructions : tout au plus est-elle recommandée par référence à l'architecture traditionnelle.

La profondeur de bâtiment limitée à 15 mètres ou contrainte par un rapport façade-pignon ne permet pas de développer dans les territoires concernés des immeubles à appartements dont la largeur dépasse couramment des profondeurs de 16 à 18 mètres. Les règles relatives au recul éventuel du bâtiment par rapport à l'alignement de voirie pourraient avoir pour effet de multiplier les pignons visibles qui impliquent des déperditions plus importantes que celle estimée dans l'habitat mitoyen continu.

Les deux règlements témoignent du peu d'ouverture qui est laissée pour des matériaux alternatifs (bois, panneaux, vitrages, capteurs solaires), non traditionnels, qui permettraient pourtant de générer des économies d'énergie.

Les règles relatives aux baies et ouvertures fixent des proportions (50% de vide maximum en zone rurale, maintien des trumeaux en zone urbaine) qui handicapent des projets recourant aux apports solaires.

Globalement, le manque de précision quant aux objectifs énergétiques de ces règlements est patent et une réécriture permettrait sans doute d'y intégrer la problématique de l'efficacité énergétique.

2.1.1.6 Les règlements communaux d'urbanisme

Depuis 1989, les communes élaborent des règlements d'urbanisme. Même si ces documents sont davantage conformes aux besoins actuels que les anciens règlements de bâtisse (dont beaucoup restent encore en vigueur actuellement), il est rare d'y trouver des indications tendant à promouvoir des modes d'implantation plus performants. Par exemple, on n'y trouve généralement pas de référence à l'orientation ou à l'ensoleillement.

Ces règlements gagneraient à être évalués sur le plan énergétique en vue d'éventuelles adaptations ou dérogations. D'autant qu'ils constituent la référence des autorités en matière de prescriptions des permis de lotir et d'urbanisme individuels.

2.1.1.7 Les permis

Les permis de lotir et d'urbanisme constituent in fine la décision ponctuelle quant à l'implantation du bâti. Il s'agit donc du contrôle le plus précis du mode d'implantation du bâti et donc des incidences énergétiques de la construction ou du lotissement.

2.1.2 Les mesures relatives à l'enveloppe

Les règlements d'urbanisme

Les règlements constituent la principale mesure qui affecte l'enveloppe extérieure du bâti.

2.1.2.1 Règlements régionaux d'urbanisme

Outre les deux règlements régionaux déjà mentionnés, un règlement général de 1984 relatif à l'isolation thermique et à la ventilation des bâtiments d'habitation, de bureaux et des édifices publics fixe un niveau d'isolation minimal (K55 pour l'habitation, K65 pour les immeubles collectifs, K70 pour les travaux de rénovation) et détermine, depuis 1996, un niveau de ventilation minimal.⁶

Les règlements esthétiques fixes des prescriptions concernant les gabarits, proportions, baies et ouvertures des volumes, ce qui peut constituer un frein à une bonne adéquation de l'enveloppe au contexte climatique. Quant à la norme technique d'isolation et de ventilation,

⁶ Une directive européenne sur la performance énergétique des bâtiments du 13.12.2002 développe un nouveau cadre pour l'application d'une méthode unifiée pour le calcul de la performance énergétique intégrée des bâtiments. Elle doit être transposée en droit interne dans les 3 ans de son adoption.

on n'a pas prévu une évaluation systématique des effets sur la forme de l'enveloppe (opacité, ouverture) ni sur sa mise en œuvre effective. On constate un manque de moyens humains et techniques pour contrôler les formulaires de calculs établis par les auteurs de projet ainsi que pour la mise en œuvre effective des dispositifs sur chantier.

2.1.2.2 Règlement communal d'urbanisme

Comme il a été dit, les communes peuvent élaborer des règles relatives à l'implantation (densité, mitoyenneté, compacité...), mais aussi à la hauteur des bâtiments, à leur pente de toiture, aux matériaux, baies et ouvertures. Les aspects énergétiques sont peu explicités dans les documents en vigueur.

2.1.2.3 Les permis

Comme il a été dit précédemment, les permis constituent la décision ponctuelle qui fixe les caractéristiques de l'enveloppe. On note que les annexes au permis ne sont guères utilisés actuellement par les administrations publiques pour évaluer les performances énergétiques des projets (note de calcul K55, notice d'évaluation préalable des incidences sur l'environnement, études d'incidences).

2.1.3 Mesures relatives aux caractéristiques des bâtiments en fonction de facteurs climatiques

2.1.3.1 Les règlements régionaux d'urbanisme

Le règlement régional de relatif à l'isolation thermique et à la ventilation des bâtiments prévoit un mode de calcul du niveau d'isolation qui tient compte de facteurs climatiques tels que les gains de chaleur par les fenêtres, les facteurs d'ombrage ou encore les rendements de récupération d'énergie. On tient compte notamment d'un facteur d'inertie thermique du bâtiment. Le recours à cette méthode est facultatif et, comme il a été dit, peu de moyens existent pour en évaluer l'utilité.

2.1.3.2 Les mesures relatives aux autres facteurs climatiques

Les autres facteurs climatiques tels que l'exposition au vent ou les micro-climats créés par l'habitat ne sont généralement pris en compte que dans les évaluations environnementales de plans (nouvelle disposition entrée en vigueur en 2002) ou dans les études d'incidences relatives à certains projets. Les notices d'évaluation préalable sont le plus souvent lacunaire sur ce plan.

On note que les outils opérationnels spécifiques à l'urbanisme et à l'aménagement du territoire⁷ ne font pas référence, pour l'attribution de subsides et d'aides remboursables, à des considérations climatiques ou à une stratégie de reconcentration de l'habitat. De même, les dispositions relatives à la protection, à la prévention et à la restauration du patrimoine ne se préoccupent guère d'enjeux énergétiques. Néanmoins, les pratiques des agents de l'administration amène parfois à prendre en compte ces aspects lors de l'élaboration de projets.

⁷ Il s'agit de l'assainissement et de la rénovation des sites d'activité économiques désaffectés, de la réhabilitation urbaine, de la rénovation urbaine, des sites d'intérêt régional, des zones d'initiative privilégiée et du droit de préemption.

2.1.4 Mesures en matière d'utilisation rationnelle de l'énergie ayant un impact en matière d'urbanisme

Dans le cadre de la politique énergétique wallonne, des mesures sont prises qui peuvent exercer un impact non négligeable dans le domaine de l'urbanisme. On peut citer entre autres :

- la promotion d'une architecture bio-climatique soulève des questions relatives à son inscription par rapport au voisinage bâti ;
- le développement de réseaux de chaleur bois-énergie amène à une autre conception des implantations et de l'équipement des bâtiments desservis ;
- la subsidiation des chauffe-eaux solaires (programme SOLTHERM) a une incidence sur l'intégration dans le bâti ou à proximité des capteurs⁸ ;
- les audits énergétiques (programme AMURE) conduisent parfois à reconditionner l'enveloppe extérieure des bâtiments.

2.2 MESURES PRISES EN REGION DE BRUXELLES-CAPITALE, EN FLANDRES ET A L'ETRANGER

Dans les régions voisines de la Wallonie, les pouvoirs publics ont également mis en œuvre des mesures afin d'accroître l'efficacité énergétique en matière d'urbanisme. La Région flamande et la Région de Bruxelles-Capitale disposent d'un ensemble de règles et outils poursuivant des objectifs d'économie d'énergie dans le logement et le tertiaire.

2.2.1 Mode d'implantation du bâti

Bruxelles-Capitale	Règlement régional et communal d'urbanisme	Nombreuses prescriptions en matière d'implantation, de hauteur, de volumétrie, de matériaux... sans référence explicite à des préoccupations d'économie d'énergie
Région flamande	Règlement régional et communal d'urbanisme	Nombreuses prescriptions en matière d'implantation, de hauteur, de volumétrie, de matériaux... sans référence explicite à des préoccupations d'économie d'énergie

2.2.2 Mesures relatives à l'enveloppe

Bruxelles-Capitale	Prime à la rénovation (taux variable de 70 à 25% par zone)	Travaux prioritaires : isolation thermique... Travaux non prioritaires : remplacement de châssis, portes
	Prime à l'embellissement des façades (taux variable de 85 à 30% par zone)	Notamment travaux modifiant l'aspect de la façade

⁸ Le placement de panneaux solaires thermiques est dispensé du permis d'urbanisme pour autant que leur surface ne dépasse pas 10 m² et moyennant quelques conditions de forme (aspect rectangulaire, intégré à la toiture, parallélisme des plans et des lignes du bâtiment).

2.2.3 Mesures relatives aux caractéristiques des bâtiments en fonction de facteurs climatiques

Bruxelles-Capitale	Norme d'isolation thermique K55	Construction neuve et rénovation nécessitant un permis
Région flamande	Norme d'isolation thermique K55 et de ventilation	Construction neuve et rénovation de logements, bureaux, édifices publics nécessitant un permis

2.2.4 Mesures en matière d'utilisation rationnelle de l'énergie

Bruxelles-Capitale	Aides financières en matière d'économie d'énergie	Notamment prime à la rénovation de l'habitat (isolation, bardage sur une façade extérieure, double vitrage, chauffe-eau solaire...)
Région flamande	Aides financières aux particuliers pour le placement de panneau solaires photovoltaïques (50%)	+25% d'aides des distributeurs d'électricité + aide des communes pour placement de panneaux et de chauffe-eau solaires
	Aides financières des intercommunales aux particuliers	Isolation, double vitrage, chauffe-eau solaire...
	Aides financières aux entreprises, associations, communes, écoles	Projets démonstratifs, investissements en économie d'énergie, audit énergétique, placement de panneaux solaires

Sur le plan international, de nombreuses mesures d'économie d'énergie existent dans les pays développés de l'OCDE⁹. Peu nombreuses sont celles qui concernent les politiques d'urbanisme et d'aménagement du territoire. On peut néanmoins mentionner les mesures suivantes :

2.2.5 Instruments réglementaires des pays de l'OCDE

Normes obligatoires pour la conception des bâtiments

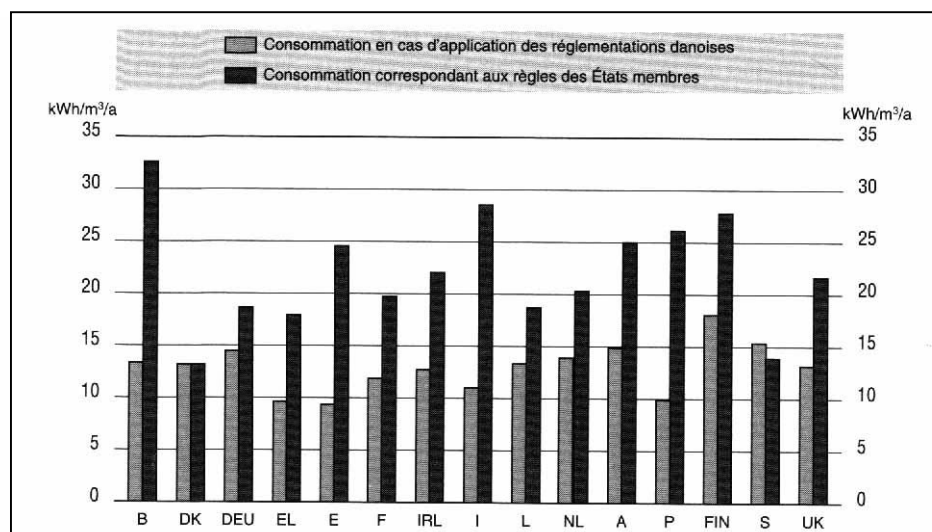
Au lendemain des chocs pétroliers des années 70, la plupart des pays de l'OCDE ont étendu le champ d'application en matière de construction à l'efficacité énergétique. A l'exception du Japon, tous les pays disposent de normes plus ou moins précises en terme d'implantation, de caractéristique de forme, d'isolation, d'éclairage, de ventilation, ...

Généralement ces règles se limitent aux bâtiments neufs. Aux Etats-Unis, des ordonnances sur la conservation de l'énergie imposent aux propriétaires de bâtiments de mettre en œuvre des mesures spécifiques peu coûteuses de conservation de l'énergie au moment de la vente ou de la rénovation de leur bâtiment. Une autre approche consiste à obliger les services publics de distribution à contribuer à l'amélioration de l'efficacité des installations de leurs clients (Royaume-Uni).

⁹ OCDE (2002), Pour des bâtiments écologiquement viables. Enjeux et politiques, Organisation de coopération et de développement économiques, Paris, pp. 33-47.

L'analyse des normes thermiques réglementaires dans les pays de l'Union européenne montre qu'il existe des différences importantes entre pays, même si l'on tient compte des écarts climatiques. La figure 5 indique qu'il serait possible de diminuer fortement la consommation d'énergie dans la plupart des pays de l'Union en adoptant les normes danoises d'efficacité énergétique particulièrement strictes¹⁰.

Figure 5 : Comparaison de la consommation d'énergie en appliquant le modèle des règles de construction danoises à chaque pays de l'Union européenne (corrigée des variations climatiques)



Sources : Commission européenne, 2001.

En règle générale, les règles de construction se sont longtemps fondées sur des normes uniformes dérivant des techniques utilisées. On tend à préférer actuellement une approche performancielle, offrant des méthodes plus souples pour apporter la preuve de conformité à la norme. Cette approche peut réduire dans une certaine mesure le coût global du respect des normes en permettant d'utiliser une conception et des techniques plus économiques, ce qui renforce considérablement l'incitation à l'innovation.

2.2.6 Instruments économiques des pays de l'OCDE

Comme le suggère le rapport de l'OCDE (2002), les instruments économiques n'ont pas été explorés entièrement dans la problématique de l'utilisation rationnelle de l'énergie, les Etats préférant généralement se fier aux instruments réglementaires. On peut mentionner les instruments suivants :

- des programmes de subvention et mécanismes d'exonération d'impôt,
- des systèmes de prêts à des conditions de faveur
- des systèmes de taxes sur l'énergie (écotaxes visant des objectifs environnementaux).

Outils d'information

Les responsables de politiques énergétiques s'intéressent de plus en plus aux outils d'information promouvant une utilisation plus rationnelle de l'énergie dans les domaines de la construction et de l'urbanisme. On peut citer entre autres :

¹⁰ Commission européenne (2001), Proposition de directive du Parlement européen et du Conseil sur la performance énergétique des bâtiments, COM(2001)226 final, Commission européenne, Bruxelles.

- l'étiquetage énergétique obligatoire des bâtiments qui renseigne l'acheteur potentiel sur les performances énergétiques du bâtiment,
- l'éco-étiquetage facultatif qui ne se limite pas à l'efficacité énergétique mais inclut des critères tels que la qualité de l'air ou l'utilisation de matériaux recyclables¹¹,
- les programmes d'audits énergétiques qui fournissent aux propriétaires une aide technique pour la mise à niveau de l'efficacité énergétique de leur bâtiment,
- les autres outils d'information : agences d'aide à la conception, normes recommandées¹², lignes directrices pour la conception, mise au point de logiciels estimant le cycle de vie de l'incidence environnementale...

2.2.7 Diminution de l'énergie incorporée

Certaines politiques ont aussi pour but de réduire la quantité d'énergie utilisée dans les processus de construction. Elles ne concernent pas directement les aspects urbanistiques des politiques énergétiques.

3. ETUDE DES MESURES RELATIVES A L'ENVELOPPE DES BATIMENTS

Trois aspects étroitement liés forment le champ des mesures principales à prendre dans le cadre d'une utilisation rationnelle de l'énergie :

- les occupants,
- le bâtiment proprement dit,
- les systèmes de chauffe ou de climatisation, d'éclairage.

Dans cette section, on s'attachera à l'enveloppe extérieure du bâtiment, considérée dans ses relations avec le bâti voisin et l'environnement, en supposant les autres aspects comme invariables : matériaux, type d'occupation, système énergétique. Il s'agit ainsi de montrer l'impact de la forme urbanistique du bâti sur les consommations d'énergie. La forme d'un bâtiment, ou d'un ensemble de bâtiments, peut tout à la fois être la base d'une plus ou moins grande perte d'énergie et d'un plus ou moins grand gain solaire selon son le contexte plus ou moins dense, l'environnement plus ou moins ouvert. Elle constitue donc un élément important dans le bilan énergétique du bâtiment. L'objectif de minimisation des pertes énergétiques et de maximisation des apports conduit donc à considérer le facteur de forme.

3.1 ÉTUDE DES MESURES RELATIVES A L'ENVELOPPE DES BATIMENTS

Dans un premier temps, l'efficacité énergétique des bâtiments est définie par un facteur de forme.

Les déperditions thermiques par conduction et rayonnement s'effectuant au niveau des parois en contact avec le milieu extérieur, il faudrait tendre vers des constructions aussi compactes que possible. Cette compacité peut être caractérisée par le facteur de forme :

¹¹ Un des exemples les plus connus est celui du Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM) au Royaume-Uni qui évalue divers aspects environnementaux des bâtiments, notamment l'efficacité énergétique.

¹² L'office fédéral suisse de l'Energie, par exemple, a instauré les normes de « bâtiment écologique E2000 » dans le but d'encourager la conception de bâtiments et d'ensembles économes en énergie.

$$Ff = \frac{\text{aire totale des surfaces extérieures}}{\text{aire des surfaces habitables}}$$

Pour réduire Ff , on devrait en principe tendre vers une forme pratiquement cubique, pour autant que les contraintes architecturales internes le permettent. A composition de paroi et isolation égale, la consommation d'énergie est évidemment proportionnelle à Ff .

En tenant compte d'un facteur de réduction de 2/3 pour les parois communiquant avec les locaux non chauffés, le facteur de forme Ff pour une maison de 100 m² habitable et de section carrée, avec un toit plat et une hauteur sous plafond de 2,50 mètres vaut :

- sur deux niveaux : $Ff = 2,2$
- sur un niveau : $Ff = 2,7$
- sur deux niveaux et entre mitoyens : $Ff = 1,5$

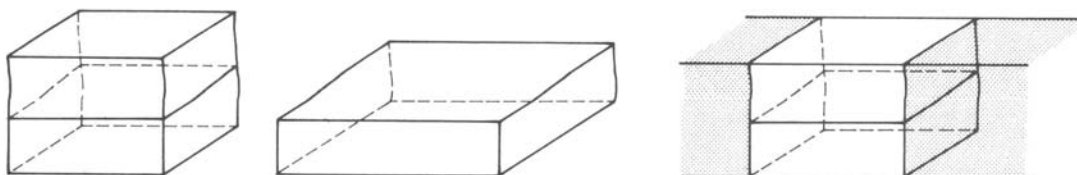


Figure 6 - Comparaison des facteurs de forme pour 3 maisons présentant une surface de plancher égale

La mitoyenneté contribue donc à une réduction sensible des besoins énergétiques.

Dans les mêmes conditions, l'assemblage de huit cellules de base de section carrée, de hauteur sous plafond de 2,50 mètres et d'une surface de 50 m² chacune donne les facteurs de forme suivants.

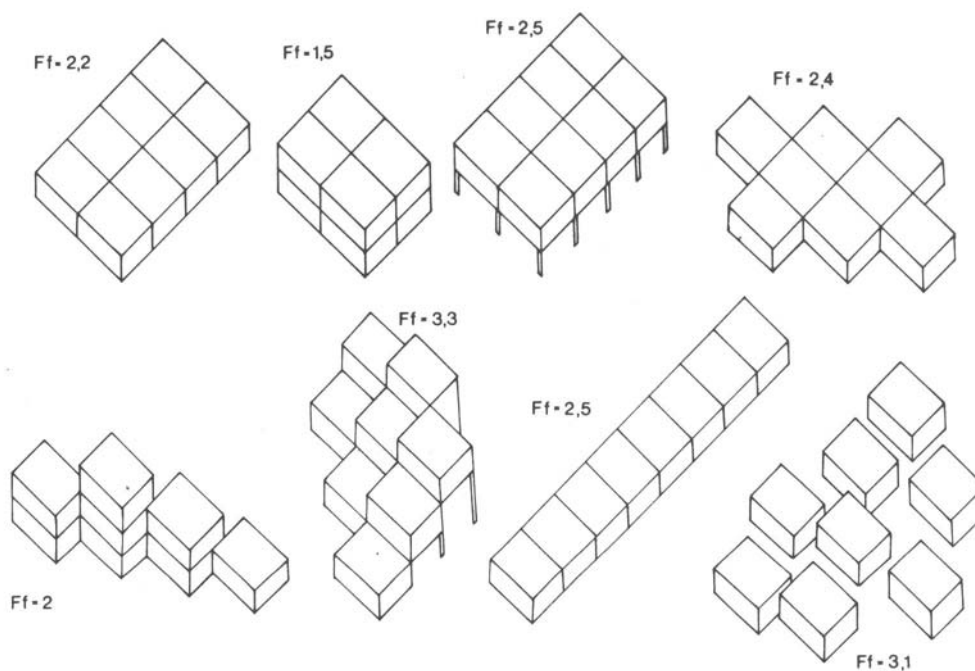


Figure 7 - Comparaison des facteurs de forme pour différents assemblages de cellules identiques (50 m²)

A titre d'exemple pour un bâtiment résidentiel, le facteur de forme Ff prend les valeurs suivantes :

- une maison indépendante : $Ff = 2,7$
- une maison jumelée ou d'about : $Ff = 2,4$
- une maison mitoyenne : $Ff = 2,2$
- un appartement de coin supérieur : $Ff = 1,5$
- un appartement de coin milieu : $Ff = 0,5$
- un appartement entouré : $Ff = 0,25$.

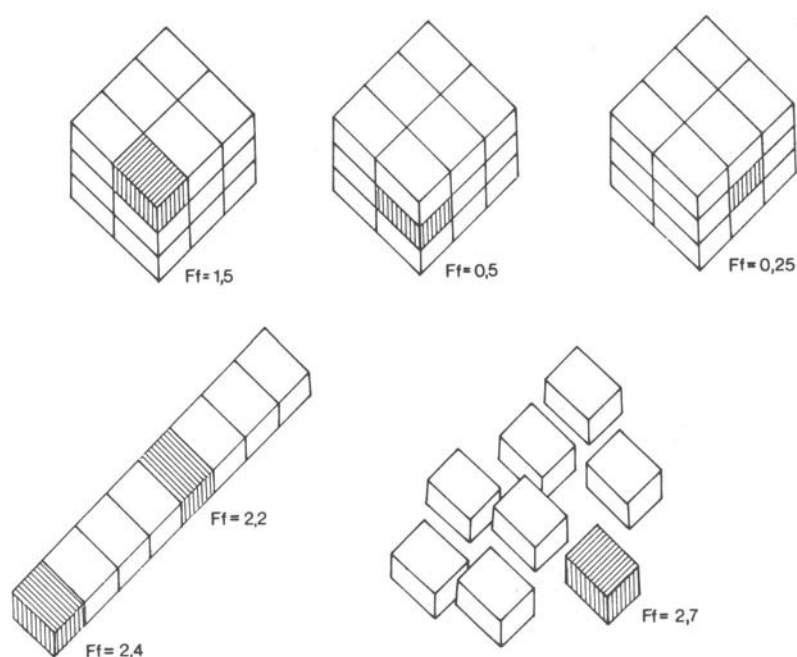


Figure 8 - Comparaison des facteurs de forme pour différents types de logements présentant une surface de plancher égale

Ceci montre donc l'intérêt, indépendamment des améliorations que l'on peut apporter aux systèmes de production de chaleur ou de froid, de promouvoir certaines formes de bâtiments plus compacts. Remarquons cependant que des bâtiments élevés peuvent présenter des facteurs de forme faibles mais engendrent une augmentation des déperditions dues d'une part à un effet de cheminée possible par les cages d'escalier et d'autre part à l'accroissement de la vitesse du vent avec la hauteur.

On peut encore affiner l'analyse en tenant compte de différents types de volumes (notamment de toitures) respectant les typologies existantes¹³, Pour un bâtiment résidentiel présentant 4 façades, la compacité varie de 3,2 à 4,4 selon que la pente de toiture est de 0° ou de 50°. Elle devient respectivement 2,4 à 3,6 pour le même bâtiment accolé à un mitoyen et 1,9 à 2,7 pour un bâtiment implanté entre deux mitoyens. La typologie de la toiture aura donc également un effet, quoique limité, sur les consommations énergétiques.

On peut aussi montrer dans quelles mesures des apports solaires passifs permettent de réduire la consommation énergétique du bâtiment. Mais ici, une densification du bâti peut entraîner des carences en matières d'ensoleillement ce qui amène à une augmentation des consommations énergétiques de l'ensemble. L'évaluation des consommations énergétiques en tenant compte des ombres portées a été réalisée à l'aide du logiciel OPTI. En comparant un îlot urbain carré fermé sur ses quatre faces et un lotissement de maisons 4 façades, on arrive à une variation des apports passifs de 20 à 27% en faveur du lotissement (selon l'orientation). Toutefois, ces gains relatifs doivent être mis en relation avec la compacité de l'îlot dense. Les évaluations montrent que l'îlot dense permet in fine une réduction de la consommation d'énergie de l'ordre de 15 à 20% par rapport au lotissement, même en tenant compte d'apports solaires plus limités.

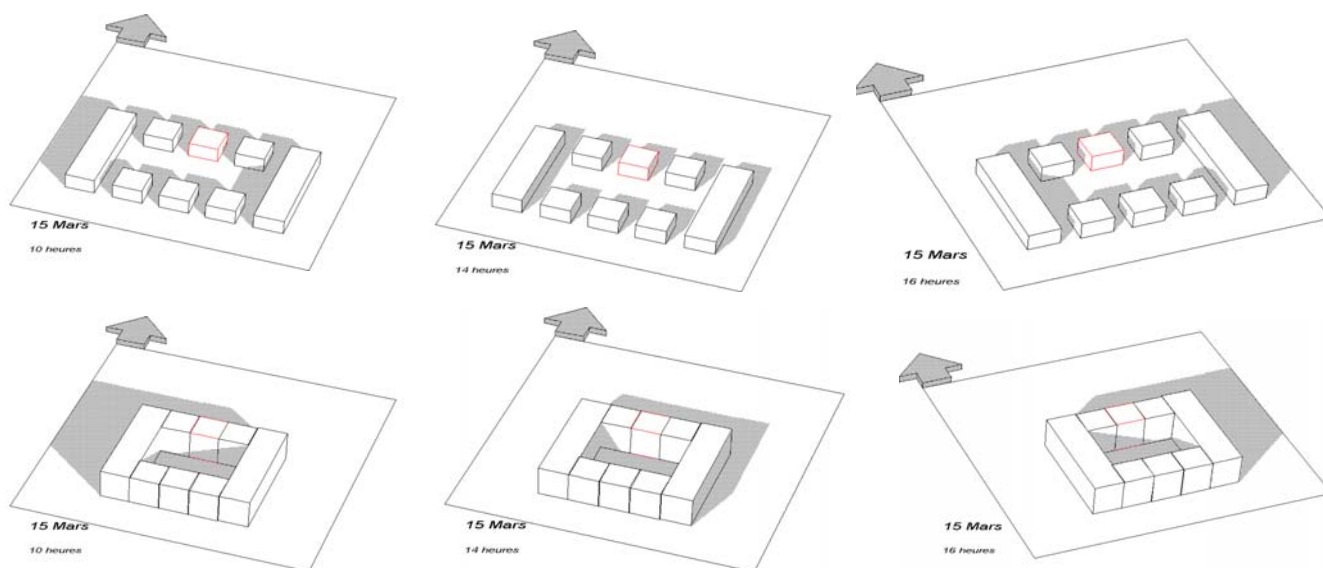
¹³ On prendra pour exemple les typologies architecturales traditionnelles induites par le règlement général sur les bâtisses des centres anciens ainsi que le règlement général sur la bâtisse en site rural.

Une simulation a été réalisée pour un lotissement de maisons pavillonnaires (1). Un second exercice a été fait sur un îlot de maisons continues (2). Deux autres exercices ont été réalisés sur des ensembles mitoyens denses présentant des bâtiments de hauteur variable (3) et sur des ensembles mitoyens et jumelés (4).

Le paramètre **Cd** exprime la consommation déperditve d'un bâtiment, ce qui permet d'estimer le besoin énergétique annuel et la puissance déperditve à installer. De là, on peut déduire une production de CO₂ annuelle probable pour cette installation.

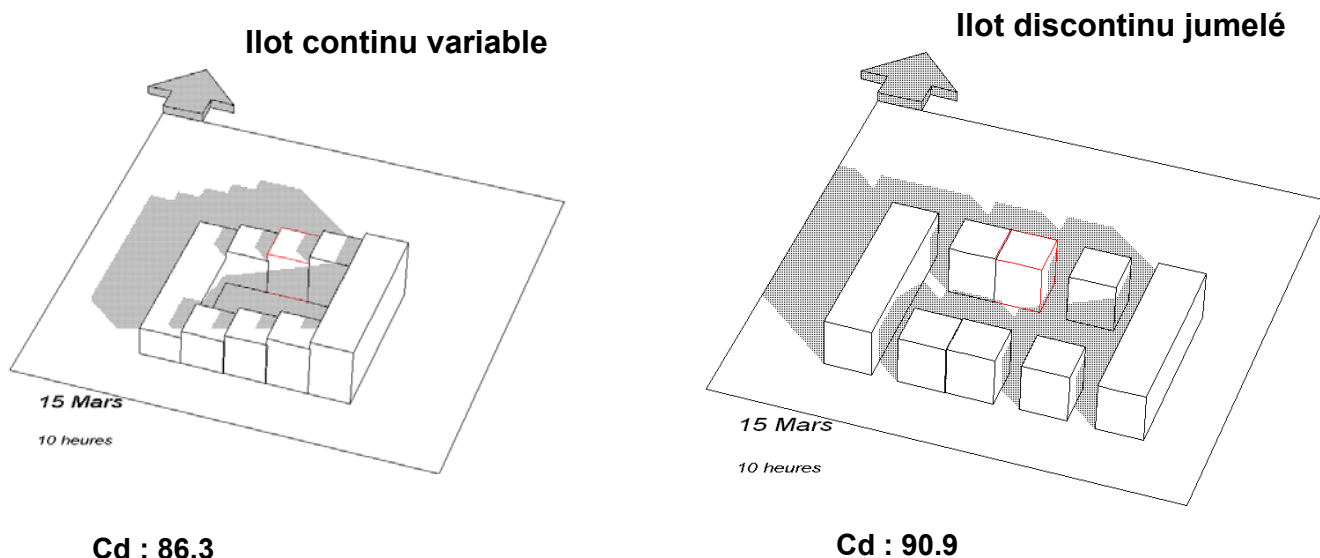
Ilot discontinu pavillonnaire

Cd : 100



Ilot continu dense

Cd : 83.8



Sur cette base, on peut proposer une démarche méthodologique pour estimer des émissions de CO₂ suivant différents scénarios d'aménagement. Ces scénarios correspondent à des hypothèses de densité d'occupation du sol, de caractéristiques de forme (compacité) différentes. L'estimation de l'émission est calculée pour un bâtiment-type de 300 m² de surface utile et de 100 m² au sol. Selon la localisation de ce bâtiment dans un îlot, tenant compte des apports thermiques solaires, on peut calculer la consommation déperditve du logement et la consommation d'énergie primaire nécessaire (ici le gaz naturel).

Une fois les scénarios validés, on peut y greffer des calculs d'émissions de CO₂, pour disposer d'un outil d'aide à la décision en matière d'efficacité énergétique en urbanisme.

Tableau 4 : Comparaison des 4 cas étudiés

	Ilot discontinu bâti pavillonnaire	Ilot continu bâti dense	Ilot discontinu bâti jumelé	Ilot continu bâti variable
Besoins énergétiques (gaz naturel)	56564 MJ	52858 MJ	55720 MJ	52950 MJ
Consommation annuelle / m ²	235.6 MJ	220.2 MJ	232.1 MJ	220.6 MJ
Consommation déperditve	15712 kWh	14683 kWh	15476 kWh	14708 kWh
Puissance déperditve	11836 W	9175 W	9045 W	9175 W
Estimation des émissions de CO ₂	3111 Kg	2907 Kg	3065 Kg	2912 Kg
Ratio des émissions de CO ₂	1	0.93	0.99	0.94

L'émission de CO₂ est estimée pour un logement de 100 m² au sol sur trois étages (soit 300 m² au total) et 2,50 m de hauteur sous plafond. L'émission est proportionnelle à la consommation d'énergie primaire et dépend du type de combustible :

- pour le gaz naturel : 0,198 kg de CO₂/kWh
- pour le mazout : 0,264 kg CO₂/kWh
- pour l'électricité : variable ; pour 1998, été, heure normale 0,328 kg CO₂/kWh ; hivers heure normale 0,335 kg CO₂/kWh

La simulation indique une réduction de 7% d'émission annuelle (soit 204 kg) dans l'hypothèse d'un îlot urbain dense et mitoyen par rapport à un habitat pavillonnaire.

Dans l'hypothèse d'une villa à un seul niveau équivalente (soit 300 m² au sol sans étage), la puissance déperditive serait de 20439 kWh ou 4047 kg de CO₂ rejeté dans l'atmosphère annuellement, ou encore un ration de 1.30 par rapport à la même villa à trois niveaux.

Les premières réflexions relatives à l'ensoleillement (notamment la problématique des ombres portées par les bâtiments) montrent qu'il faudrait promouvoir une densité raisonnée qui favorise une compacité du bâti tout en maintenant des potentialités d'ensoleillement importantes.

3.2 ESTIMATION DE L'IMPACT DES MESURES PROPOSEES

Il ressort des premières estimations réalisées que l'augmentation de la compacité des structures bâties permet de réduire les consommations énergétiques dans une proportion de 15 à 20% par rapport à un habitat pavillonnaire. L'accroissement des apports solaires passifs permettraient de réduire de 10% supplémentaires les consommations, pour autant que les enveloppes soient orientées afin d'optimiser ces gains.

Par ailleurs, on estime généralement qu'une bonne isolation thermique des bâtiments permet de réduire de 30% les besoins énergétiques des bâtiments.

On le voit, une bonne conception urbanistique des ensembles bâtis est une des mesures parmi d'autres qui concourt à la réduction des besoins énergétiques et donc à une diminution d'émission des gaz à effet de serre. Au rythme de 10.000 constructions neuves par an, l'impact attendu des mesures dans ce domaine pourrait largement contribuer à l'objectif du protocole de Kyoto.

3.3 PREMIERES REFLEXIONS SUR LA FAISABILITE DE MESURES FAVORISANT LA COMPACITE DU BATI EN REGION WALLONNE

Complétant l'étude fine des enveloppes du bâti, une approche statistique doit encore être développée à l'échelle "macro-spatiale" à partir de données relatives aux bâtiments. Sur base de données statistiques existantes (types de bâtiments, âge, permis d'urbanisme), on peut tenter de globaliser les gains possibles de consommation énergétique pour différentes régions climatiques, urbaines ou rurales.

Si l'on observe la typologie des logements en Wallonie, on constate de fortes disparités entre régions dans le nombre de logements privés séparés (type maison à 4 façades) ou de logements mitoyens. Cela amène à se demander si des stratégies différenciées ne doivent pas être mises en œuvre pour reconcentrer l'habitat et favoriser des modes d'implantation moins consommateurs d'énergie. Dans cette réflexion, il s'agit d'intégrer les spécificités urbanistiques des zones urbaines, périurbaines et rurales et de respecter le libre choix du mode d'habiter de chacun.

Sur la base du recensement de 2001, on observe les disparités provinciales suivantes :

Tableau 5 - Logements privés occupés par province et par type en Région wallonne en 2001 (en %)

Province	Total	Maisons unifamiliales				Apparte- ments	Autres
		Séparées	Jumelées	Mitoyen- nes	Non spécifié		
Brabant wallon	136.253	60.547	22.445	23.284	420	20.633	5.795
Hainaut	513.917	135.892	89.505	186.130	6.118	68.277	22.664
Liège	419.306	126.178	70.276	111.196	2.366	94.184	18.737
Luxembourg	93.870	46.453	17.396	16.473	520	10.102	3.506
Namur	172.055	78.676	29.353	30.419	1.014	26.201	8.231
Région wallonne	1.330.396	447.746	228.975	367.502	10.438	219.397	58.933

Source : INS - Enquête 1/10/2001 – Tableau 00.40 A

On constate par exemple que le Hainaut comprend 36% de maisons mitoyennes et seulement 13% d'appartements alors que le Brabant wallon ne comporte que 17% de logements mitoyens et 15% d'appartements et studios. Dès lors, on peut imaginer des stratégies différentes de densification selon la province, l'arrondissement ou la commune concernée.

Rappelons que l'évolution du nombre des permis de bâtir et d'urbanisme va vers un plus grand nombre de maisons mitoyennes (+7% entre 1991 et 2001) et que les surfaces des logements tendent à se réduire (-11 m² ou -8,5% entre 1996 et 2001). on peut donc s'attendre à un mouvement naturel vers des constructions plus compactes et groupées. Cela nécessite évidemment une politique urbanistique de redensification du bâti que les autorités publiques, chacune dans leurs domaines de compétence, se doivent d'encadrer et d'encourager.

4. RECOMMANDATIONS ET MESURES PROPOSEES

A ce stade de la recherche, rappelons que les aspects relatifs au potentiel énergétique des zones définies dans les documents d'aménagement du territoire (notamment le potentiel d'ensoleillement et l'exposition aux vents) ainsi que les mesures relatives à l'efficacité des systèmes d'énergie doivent encore être étudiées pour établir une évaluation globale de l'efficacité énergétique d'une structure d'habitat par rapport à l'autre.

Toutefois, certains domaines d'investigation apparaissent déjà pertinents pour atteindre les objectifs du protocole de Kyoto. Ils sont repris ci-après avec un bref commentaire visant à donner des pistes pour leur évaluation.

4.1 CADRE GENERAL A METTRE EN PLACE POUR L'AMELIORATION DES PERFORMANCES ENERGETIQUES EN URBANISME

La définition d'une stratégie globale pour l'amélioration des performances environnementales en urbanisme et aménagement du territoire devrait contribuer à améliorer l'efficacité des outils d'intervention dans ce domaine. Cela implique que soient déterminés entre les pouvoirs publics fédéraux, régionaux, locaux des objectifs communs en vue de la réduction de l'effet de serre qui fourniraient des instructions plus détaillées pour l'élaboration de politiques sectorielles dans les domaines de l'affectation du sol, de la composition urbanistique, dans les stratégies de production et de distribution d'énergie ou encore dans le

secteur de la conception et de la réalisation de bâtiments. Il s'agit aussi de définir les principes de coordination des politiques (subsidés, taxations, réglementations, etc.), ce qui empêcherait les conflits futurs entre instruments d'intervention. Une stratégie globale et transversale est aussi de nature à favoriser l'acceptation des instruments utilisés par les citoyens.

Il s'agit aussi de coordonner les instruments réglementaires et non réglementaires. On peut mentionner l'articulation nécessaire entre les politiques du logement ou du développement d'activités économiques et les stratégies mises en oeuvre en matière de développement territorial. Les préoccupations d'efficacité énergétique ne concernent pas que l'organisation spatiale du bâti mais aussi les comportements de mobilité des biens et des personnes ou encore les modes de gestion des bâtiments.

Enfin, comme le relève le rapport de l'OCDE déjà cité, il s'agit de mettre l'accent sur l'amélioration de l'efficacité énergétique dans les ensembles bâtis et les structures urbaines existantes. Il n'existe pas, dans la plus part des pays, de cadre réglementaire qui concerne les bâtiments existants et l'on compte donc que les instruments non réglementaires (subsidés, taxes, assistance...) joueront un rôle important.

4.2 MESURES RELATIVES A LA PLANIFICATION DE L'USAGE DU SOL

L'effort de planification des usages du sol est à continuer en vue de développer des formes urbaines tendant à minimiser les besoins énergétiques. On vise entre autre la mixité raisonnée des programmes permettant une mutualisation des demandes énergétiques, une optimisation des systèmes, une économie d'échelle des infrastructures ; on peut pointer aussi la densité mesurée de l'occupation du sol, privilégiant la compacité des bâtiments tout en maintenant un fort potentiel d'apports solaires.

Diverses pistes sont à poursuivre :

- transposition des options du SDER en mesures opérationnelles, notamment en ce qui concerne la densification des centres et les actions d'amélioration de la qualité de l'habitat dans les noyaux urbains et villageois,
- prise en compte des facteurs énergétiques et climatiques dans la révision des plans de secteur,
- évaluation énergétique des schémas, plans d'aménagement et règlements,
- promotion de lotissements basse-énergie, alternative au modèle 4 façades et favorisant la création de réseaux de chaleur.

4.3 MESURES RELATIVES A LA COMPOSITION URBANISTIQUE

La recherche sur la forme urbaine mérite d'être poursuivie en vue de dégager des modes d'implantation, des articulations volumétriques performantes sur le plan énergétique et adéquates sur le plan environnemental.

On peut citer des mesures à prendre telles que :

- révision des règlements régionaux d'urbanisme et implémentation de la directive européenne en matière d'isolation
- élaboration de méthodologies et d'instruments d'évaluation de règlements communaux et de demandes de permis
- prise en compte des aspects énergétiques pour la restauration du patrimoine bâti et pour l'intégration d'architectures bio-climatiques et d'équipements dans les espaces urbains protégés.

On peut aussi mentionner des mesures incitatives (sensibilisation et recommandations en matière d'urbanisme) voire une augmentation des primes (code du logement, primes énergie) pour des projets d'habitat groupé valorisant les performances énergétiques.

4.4 MESURES FIXANT LES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DES BATIMENTS

Quoique cet aspect relève principalement de choix architecturaux, des mesures urbanistiques peuvent contribuer à une meilleure adéquation des caractéristiques des bâtiments :

- introduction de matériaux nouveaux dans les règlements relatifs à l'enveloppe du bâti
- mesures permettant une bonne adéquation des surfaces vitrées en fonction de l'orientation
- mesures de contrôle des règles en matière d'isolation thermique et de ventilation (certification et enquête « as build »).

4.5 MESURES TENDANT A OPTIMISER LES SYSTEMES ENERGETIQUES

Deux mesures concernent la dimension urbanistique :

- l'optimisation de l'organisation spatiale des bâtiments et des voiries permettant une bonne desserte par les réseaux de chaleur et d'énergie
- l'intégration visuelle des équipements techniques, notamment ceux relatifs aux énergies renouvelables.

BIBLIOGRAPHIE

Diagnostic

ANDRYVAL (2002), Une analyse critique du Livre blanc, in *Problèmes économiques*, n°2749, 20 février 2002

CEMT (2000), *Politiques de transport durable*, Conférence européenne des ministres des transports (CEMT), Paris

COMMISSION EUROPEENNE (2002) *Stratégie de l'Union européenne en faveur du développement durable*

COMMISSION EUROPEENNE (2001), *La politique européenne des transports à l'horizon 2010 : l'heure des choix*, Livre blanc, COM(2001)370, Bruxelles, septembre 2001

HUBERT J-P. et TOINT P. (2002), *La mobilité quotidienne des Belges*, Presses universitaires de Namur

INSTITUT WALLON, LANGZAAM VERKEER, UNIVERSITE DE LIEGE (2000), *Pistes et outils pour une gestion durable des déplacements domicile-travail*, Brochure réalisée dans le cadre d'une recherche financée par les Services fédéraux des affaires scientifiques, techniques et culturelles (SSTC), Décembre 2000

INSTITUT WALLON, LANGZAAM VERKEER, UNIVERSITE DE LIEGE (2001), *Etude des instruments influençant la mobilité engendrée par les générateurs de trafic*, Etude réalisée pour le compte des Services fédéraux des affaires scientifiques, techniques et culturelles (SSTC) dans le cadre du Programme « Mobilité durable », Rapport final, Janvier 2001

MIES (1999), *Maîtriser le risque de changement climatique. Memento des décideurs*, Memento rédigé pour la Mission interministérielle de l'effet de serre (MIES) par les deux bureaux d'étude GREEN (Paris) et La Calade (Valbonne – Sophia Antipolis), avec la collaboration de l'ADEME, de la DATAR, d'ECODEV, d'AMORCE, d'Energie-Cités et de la cellule de Prospective du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement.

MINISTERE FEDERAL DES AFFAIRES SOCIALES, DE LA SANTE ET DE L'ENVIRONNEMENT (2002), *Belgium's Third National Communication under the United Nations Framework Convention on Climate Change*, avril 2002

REGION WALLONNE (2002), *Projet de plan de l'air : enquête publique – Projet de programme d'action pour la qualité de l'air en Région wallonne à l'horizon 2010*

Les comportements de mobilité

ACUTT M. Z., DODGSON J. S. (1996), *Cross-elasticities of demand travel*, Transport Policy, Vol. 2, N° 4, pp 271-277, 1996

ADAMS JOHN (2000), *The social implications of hypermobility, Speculations about the social consequences of the OECD Scenarios for Environmentally Sustainable Transport and Business-as-Usual Trend Projections*, publié dans OCDE (2000)

AGENCE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA MAITRISE DE L'ENERGIE (ADEME) (2002), Mission Interministérielle de l'Effet de Serre (MIES), Ministère de l'écologie et du développement durable, Les représentations de l'effet de serre dans la population française, 3^{ème} vague d'enquête, juillet 2002

ANDRE VERONIQUE, DURAND CAROLE, HEYLEN ELS, TRATSAERT KATRIEN, BONIVER VERONIQUE, FRISSCHEN STEPHANIE, JUPRELLE JULIEN (2001), *Etude des instruments influençant la mobilité engendrée par les générateurs de trafic*, Rapport final,

Programme « Mobilité durable », Services Fédéraux des affaires scientifiques, techniques et culturelles, janvier 2001

ANDREASSEN TOM WALLIN (1995), *(Dis)satisfaction with public services: the case of public transportation*, Journal of Services Marketing, Vol. 9, N°. 5, 1995, pp 30-41

ARE OFS (2001), Office fédéral du développement territorial, Office fédéral de la statistique, *La mobilité en Suisse, Résultats du microrecensement 2000 sur le comportement de la population en matière de transport*, 2001

BADDOE DANIEL A., MILLER ERIC J. (2000), *Transportation and land use interaction: empirical findings in North America, and their implications for modelling*, Transportation Research Part D, 5, 2000, pp 235-263

BATES JOHN, POLAK JOHN, JONES PETER, COOK ANDREW (2001), *The valuation of reliability for personal travel*, Transportation Research Part E, 37, 2001, pp 191-229

BHATTACHARJEE DEBASHISH, WAQAR HAIDER S., TANABORIBOON YORDPHOL, SINHA KUMARES C. (1997), *Commuters' attitudes towards travel demand management in Bangkok*, Transport Policy, Vol. 4, N°. 3, pp 161-170, 1997

BOYES EDWARD, STANISSTREET MARTIN (1998), *Children's ideas about cars and health: en environmental motivator?*, Transportation Research Part D, Vol. 3, N°. 2, pp 105-115, 1998

BUFFET LAURENCE (2002), *La mobilité quotidienne des membres de la famille dans les quartiers défavorisés : processus d'autonomisation et négociation familiale*, Communication présentée au 2^{ème} colloque du groupe de travail « Mobilités spatiales et fluidité sociale » de l'Association Internationale des Sociologues de Langue Française, 10-12 octobre 2002

BYRNE MICHAEL RAYMOND, POLONSKY MICHAEL JAY (2001), *Impediments to consumer adoption of sustainable transportation, Alternative fuel vehicles*, International Journal of Operations & Production Management, Vol. 21, N°. 12, 2001, pp 1521-1538

CAREY MALACHY (1998), *Optimizing scheduled times, allowing for behavioural response*, Transportation Research Part B, Vol. 32, N°. 5, pp 329-342, 1998

CARLES P., DELCROIX J., *Les effets pervers de la tarification dans les parcs de stationnement*, <http://www.sareco.fr>

CENTRE D'ETUDES SUR LES RESEAUX (CERTU) (2000), *Les premières mises en place du stationnement payant sur voirie, Quelle acceptabilité pour les mesures de tarification ?*, Rapport d'étude, Collections du CERTU, 2000

CENTRE D'ETUDES SUR LES RESEAUX (CERTU), *Walking the Talk? (Donner le ton!)*, <http://www.certu.fr>

CERVERO ROBERT, RADISCH CAROLYN (1996), *Travel choices in pedestrian versus automobile oriented neighbourhoods*, Transport Policy, Vol. 3, N°. 3, pp 127-141, 1996

CERVERO ROBERT (2002), *Inversement des trajets domicile-lieu de travail et accès à l'emploi aux Etats-Unis*, Séminaire « Mobilités quotidiennes et exclusion sociale, Quand les mobilités ne sont pas qu'une question de transport », Chaire pour l'Institut de la ville en mouvement, 5-6 décembre 2002

CHAMBRE DE COMMERCE ET D'INDUSTRIE DE LYON (2002), dossier de presse, 7^{ème} enquête sur les comportements d'achats des ménages de la région lyonnaise, principaux résultats, 9 juillet 2002

COHEN ARNOLD J., HARRIS NIGEL G. (1998), *Mode choice for VFR journeys*, Journal of Transport Geography, Vol. 6, N°. 1, pp 43-51, 1998

COLLINS DAMIAN C.A., KEARNS ROBIN A. (2001), *The safe journeys of an enterprising school: negotiating landscapes of opportunity and risk*, Health and Place, 7, 2001, pp 293-306

COMMISSION EUROPEENNE (1995), *Un réseau pour les citoyens, Comment tirer parti du potentiel des transports publics de passagers en Europe*, Livre vert de la Commission européenne, novembre 1995

COMMISSION EUROPEENNE (1999), DG Environnement, sécurité nucléaire et protection civile, DG Information, communication, culture et audiovisuel, *Environnement ? Ce que les Européens en pensent*, Principaux résultats du sondage effectué dans le cadre de l'eurobaromètre 51.1, 1999

COMMISSION EUROPEENNE (1999), DG XI Environnement, sécurité nucléaire et protection civile, *Villes cyclables villes d'avenir*, 1999

COMMISSION EUROPEENNE (2001), DG Economic and Financial Affairs, DG Internal Market, *Annex to the report of the functioning of product and capital markets, Market performance of network industries providing services of general interest: a first horizontal assessment*, 7 décembre 2001

COMMISSION EUROPEENNE (2002), DG Energie et Transport, *Results of the common indicators, Statistical indicators on local and regional passenger transport in 40 European cities and regions*, février 2002

COMMISSION EUROPEENNE (2002), DG Marché intérieur, DG Santé et protection des consommateurs, *Etude sur les services d'intérêt économique général auprès des citoyens des 15 pays de l'Union européenne*, Rapport final, janvier 2002

COMMISSION EUROPEENNE (2002), The European Opinion Research Group (EORG), DG Santé et protection des consommateurs, *Eurobaromètre 58 – Edition spéciale, L'opinion des consommateurs sur les services d'intérêt général*, Rapport, décembre 2002

COMMISSION EUROPEENNE (2002), The European Opinion Research Group (EORG), DG Environnement, *Eurobaromètre 58.0, Les attitudes des Européens à l'égard de l'environnement*, décembre 2002

COMMISSION EUROPEENNE (2003), *Selon une enquête de la Commission, les utilisateurs sont satisfaits des services essentiels, mais souhaitent une amélioration des transports*, 28 janvier 2003

COMMISSION EUROPEENNE, DG Environnement (2002), *Villes d'enfants, villes d'avenir*, 2002

COMMUNAUTE FLAMANDE (2001), *Décret relatif à l'organisation du transport de personnes par la route et à la création du Conseil de la Mobilité de la Flandre* (Traduction), 20 avril 2001

COMMUNAUTE FLAMANDE (2002), *Arrêté du Gouvernement flamand relative à la Mobilité de base dans la Région flamande* (Traduction), 29 novembre 2002

CULLINANE S. (2002), *The relationship between car ownership and public transportation provision: a case study of Hong Kong*, Transport Policy, 9, 2002, pp 29-39

CULLINANE SHARON (2003), *Hong Kong's low car dependence: lessons and prospects*, Journal of Transport Geography, 11, 2003, pp 25-35

CULLINANE SHARON, CULLINANE KEVIN (1999), *Attitudes towards traffic problems and public transport in the Dartmoor and Lake District National Parks*, Journal of Transport Geography, 7, 1999, pp 79-87

- CULLINANE SHARON, CULLINANE KEVIN (2003), *Car dependance in a public transport dominated city: evidence from Hong Kong*, Transportation Research Part D, 8, 2003, pp 129-138
- DAWES RIBYN M., MESSICK DAVID M. (2000), Social Dilemmas, International Journal of Psychology, 2000, 35 (2), pp 111-116
- DE BORGER B., OCHELEN S., PROOST S., SWYSEN D. (1997), *Alternative transport pricing and regulation policies: a welfare analysis for Belgium in 2005*, Transportation Research Part D, Vol. 2, N°. 3, pp 177-198, 1997
- DE PALMA ANDRE, FONTAN CEDRIC (2001), *Choix modal et valeurs du temps en Île-de-France*, Recherche Transports Sécurité N°. 71, avril- juin 2001
- DELATHOUWER ROBERT (1999), *Quelle mobilité à Bruxelles ?*, Conférence de presse, 28 septembre 1999
- DESMEDT BART (2002), *Mobilité de base et emploi en Belgique*, Séminaire de la Chaire « Mobilité quotidienne et exclusion sociale, Quand les mobilités ne sont pas qu'une question de transport », Institut pour la ville en mouvement, décembre 2002
- DICTIONNAIRE ENCYCLOPEDIQUE DE PSYCHOLOGIE (1980), sous la direction de Norbert Sillamy, Bordas, 1980
- DUPUY GABRIEL (1995), *Les territoires de l'automobile*, Collection Villes, Anthropos-Economica, 1995
- ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE (ECE) (2002), *Relationship between transport and economic development, Separating the Intensity of Transport from Economic Growth (SPRITE)*, juin 2002
- ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE (ECE) (1997), Workshop on Encouraging Local Initiatives Towards Sustainable Consumption Patterns, *Local Initiatives in Austria Towards Sustainable Consumption Patterns: Purchase of Consumer Goods and Related Services*, National review submitted by the Federal Ministry for Environment, Youth and Family, 1997
- ETAT DE GENEVE, Efficacité énergétique au quotidien : quelques impacts, <http://www.geneve.ch>
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2001), *Indicators tracking transport and environment integration in the European Union*, TERM 2001
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2002), *Environmental signals 2002, Benchmarking the millenium*, Environmental assessment report, N°9, 2002
- FAISHAL IBRAHIM MUHAMMAD (2002), *Disaggregating the travel components in shopping centre choix, An agenda for valuation practices*, Journal of Property Investment & Finance, Vol. 20 N°. 3, 2002, pp. 277-294
- FRIMA MARGARETA, GÄRLING TOMMY (2001), *Frequency of negative critical incidents and satisfaction with public transport services II*, Journal of Retailing and Consumer Services, 8, 2001, pp 105-114
- FRIMAN MARGARETA, EDVARDSSON BO, GÄRLING TOMMY (2001), *Frequency of negative critical incidents and satisfaction with public transport services I*, Journal of Retailing and Consumer Services, 8, 2001, pp 95-104
- GÄRLING TOMMY, FUJII SATOSHI, BOE OLE (2001), *Empirical tests of a model determinants of script-based driving choice*, Transportation Research Part F, 4, 2001, pp 89-102
- GAYDA SYLVIE (1994), *Etude des comportements des automobilistes en matière de stationnement près du lieu de travail à l'aide d'une enquête de type préférences déclarées*,

- Présenté lors du colloque « Agir », Novembre 1994, Cahier du MET, Collection trafics, Maîtriser la mobilité, <http://www.stratec.be>
- GROEGER J. A., ROTHENGATTER J. A. (1998), *Traffic psychology and behaviour*, Transportation Research Part F, 1, 1998, pp 1-9
- HAGMAN OLLE (2003), *Mobilizing meanings of mobility: car users' constructions of the goods and bads of car use*, Transportation Research part D, 8, 2003, pp 1-9
- HALLEUX JEAN-MARIE (2002), *Mobilité résidentielle, mobilité voiture et logiques familiales en Belgique: entre étalement de la périurbanisation et intraurbanisation*, Colloque « Mobilités familiales au quotidien », EPFL, 10-12 octobre
- HALLSWORTH ALAN G., BLACK COLLIN, EVANS DAVID, TOLLEY RODNEY (1996), *Assessing traffic-generated "dread" risk*, World Transport Policy & Practice, 2/4, 1996, pp 3-7
- HANDY SUSAN (1996), *Methodologies for exploring the link between urban form and travel behavior*, Transportation Research Part D, Vol. 1, N°. 2, pp 151-165, 1996
- HENSHER DAVID A. (1998), *The imbalance between car and public transport use I urban Australia: why does it exist ?*, Transport Policy, 5, 1998, pp 193-204
- GOLOB THOMAS F., HENSHER DAVID A.(1998), *Greenhouse gas emissions and Australian commuters' attitudes and behaviour concerning abatement policies and personal involvement*, Transportation Research Part D, Vol. 3, N° 1, pp 1-18, 1998
- HILLMAN MAYER (1996), *The future of public transport: the dangers of viewing policy through rose-tinted spectacles*, World Transport Policy & Practice, 2/3, 1996, pp 24-27
- HINE J., SCOTT J. (2000), *Seamless, accessible travel: user's views of the public transport journey and interchange*, Transport Policy, 7, 2000, pp 217-226
- HINE JULIAN (1998), *Roads, regulation and road user behaviour*, Journal of Transport Geography, Vol. 6, N°. 2, pp 143-158, 1998
- HISCOCK ROSEMARY, MACINTYRE SALLY, KEARNS ADE, ELLAWAY ANNE (2002), *Means of transport and ontological security: Do cars provide psycho-social benefits to their users?*, Transportation Research Part D, 7, 2002, pp 119-135
- HUBERT JEAN-PAUL, TOINT PHILIPPE (2002), *La mobilité quotidienne des Belges*, Presses Universitaires de Namur, 2002
- HUBERT JEAN-PAUL (2003), *La mobilité après 55 ans en Wallonie*, Groupe de recherche sur les transports (GRT), Séminaire, 26 mai 2003
- INSTITUT BRUXELLOIS DE GESTION DE L'ENVIRONNEMENT (IBGE) (1998), Sondage d'opinion sur la pollution de l'air à Bruxelles, Dimarso, août 1998
- INSTITUT NATIONAL DE STATISTIQUES (2001), Enquête sur les forces de travail, 2001, <http://www.statbel.fgov.be>
- INSTITUT NATIONAL DE STATISTIQUES (2002), Statistiques démographiques, 2002, <http://www.statbel.fgov.be>
- ISON STEPHEN, WALL STUART (2002), *Attitudes to traffic-related issues in urban areas of the UK and the role of workplace parking charges*, Journal of Transport Geography, 10, 2002, pp 21-28
- JEFFERSON COLIN (1996), *Improving access by public transport*, Landscape and Urban Planning, 35, 1996, pp 173-179
- JENSEN METTE (1999), *Passion and heart in transport – a sociological analysis on transport behaviour*, Transport Policy, 6, 1999, pp 19-33

- JOB N., VAN EXEL A., RIETVELD PIET (2001), *Public transport strikes and traveller behaviour*, Transport Policy, 8, 2001, pp 237-246
- KAUFMANN VINCENT (1999), *Mobilité et vie quotidienne : synthèse et questions de recherche*, Centre de Prospective et de Veille Scientifique, Direction de la recherche et des affaires scientifiques et techniques, Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement, 2001 Plus, Synthèses et Recherches, N°. 48, juin 1999
- KAUFMANN VINCENT (2002), *Temps et pratiques modales. Le plus court est-il le mieux ?*, Recherche Transports Sécurité, 75, 2002, pp 131-143
- KAUFMANN VINCENT, JEMELIN CHRISTOPHE, JOYE DOMINIQUE (2000), *Entre rupture et activités: vivre les lieux du transport*, <http://lasur.epfl.ch>
- KENYON SUSAN, LYONS GLENN (2002), *The value of integrated multimodal traveller information and its potential contribution to modal change*, Transportation Research Part F, 5, 2002, pp 267-287
- KESTEMONT MARIE-PAULE, BARTIAUX FRANCOISE, FRASELLE NADINE, YZERBYT VINCENT (2001), *Points d'ancrage pour une politique, de Développement Durable : Production et Consommation*, Rapport final, Plan d'appui scientifique à une politique de développement durable, août 2001
- KLÖCKNER DOROTHEE (1998), *Analyse des pratiques d'accompagnement*, Recherche Transports Sécurité, N°. 59, avril – juin 1998
- LE BRETON ERIC (1999), *L'utilisateur des transports collectifs urbains : une identité en débat au sein des entreprises*, Sociologie du travail, 1999, 41, pp 255-273
- LE BRETON ERIC (2002), *L'orientation familiale des mobilités, Quelques remarques à partir de l'étude d'une population disqualifiée*, Communication présentée au 2^{ème} colloque du groupe de travail « Mobilités spatiales et fluidité sociale » de l'Association Internationale des Sociologues de Langue Française, 10-12 octobre 2002
- LI JIANLING (2001), *Explaining high-occupancy-toll lane use*, Transportation Research Part D, 6, 2001, pp 61-74
- LYONS GLENN, HARMAN REG (2002), *The UK public transport industry and provision of multimodal traveller information*, International Journal of Transport Management, 1, 2002, pp 1-13
- MISSION INTERMINISTERIELLE DE L'EFFET DE SERRE (MIES) (1999), *Memento des décideurs, Les collectivités territoriales engagées dans la lutte contre les gaz à effet de serre*, 1999
- MACKETT R.L. (2001), *Policies to attract drivers out of their cars for short trips*, Transport Policy, 8, 2001, pp 295-306
- MADRE JEAN-LOUP (2002), *Comment agir sur les déterminants de la demande de transport*, Séminaire International, Les déterminants de la demande de transports de voyageurs, 16 décembre 2002
- MAMOGLI MOUNIR (1998), *Impact de la tarification, des fréquences et des temps de transport*, Recherche Transports Sécurité, N°. 59, avril-juin 1998
- MASSON SOPHIE (2000), *Les interactions entre système de transport et système de localisation en milieu urbain et leur modélisation*, 15 décembre 2000
- MATTEZ GENEVIEVE, *Les ménages wallons et la mobilité, Treize ménages sous la loupe*, Inter-Environnement-Wallonie

MINISTERE DE L'EQUIPEMENT ET DES TRANSPORTS DE LA REGION WALLONNE (2003), *Guide pour réaliser un plan de déplacements scolaires*, Cahier 1, Les manuels du MET, N°. 6, 2003

MINISTERE DE L'EQUIPEMENT ET DES TRANSPORTS DE LA REGION WALLONNE (2003), *Expériences pilotes en Région wallonne*, Cahier 2, Les manuels du MET, N°. 6, 2003

MINISTERE DE L'EQUIPEMENT ET DES TRANSPORTS DE LA REGION WALLONNE (2003), *Outils pour réaliser un plan de déplacements scolaires*, Les manuels du MET, N°. 6, 2003

MINISTERE DE L'EQUIPEMENT ET DES TRANSPORTS DE LA REGION WALLONNE (2003), *Fiches techniques*, Les manuels du MET, N°. 6, 2003

MINISTERE DE L'EQUIPEMENT ET DES TRANSPORTS DE LA REGION WALLONNE (2003), *Répertoire de la mobilité en Wallonie*, Les manuels du MET, N°. 6, 2003

NILSSON MARIA, KÜLLER RIKARD (2000), *Travel behaviour and environmental concern*, Transportation Research Part D, 5, 2000, pp 211-234

NOLAND ROBERT B., LEM LEWINSON L. (2002), *A review of the evidence for induced travel and changes in transportation and environmental policy in the US and the UK*, Transportation Research Part D, 7, 2002, pp 1-26

OBERHOLZER-GEE FELIX, WECK-HANNEMANN HANNELORE (2002), *Pricing road use: politico-economic and fairness considerations*, Transportation Research Part D, 7, 2002, pp 357-371

OCDE (1996a), *First OECD workshop on individual travel behaviour: « Values, welfare and quality of life »* – Final report, OCDE/GD(96)199, 18-19 mars 1996

OCDE (1996b), *Eco-efficiency in the transport sector: applying the concept to public policy and individual travel*, Prepared by: Environmental Resources Management, UK, July 1996, in OCDE (1998a)

OCDE (1997a), *Innovation in transport behaviour and technology, Annex I Expert Group on the United Nations Framework Convention on Climate Change*, Working Paper N°. 13, OCDE/GD(97)79

OCDE (1997b), *Report on the OECD policy meeting on sustainable consumption and individual travel behaviour*, OCDE/GD(97)144, 9-10 janvier 1997

OCDE (1997c), *Second OECD workshop on individual travel behaviour: « culture, choice and technology »* - Final report, OCDE/GD(97)1, 17-19 juillet 1996, 1997

OCDE (1998a), *Eco-efficiency in Transport, Workshop Report and Background Paper*, ENV/EPOC/WPNEP(2001)12/FINAL, février 1998

OCDE (1998b), *Safety of vulnerable road users*, DSTI/DOT/RTR/RS7(98)1/FINAL, août 1998

OCDE (2000), *Project on environmentally sustainable transport (EST), The economic and social implications of sustainable transportation*, ENV/EPOC/PPC/T(99)3/FINAL/REV1, janvier 2000

OCDE (2001a), *Ageing and Transport, Mobility needs and safety issues*, 2001

OCDE (2001b), *Experts Workshop on Information and Consumer Decision-Making For Sustainable Consumption*, Background paper, 16-17 janvier 2001

OCDE (2001c), *Report on the International Conference, Environmentally Sustainable Transport: Is rail on track?*, ENV/EPOC/WPNEP/T(2001)9/FINAL, 25-26 octobre 2001

- OCDE (2002a), Project on environmentally sustainable transport (EST), *Report on OECD conference "Environmentally sustainable transport (EST): « futures, strategies and best practice »*, ENV/EPOC/WPNEP/T(2001)8/FINAL, 4-6 octobre 2000, février 2002
- OCDE (2002b), *Second Workshop announcement, Communicating Environmentally Sustainable Transport – The roles of soft measures in achieving EST*, 5-6 décembre 2002
- OCDE (2002c), *Towards sustainable consumption, An economic conceptual framework*, ENV/EPOC/WPNEP(2001)12/FINAL, juin 2002
- OCDE-CEMT (2001), *Synthèse des discussions du séminaire conjoint OCDE-CEMT sur l'impact du commerce électronique sur les transports*, 5 et 6 juin 2001
- OCKWELL ANTHONY (2002), *Road pricing: What's the deal?*, OCDE Observer, 1er mars 2002
- ONU (1999), *Review of experience in applying economic instruments to the abatement of nitrogen oxides, sulphur dioxide, volatile organic compounds and ammonia, Third draft, Convention on long-range transboundary air pollution*, 10-11 juin 1999
- ONU (2002), Gouvernement danois, *Statistics on Environmental en Transport Issues, Manual*, novembre 2002
- PARKHURST GRAHAM (1995), *Park and ride: could it lead to an increase in car traffic ?*, Transport Policy, Vol. 1, N°. 1, pp 15-23, 1995
- PAZY ASYA, SALOMON ILAN, PINITZOV TOVI (1996), *The impacts of women's careers on their commuting behavior ; a case study of israeli computer professionals*, Transportation Research Part A, Vol. 30, N°. 4, pp 269-286, 1996
- PERVANCHON MARYSE (2002), *Apprendre à conduire, apprendre à se conduire: un objectif familial de la mobilité au quotidien*, Communication présentée au 2^{ème} colloque du groupe de travail « Mobilités spatiales et fluidité sociale » de l'Association Internationale des Sociologues de Langue Française, 10-12 octobre 2002
- PETIT JEROME (2002), *La mobilité comme figure de l'expérience sociale : conséquences sur la caractérisation de la demande de transport*, Recherche Transports Sécurité, 76, 2002, pp. 190-207
- PEZZOLI FRANCOIS (2001), *Processus d'évaluation dans le stationnement automobile à domicile, Formalisation floue du niveau d'acceptation des automobilistes devant une politique de gestion du stationnement contraignante*, V^e rencontre de Théo Quant, Février 2001
- PIKORA TERRI J., BULL FIONA C.L., JAMROZIK KONRAD, KNUIMAN MATTHEW, GILES-CORTI BILLIE, DONOVAN ROB J. (2002), *Developing a reliable audit instrument to measure the physical environment for physical activity*, American Journal of Preventive Medicine, 2002, 23, 3
- PIKORA TERRI, GILES-CORTI BILLIE, BULL FIONA, JAMROZIK KONRAD, DONOVAN ROB (2003), *Developing a framework for assessment of the environmental determinants of walking and cycling*, Social Science and Medicine, 56, 2003, pp 1693-1703
- PLAN DE DEPLACEMENTS URBAINS ÎLE-DE-FRANCE, *Les enjeux d'une politique de stationnement*, <http://www.pduif.org>
- POLK MERRITT (2003), *Are women potentially more accommodating than men to a sustainable transportation system in Sweden?*, Transportation Research Part D, 8, 2003, pp 75-95
- PREDALI (2002), *Les pratiques de mobilité des mères en Île-de-France*, Colloque « Mobilités familiales au quotidien », EPFL, 10-12 octobre

- PRIEWASSER REINHOLD (1999), Ecological sustainability and personal behaviour: relations demonstrated by the decision-making process of selecting a certain transportation mean, *Environmental Management and Health*, 10/3, 1999, pp 165-169
- PUCHER JOHN, KOMANOFF CHARLES, SCHIMEK PAUL (1999), *Bicycling renaissance in North America? Recent trends and alternative policies to promote bicycling*, *Transportation Research Part A*, 33, 1999, pp 625-654
- RANEY ELIZABETH A., MOKHTARIAN PATRICIA L., SALOMON ILAN (2000), *Modeling individual's consideration of strategies to cope with congestion*, *Transportation Research Part F*, 3, 2000, pp 141-165
- RIENSTRA SYTZE, RIETVELD PIET, VERHOEF ERIK T. (1999), *The social support for policy measures in passenger transport. A statistical analysis for the Netherlands*, *Transportation Research Part D*, 4, 1999, pp 181-200
- RIETVELD P., BRUINSMA F.R., VAN VUUREN D.J. (2001), *Coping with unreliability in public transport chains: A case study for Netherlands*, *Transportation Research Part A*, 35, 2001, pp. 539-559
- RIETVELD PIET (2000), *Non-motorised modes in transport systems: a multimodal chain perspective for the Netherlands*, *Transportation Research Part D*, 5, 2000, pp 31-36
- RIETVELD PIET (2000), *The accessibility of railway stations: the role of the bicycle in The Netherlands*, *Transportation Research Part D*, 5, 2000, pp 71-75
- RODIER CAROLINE J., JOHNSTON ROBERT A., ABRAHAM JOHN E. (2002), *Heuristic policy analysis of regional land use, transit, and travel pricing scenarios using two urban models*, *Transportation Research Part D*, 7, 2002, pp 243-254
- ROOT AMANDA, FIELDING WILLIAM J. (1996), *Placebo or panacea? Rural transport corridors: some social and environmental issues*, *World Transport Policy & Practice*, 2/4, 1996, pp 20-27
- ROOT AMANDA, SCHINTLER LAURIE (1999), *Women, motorization and the environment*, *Transportation Research Part D*, 4, 1999, pp 353-355
- SALOMON ILAN, MOKHTARIAN PATRICIA L. (1998), *What happens when mobility-inclined market segments face accessibility-enhancing policies?*, *Transportation Research part D*, Vol. 3, N°. 3, pp 129-140, 1998
- SCHADE JEN, SCHLAG BERNHARD (2003), *Acceptability of urban transport pricing strategies*, *Transportation Research Part F*, 2003
- SCHOUNE CHRISTOPHE (2003), *Le réchauffement laisse froid*, *Le Soir*, 6 mai 2003
- SENAT FRANÇAIS, L'impact des accises sur la consommation: estimation des élasticités, <http://www.senat.fr>
- SIMMA A., AXHAUSEN K.W. (2001), *Structures of commitment in mode use: a comparison of Switzerland, Germany and Great Britain*, *Transport Policy*, 8, 2001, pp 279-288
- SISSONS MARY, MACLEAN MORAG (1995), *Parental attitudes to children's journeys to school, Looks at how parental attitudes influence children's travel behaviour*, *World Transport Policy & Practice*, Vol. 1, N°. 4, 1995, pp 29-36
- STEG LINDA, VLEK CHARLES, SLOTEGRAAF GOOS (2001), *Instrumental-reasoned and symbolic-affective motives for using a motor car*, *Transportation Research Part F*, 4, 2001, pp 151-169
- STIB (2003), *Redéploiement du réseau tramways, Horizon 2005-2007*, 13 mars 2003

STRADLING S.G., MEADOWS M.L., BEATTY S. (2000), *Helping drivers out of their cars, Integrating transport policy and social psychology for sustainable change*, Transport policy, 7, 2000, pp 207-215

TERTOOLEN GERARD, VAN KREVELD DIK, VERSTRAETEN BEN (1998), *Psychological resistance against attempts to reduce private car use*, Transportation Research, Vol. 32, N°. 3, pp 171-181, 1998

THORPE NEIL, HILLS PETER, JAENSIRISAK SITTHA (2000), *Public attitudes to TDM measures: a comparative study*, Transport Policy, 7, 2000, pp 243-257

TISATO PETER (1998), *Service unreliability and bus subsidy*, Transportation Research Part A, Vol. 32, N°. 6, pp 423-436, 1998

TOPP HARTMUTT H. (1995), *The role of parking in traffic calming, Car traffic balances are essential to parking schemes and the lessening of traffic in urban centres*, World Transport Policy & Practice, Vol. 1, N°. 3, 1995, pp 17-22

UBBELS BARRY, NIJKAMP PETER (2002), *Unconventional funding of urban public transport*, Transportation Research Part D, 7, 2002, pp 317-329

UBBELS BARRY, RIETVELD PIET, PEETERS PAUL (2002), *Environmental effects of a kilometre charge in road transport: an investigation for the Netherlands*, Transportation Research Part D, 7, 2002, pp 255-264

URS THORBURN COLQUHOUN, JILL WATKINSON RESEARCH AND MARKETING SERVICES (2001), Business and Market Research, pour le Gouvernement britannique, DETR, Department for Transport, *Transport Choices of Car Users in Rural and Urban Areas*, février 2001

VERHETSEL ANN (1998), *The impact of spatial versus economic measures in an urban transportation plan*, Comput., Environ. and Urban Systems, Vol. 22, N°. 6, pp 541-555, 1998

VERHOEF ERIK, NIJKAMP PETER, RIETVELD PIET (1995), *The economics of regulatory parking policies: the (im)possibilities of parking policies in traffic regulation*, Transportation Research Part A, Vol. 29A, N°2, pp 141-156, 1995

VIEGAS JOSÉ M. (2001), *Making urban road pricing acceptable and effective: searching for quality and equity in urban mobility*, Transport Policy, 8, 2001, pp 289-294

VIGNAL CECILE (2002), *Mobilités, migrations et ancrages face à la délocalisation de l'emploi, Mobilités familiales au quotidien*, Communication présentée au 2^{ème} colloque du groupe de travail « Mobilités spatiales et fluidité sociale » de l'Association Internationale des Sociologues de Langue Française, 10-12 octobre 2002

WENGLENSKY SANDRINE, MASSON SOPHIE (2002), *Parcours effectif à l'emploi versus accès potentiel à l'emploi dans la métropole parisienne, L'évaluation des politiques de mobilité durable : quels outils ?*, 28^{ème} colloque de l'ASRDLF, 21-23 août 2002

WRIGHT C., EGAN J. (2000), *De-marketing the car*, Transport Policy, 7, 2000, pp 287-294

Mixité

ACUTT M.Z. and DODGSON J.S. (1997), *Controlling the Environmental Impacts of Transport : Matching Instruments to Objectives*, in WILLIS et al (2001)

ARING J. (1999), *Nutzungsmischung ? Ja, aber... Empirische Befunde zur Bedeutung des Leitbildes « Nutzungsmischung im Alltag »*, in BRUNSING J. und FREHN M. (1999).

BANISTER D. (1992), *Energy Use, Transport and Settlement Patterns*, in BREHENY (1992)

- BANISTER D., WATSON S. and WOOD C. (1996), Sustainable Cities : Transport, Energy and Urban Form, in *Environment and Planning – B : Planning and Design*, vol. 24, pp 125-143
- BREHENY M.J. (1992), *Sustainable Development and Urban Form*, Coll. European research in regional science, London, éd. Pion
- BREHENY M.J. (1992), *The contradictions of the Compact City*, in BREHENY (1992)
- BRUNSING J. und FREHN M. (1999), *Stadt der kurzen Wege. Zukunftsfähiges Leitbild oder planerische Utopie ?* IRPUD, Dortmunder Beiträge sur Raumplanung, Dortmund
- CAMAGNI R., GIBELLI M.C. et RIGAMONTI P. (2002), Forme urbaine et mobilité : les coûts collectifs des différents types d'extension urbaine dans l'agglomération milanaise, in *Revue d'Economie Régionale et Urbaine* 1, pp 105-140, 2002
- CENTRE DE PROSPECTIVE ET DE VEILLE SCIENTIFIQUE 2001+ (1996), « *Lebensraum Stadt – la ville, espace de vie* » – *Mobilité et communication dans les grandes villes allemandes en 2010 : deux scénarios*, 2001+ n°40, novembre 1996
- CERVERO R. (1988), Land Use Mixing and Suburban Mobility, in *Transportation Quarterly* Vol. 42, n°3, July 1988, pp 429-446
- CERVERO R. and KOCKELMAN K. (1997), *Travel Demand and the 3Ds : Density, Diversity and Design*, in WILLIS et al (2001)
- DEVILLET G. et VEITHEN A-M. (2001), MRW – CPDT, *Thème 1.2 Localisation des activités*, Rapport final de la subvention 2000, septembre 2001
- DIELEMAN F.M., DIJST M. and BURGHOUWT G. (2002), Urban Form and Travel Behaviour : Micro-level Household Attributes and Residential Context, in *Urban Studies* Vol. 39, n°3, pp 507-527
- DUYCK X. et SETRUK C. (2002), MRW – CPDT, *Thème 1 Evaluation des besoins et des activités – Problématique de leur localisation – Quatrième Volume : Potentiel foncier et mixité des fonctions, méthodes d'évaluation*, Rapport final de la subvention 2001, septembre 2002
- EVANS A.W. (1991), *Rabbit Hutches on Postage Stamps : Planning Development and Political Economy*, in WILLIS et al (2001)
- FELDTKELLER A. und PÄTZ A.(1999), *Die Tübinger Südstadt – Eine neue Stadt wird gebaut*, in BRUNSING J. und FREHN M. (1999).
- FOUCHIER V. (1997), *Les densités urbaines et le développement durable – Le cas de l'Île-de-France et des villes nouvelles*, éd. du Secrétariat général du groupe central des villes nouvelles
- FRANK L.D. and PIVO G. (1994), Impacts of Mixed Use and Density on Utilization of Three Modes of Travel : Single-Occupant Vehicle, Transit and Walking, in *Transportation Research Record* 1466, pp 44-52
- FREHN M. und HOLZ-RAU C. (1999), In *kleinen Schritten zur kurzen Wegen. Von den Zweifeln zur Umsetzung einer « Stadt der kurzen Wege »*, in BRUNSING J. und FREHN M. (1999).
- GALLEZ C., POLACCHINI A., HIVERT L. (), Le Budget Energie Environnement des Déplacements : un outil d'évaluation des politiques urbaines, in *Mobilité : connaître pour éclairer les choix*, Actes n°59
- GEORGES X. (2000), *Comportements de mobilité et désurbanisation*, MRW – CPDT, Rapport final de la subvention 1999, Thème 7.1, Les coûts de la désurbanisation, Vol. 1, septembre 2000

- GORDON P. and RICHARDSON H.W. (1997), *Are Compact Cities a Desirable Planning Goal ?* in WILLIS et al (2001)
- GWIASDA P. (1999), *Nutzungsmischung = Stadt der kurzen Wege für die Bewohner ?* in BRUNSING J. und FREHN M. (1999)
- HANSON S. (1982), The Determinants of Daily Travel-Activity Patterns : Relative Location and Sociodemographic Factors, in *Urban Geography*, Vol. 3, 3, pp 179-202
- HOFFMANN-AXTHELM D. (1993), *Die dritte Stadt*, ed. Suhrkamp
- HOLZ-RAU C. (2001), Verkehr und Siedlungsstruktur – eine dynamische Gestaltungsaufgabe, in *Raumforschung und Raumordnung*, 4/2001, pp 264-275
- HOLZ-RAU C. (1999a), Integration von Siedlungs- und Verkehrsentwicklung – die Stadt der kurzen Wege, in *New Mobility '99*, pp 27-30
- HOLZ-RAU C. (1999b), Weiter denken statt weiter fahren – Neue Konzepte für eine integrierte Stadt- und Verkehrsplanung – das Beispiel Wohnen, in *Ökologisches Wirtschaften* 5-6/1999, pp16-18
- HUBERT J.-P. et TOINT P. (2002), *La mobilité quotidienne des Belges*, Presses universitaires de Namur
- JUNKER R. (1997), Zwischen Leitbild und Realität – Sieben Thesen zur Entwicklung der Innenstädte in den alten Ländern, in *Der Städtetag* n°1, pp 8-13
- Mc LAREN D. (1992), *Compact or Dispersed ? Dilution is no Solution*, in WILLIS et al (2001)
- MOULIN E. et SCHNEIDER J. (1998), Le pouvoir d'urbanisme en Allemagne, in *Etudes foncières* n°80, automne 1998, pp 44-50
- NAESS P., RØE P.G. and LARSEN S. (1995), Travelling Distances, Modal Split and Transportation Energy in 30 Residential Areas in Oslo, in *Journal of Environmental Planning and Management*, vol. 38, n°3, pp 349-370
- OCDE (2002), *La demande en trafic routier – relever le défi*
- OWENS S. (1992), *Energy, Environmental Sustainability and Land-use Planning*, in BREHENY (1992)
- OWENS S. and RICKABY P.A. (1992), *Settlements and Energy Revisited*, in WILLIS et al (2001)
- RICKABY P.A., STEADMAN J.P. and BARRETT M. (1992), *Patterns of Land Use in English Towns : Implications for Energy Use and Carbon Dioxide Emissions*, in BREHENY (1992)
- RØE P. (1999), *Intra-Urban Travel and Spatial-Structural Constraints*, Paper presented at the XIII AESOP Congress in Bergen, Norway, July 7-11, 1999
- SCHNELL H. (1999). *Messestadt Riem – Ein Praxisbereich über einen Stadtteil der kurzen Wege*, in BRUNSING J. und FREHN M. (1999).
- SNELLEN D. (2002). *Urban Form and Activity-travel Patterns – an Activity-based Approach to Travel in a Spatial Context*, thèse de doctorat Technische Unisversiteit Eindhoven, inédit
- WIEL M. (1998) *Les enjeux de la gestion de la mobilité dans le développement urbain*, Séminaire Evolution urbaine et développement durable du 6 novembre 98 (Urbanisme et formes urbaines)
- WILLIS K.G., TURNER R.K. and BATEMAN I.J. (2001). *Urban Planning and Management*, éd. EE

Offre de transport

CEMT (1995), *Transports : A problèmes nouveaux, solutions nouvelles*, 13^{ème} Symposium international, Conférence européenne des Ministres des transports, 9-11 mai 1995

CEMT (2000), *Mesures pertinentes de réduction des émissions de CO₂*, Conclusions de la conférence tenue à Turin les 2 et 3 mars 2000, Conférence européenne des Ministres des transports, CEMT/CM(2000)FINAL

ECONOTEC (2001), *Analyse prévisionnelle des émissions atmosphériques liées au secteur du transport en Région wallonne*, Etude réalisée pour le Ministère de la Région wallonne, Direction générale des ressources naturelles et de l'environnement (DGRNE), Namur, Rapport final, Novembre 2001

ECOPLAN (2000), *La politique des transports dans le canton de Berne en l'an 2000 : Principes – Besoins – Mesures*, Rapport de la Conférence des transports du canton de Berne

OCDE (2002), *La demande de trafic routier- Relever le défi*, Organisation de coopération et de développement économique

STRATEC (2003), *Elaboration d'un schéma de développement intégré des réseaux et terminaux de fret en Région wallonne*, Rapport de la phase 1 : Analyse de la situation actuelle et des tendances, volume 2, 7 mars 2003

Télétravail

AGENCE WALLONNE DES TELECOMMUNICATIONS (2001), *Applications électroniques et télétravail*, www.awt.be

ALCATEL (2001), *Le télétravail en Belgique*, <http://212.113.74.111/fr/survey/515/asp>

ANONYME (2001), La lettre EMERIT n°27, Numéro spécial télétravail, décembre 2000 – janvier 2001

AWT (2001), *Usage des TIC en Région wallonne, applications électroniques et télétravail*, www.awt.be

BAUS M. (2002), Craindre le télétravail ? in *Dynamisme Wallon – Mobilité : des outils pour les entreprises*, Union Wallonne des Entreprises, mai 2002

CENTRE DE PROSPECTIVE ET DE VEILLE SCIENTIFIQUE 2001+ (1996), « *Lebensraum Stadt – la ville, espace de vie* » – *Mobilité et communication dans les grandes villes allemandes en 2010 : deux scénarios*, 2001+ n°40, novembre 1996

CENTRE DE PROSPECTIVE ET DE VEILLE SCIENTIFIQUE 2001+ (1994), *Télétravail et transports, une étude de l'administration américaine*, 2001+ n°32, novembre 1994

COMMISSION EUROPEENNE (2000), *eWORK 2000, Status Report on new ways to work in the information society*, Final report septembre 2000, www.eto.org.uk

CEMT (2002), *Gérer les déplacements du personnel*, Table Ronde 121

DECROP J. (2002), *Agglomération et dynamique des activités économiques dans les villes belges : Une approche spatiale et sectorielle*, Bureau du Plan

ECATT (2000), *Benchmarking progress on next ways of working and new forms of business across Europe*, ECATT final report, www.ecatt.com, August 2000

GILLESPIE A. (1992), *Communication Technologies and the Future of the City*, in BREHENY M.J. (1992) *Sustainable Development and Urban Form*, London Pion

- GODDEN F. (2002), *Télétravail : satisfaction générale en Belgique*, www.vnunet.be, 15/03/02
- GOLOB T.F. (2000), *TravelBehavior.Com : Activity Approaches to Modeling the Effects of Information Technology on Personal Travel*, Institute of Transportation Studies, May 2000
- GORDON G. (2000), *Anti-sprawl : the trendy issue of the year*, www.gilgordon.com
- HUBERT J-P. et TOINT P. (2002), *La mobilité quotidienne des Belges*, Presses universitaires de Namur
- ILLEGEMS V. et VERBEKE A. (2001), *Telewerken : een nieuw perspectief op mobiliteit: Eindverslag*, SSTC MD/03/023 (SP0872), Brussel
- INERIS (2002), *Étude de mesures économiques et structurelles pour réduire les émissions de NOx, SO2, COV et NH3*, Rapport, 10 septembre 2002, www.ineris.fr
- JANCOVICI J.-M. (2001), *Bénéfices environnementaux envisageables liés à l'introduction du télétravail*, www.manicore.com
- KORTE W. (1999), *Experiences with Telecentres in Germany and abroad*, www.gilgordon.com, March 1999
- MOKHTARIAN P. (1996), The information highway : just because we're on it doesn't mean we know where we're going, in *World Transport Policy and Practice*, 2/1-2, pp 24-28
- MOKHTARIAN P., HANDY S.L., SALOMON I. (1995), Methodological issues in the estimation of the travail, energy and air quality impacts of telecommuting, in *Transportation Research A Vol 29A*, n°4, pp. 283-302
- MOKHTARIAN P, HENDERSON D.K. (1998), Analyzing the Travel Behavior of Home-Based Workers in the 1991 CALTRANS Statewide Travel Survey, in *Journal of Transportation and Statistics*, october 1998, pp 25-41
- MOKHTARIAN P.L., VARMA K.V. (1998), The trade-off between trips and distance traveled in analyzing the emissions impacts of center-based telecommuting, in *Transportation Research D*, Vol. 3, n°6, pp 419-428
- NERA (2000), *Motors and Modems Revisited – The Role of Technology in Reducing Travel Demands and Traffic Congestion*, London, May 2000, www.nera.com
- OCDE (2002), *La demande en trafic routier – relever le défi*
- SPECTRE (2002a), *Strategic Planning Guide – Dealing with ICT in Spatial Planning : a guide for practitioners*, Haarlem, Provincie Noord-Holland
- SPECTRE (2002b), *Vision on ICT and Space – Vision on the relationship between Information and Communication Technologies and Space*, Haarlem, Provincie Noord-Holland
- SUSTEL (2002), *Sustainable Teleworking – Assessing and Optimising the Ecological and Social Benefits of Teleworking*, Deliverable n°3 – Conceptual Paper, September 2002
- THOMSIN L. (2002), *Télétravail et mobilités*, éd. Université de Liège, coll. Synopsis
- VENDRAMIN P. (1998), *Telework in the scenarios for the future of work*, intervention à la conférence annuelle sur le télétravail de la Commission Européenne (DG XIII), Lisbonne 1998
- VOGT W., DENZINGER S (2001), *Auswirkungen neuer Arbeitskonzepte und insbesondere von Telearbeit auf das Verkehrsverhalten*, Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen (BAST), Mensch und Sicherheit Heft M128, mars 2001
- www.e-mobility2001.org/
- www.euro-telework.org

Plans de transport d'entreprise

ARENE (en ligne), *Pollutec 2001 : Plans de déplacements d'entreprise*, ARENE (Agence régionale de l'environnement et des nouvelles énergies), Disponible sur internet : <http://www.arenedf.com/recherche/tra/FORUMS/forum13.htm>, (réf du 31/01/2003)

ATEC (2001), *Déplacements dans les entreprises et établissements publics : Plans de mobilité pour les employés et usagers. Synthèse de l'analyse transversale d'initiatives*, ATEC (Association pour le développement des techniques de transport, d'environnement et de circulation), comité « plans de mobilité », France, 20 mars 2001

BONIVER Véronique et VAN DER KAA C. (1998), *Le coût de la pollution de l'air liée au trafic routier : essai d'évaluation pour l'agglomération liégeoise*, Liège, CIRIEC, WP. 98/05

BIED Dominique (2001), *Méthodologie pour un plan de mobilité durable en entreprise*, DESS Transports, Territoires, Environnement, Université Cergy-Pontoise

CEMT (2002), *Gérer les déplacements du personnel. Un nouveau rôle pour l'entreprise*, Conférence européenne des ministres des transports (CEMT), Table ronde 121, Paris, 29-30 novembre 2001

ECONOTEC (2001), *Analyse prévisionnelle des émissions atmosphériques liées au secteur du transport en Région wallonne*, Etude réalisée pour le Ministère de la Région wallonne, Direction générale des ressources naturelles et de l'environnement (DGRNE), Namur, Rapport final, Novembre 2001

INSTITUT WALLON (1999), *Etude, mise en œuvre et suivi d'un plan de transport d'entreprise pour le Ministère wallon de l'Équipement et des transports*, Etude réalisée pour le compte du Ministère wallon de l'Équipement et des Transports et de la Commission européenne, Rapport final du 22 octobre 1999

INSTITUT WALLON (2002), *Plan de transport du Centre Hospitalier Régional de Namur*, Etude réalisée pour le compte de la Commission européenne, de la Région wallonne, de la ville de Namur et du CHR de Namur, Rapport final, Comité d'accompagnement du 20 novembre 2002

MONITEUR BELGE (2003), Arrêté royal d'exécution du chapitre XI de la loi-programme du 8 avril 2003 relatif la collecte de données concernant les déplacements des travailleurs entre leur domicile et leur lieu de travail, 16 mai 2003 (paru au MB du 5/6/03)

PORT DE BRUXELLES (2000), *Plan de transports 2000-2005 du Port de Bruxelles*, Mai 2000

PORT DE BRUXELLES (2001), *Plan de transports 2000-2005 du Port de Bruxelles*, Premier rapport annuel, Juillet 2001

UNION DES VILLES ET COMMUNES DE WALLONIE (2003), *Plan de déplacements d'entreprise*, UVCW, Cellule Mobilité, version finale, avril 2003

www.detr.gov.uk

www.ibgebim.be/ENTREPRISES/PLANSDEPLACEMENT/index.htm

www.mobilitymanagement.be

Plan de transport scolaire

Avant-projet de décret relatif à la mobilité scolaire (version du 15 mai 2003 adoptée par le Gouvernement wallon en première lecture)

COMMISSION EUROPEENNE (2002), *Villes d'enfants, villes d'avenir*, Office des publications officielles des Communautés européennes, Luxembourg

EPOMM (2002), European Platform On Mobility Management, Mobility management for schools, *EPOMM News*, 5/02

MET (2003), Outils pour réaliser un plan de déplacements scolaires, *Les manuels du MET*, n°6

www.epomm.org

http://europa.eu.int/comm/environment/youth/air/kids_on_the_move_fr.pdf

<http://mo.st>

<http://www.taxistop.be>

<http://transportscolaire.wallonie.be>

Mobilité de base

BOURGEOIS Marie, MEERT Henk (2003), Ruimtelijk draasvlak en duurzame mobiliteit op het vlaamse platteland, Papier présenté lors des Journées des Géographes belges, Liège, 12 mars 2003

CPDT (2002), *Evaluation des besoins et des activités – Problématique de leur localisation*, Ministère de la Région wallonne, Thème 1 de la CPDT, Rapport intermédiaire de la subvention 2001, Premier volume, mars 2002

DESMEDT Bart (2002), Mobilité de base et emploi en Belgique, Papier présenté lors du séminaire de l'Institut pour la ville en mouvement, Université de Marne-la-Vallée, les 5 et 6 décembre 2002

INS (1998), *Recensement Général de la Population et des Logements, Monographie 11A Urbanisation*, Ministère des Affaires économiques

LANGZAAM VERKEER (2002), *National Report Flanders*, Project funded by the European Community under the Competitive and sustainable growth programme (1998-2002), Langzaam Verkeer, Belgium, August 2002

MONITEUR BELGE (2001), Décret relatif à l'organisation du transport de personnes par la route et à la création du Conseil de mobilité de la Flandre, 20 avril 2001 (paru au MB du 21/08/01)

MONITEUR BELGE (2003), Arrêté du Gouvernement flamand relatif à la Mobilité de base dans la Région flamande, 29 novembre 2002 (paru au MB du 23/01/03)

REGION WALONNE, Projet de décret pour une mobilité locale en Wallonie

VAN HECKE Etienne (1998), Actualisation de la hiérarchie urbaine en Belgique, *Bulletin de Crédit Communal*, n°205, pp. 45-76

<http://www.isabelledurant.be/fr/trans/index.htm>

Stationnement

- CAHN M. (1997), *Réglementation d'urbanisme, politiques de déplacement, de stationnement et de transport : actions de villes européennes*, ADEME
- CERTU (1994), *Le stationnement privé au lieu de travail, facteur d'évolution de la mobilité et de la structure urbaine ?*, Dossiers du Centre d'Etude du Transport Urbain : Bagneux
- COSTES G. et TIJSKENS J-P. (2002), *Plan communal de mobilité. Namur : une Corbeille de proposition*, Les cahiers du MET – collection Intermodalité : NAMUR
- CPDT (2001), *Rapport final du thème 1.2 de septembre 2001*, Conférence Permanente de Développement Territorial : MRW
- DE and DT (1994), *Planning Policy Guidance : transport*, Department of the Environment / Department of Transport : Grande-Bretagne (www.gn.apc.org/pmhp/dc/planning/ppgs/)
- DRAPS (2002), *Communiqué de presse du Secrétaire d'Etat chargé de l'Aménagement du territoire, des Monuments et Sites et du Transport rémunéré des personnes de la Région Bruxelles-Capitale Willem Draps du 12 décembre 2002*, RBC : Bruxelles
- FALISSE G. et SAELENS S. (2003), *Diagnostic commenté de la mobilité en Wallonie*, cellule mobilité de l'Union wallonne des Entreprises : Wavre
- FOUCHIER V. (1999), Maîtriser l'étalement urbain : une première évaluation des politiques menées dans quatre pays (Angleterre, Norvège, Pays-bas, Hong-Kong) in *Etude 2001*, n° 49.
- GATHON H-J., SAELENS S., THIRY B. et al. (2000), *Pistes et outils pour une gestion durable des déplacements domicile-travail*, Services fédéraux des affaires scientifiques, techniques et culturelles – Université de Liège, Institut Wallon et Langzaam Verkeer : Bruxelles
- GÜLLER P. et TOMMASI R., 2002, Politique en matière de stationnement et d'accès dans les zones d'aménagement suisse : les exemples de Zurich et de Siemens à Zoug, *Conférence Européenne des Ministres des Transports (CEMT)*, OCDE
- HOFMAN P. (2002), Actes du colloque : rencontres de la mobilité : la problématique du stationnement : l'expérience de la Région flamande, Union des Villes et Communes de Wallonie – 12/12/2002 – Liège
- HUBERT J-P. et TOINT P. (2002), *La mobilité quotidienne des belges*, Presses universitaires de Namur : Namur
- INSTITUT WALLON (1997), *Etude, mise en œuvre et suivi d'un plan de transport d'entreprise pour le Ministère Wallon de l'Équipement et des Transports : rapport intermédiaire*, Institut wallon de développement économique et social et d'aménagement du territoire ASBL : Namur
- MARTENS M. J. et al. (2000), *the ABC location policy in the Netherlands*, 12 p.
- MATTHIS P. (2000), Plan de transports 2000-2005 du port de Bruxelles, éditeur responsable : Matthis Philippe : Mai 2000
- MRW (2000), *L'environnement wallon à l'aube du XXIème siècle : approche évolutive*, MRW-DGRNE et coll. : NAMUR
- NOEL C. et HUCHETTE S. (2001), *Vers une planification intégrant usage du sol et transports*, CERTU : Paris
- RPG 12 (2001), *Draft Regional Planning guidance for Yorkshire and The UMBER*, Government Office For Yorkshire and The Humber

SENNECHALES P. (2002), *Actes du colloque : rencontres de la mobilité : la problématique du stationnement : La circulaire 18*, Union des Villes et Communes de Wallonie – 12/12/2002 – Liège

SPCQA (2002), *Projet de plan de l'air : enquête publique*, Structure Permanente de la Concertation pour la Qualité de L'Air : Namur

STEVAERT S. (1999), *Ontwerp-omzendbrief RO 99/02 betreffende het ontwikkelen van een duurzaam gemeentelijk parkeerbeleid*, projet de circulaire du Vlaamse Minister van Openbare Werken, Vervoer en ruimtelijke Ordening : Brussels

STIF (2001), *les normes de stationnement dans les plans locaux d'urbanisme: Méthodes et bonnes pratiques*, Plan de Déplacements Urbains Île-De-France : Paris

THIRY C. (2003), *Problématique et enjeux du stationnement en voirie : le cas bruxellois*, mémoire de fin d'étude : UCL

VOOGD H. (2000), *Urban planning in The Netherlands : the gap between planning concepts and reality*, URBE conference : Equity, Justice and Competitiveness in the City : Vila Real

VSS (1993), *Stationnement : besoin limite, besoin réduit, offre*, Union des Professionnels suisses de la Route (VSS) et l'Association suisse de Normalisation : Zurich

Aménagement des voiries

AMARCANDE (1990), *La rue un espace à mieux protéger*, Paris

ASCHER F., PYSCHA A., PRINS M., LE BRETON E., CHARREL N., DUCROUX L. (2000), *Le transport à la demande, un nouveau mode de gestion des mobilités urbaines*, Champs sur Marne

BALSIGER O. (1988), *Conception pour l'intégration des deux-roues légers*, Office des Ponts et Chaussée du Canton de Berne

BONAMI L. (1990), *Le temps des rues*, IREC-EPFL, Suisse

CEMT (2002), *Transports urbains durables : la mise en œuvre des politiques, Messages clés pour les gouvernements*, OCDE

CEMT (1991), *Transport des personnes à mobilité réduite : L'accès aux transports publics par autobus*, 29 novembre 1989

CERTU (2000), *Recommandations pour les aménagements cyclables*, CERTU, avril 2000

CERTU (1999), *Automobile pour la ville à l'horizon 2010. Nouvelles gestions de l'automobile urbaine, partenariats avec les transports publics*

CETUR (1994), *Les enjeux des politiques de déplacement dans une stratégie urbaine*, janvier 1994

CENTRE DE PROSPECTIVE ET DE VEILLE SCIENTIFIQUE 2000+ (2002), *Les politiques de déplacements urbains en quête d'innovations - Cas de Genève, Naples, Munich, Stuttgart, Lyon, n°58*

COMMISSION EUROPEENNE DGXI (1999), *Villes cyclables, villes d'avenir*, Office de communications officielles de la communauté européenne, Luxembourg

CONFERENCE INTERNATIONALE DE LA ROUTE ET DE LA CIRCULATION (1988), *Sécurité des Pistes Cyclables*, Berlin

DREIF (1996), *Les transports de voyageurs en Ile-de-France en 1994*, Paris

- DREIF (1995), *Les déplacements des franciliens en 1991-19992, Enquête globale de transport*, Paris
- DU MESNIL H. (2000), *Les transports : plaidoyer pour l'audace*, Ponts et chaussées et Mines, n°4, avril 2000
- ENERGIE CITES (2001) : *Politiques en faveur du développement du vélo : Bonne pratiques de villes européennes*
- HERISSE P. (1997), *Transports urbains, comment innover à moindre coût*, La vie du rail et des transports, n°10, décembre 1997
- HUBERT J-P. et TOINT P. (2000), *La mobilité quotidienne des Belges*, Presses universitaire de Namur
- LEFEVRE C. et OFFNER J.-M. (1999), *Les transports urbains en question*, Paris
- IINSTITUT BELGE POUR LA SECURITE ROUTIERE (1996), *Aménagements cyclables. Recommandations pour une infrastructure à la mesure des cyclistes*, Bruxelles, juin 1996
- JULIEN A. (2000), *Comparaison des principaux manuels européens d'aménagements cyclables – Aménagement cyclable et espace urbain*, septembre 2000
- KAUFMANN V., STOFER S. (1995), *Le report modal de l'automobile vers les transports publics, Recherche comparative auprès des actifs motorisés des agglomérations genevoise, lausannoise et bernoise*, Lausanne, Rapport n°127
- KAUFMANN V., GUIDEZ J.-M. (1996), *Les citoyens face à l'automobile – les déterminants du choix modal*, Paris, Fonds d'intervention pour les études de recherches, Rapport n°19
- LOISEAU F. (1990), *La rue, un espace à mieux partager*, CERTU, ADTS, IBSR, IREC, Sécurité routière, Luxembourg
- MASSOT M.-H., ORFEUIL J.-P. (1989), *Offre et demande de transport en commun dans les villes françaises sans métro, Usage et usagers des services de transport en commun urbain*, Arcueil, INRETS, Rapport INRETS n°100
- MINISTRY OF TRANSPORT (1995), *Cities make room for cyclists, examples from towns in the Netherlands, Denmark, Germany and Switzerland*, Ministry of transport, Public Works, and Water Management, The Hague
- OXLEY P.R. (1990), *Les avantages des transports accessibles*
- PREDIT (2001), *L'innovation au service des déplacements urbains*, Lyon, CERTU, Collections Dossiers, n° 116
- THISDALE J. (2000), *Vers un service de transport au bout du fil*, ville de Rimouski

Transport de marchandises en ville

- ACT Consultants (1995), *Etude qualitative du programme «transport de marchandises dans la ville »*, Rapport au ministère de l'Équipement
- AMAR E., (1995), *Distribution urbaine : des solutions pour sortir du désordre*, Transport Actualités, n° 534

- AMARCADE (1993), *Centre de distribution urbaine aux Pays-Bas. Plates-formes locales de fret*, Ministère des Transports des Pays-Bas, 1993
- BEAUVAIS J. M., MASSE F. (1996), *Impact des formes de distribution sur l'emploi et sur les flux de transport*, Transport urbains, 1996
- BEAUVAIS Consultants (2001), *Estimation des voitures-kilomètres par les grandes surfaces alimentaires*, ADEME, METL-DRAST
- BERNADET M. (1997), *Le transport routier de marchandises, fonctionnement et dysfonctionnements*, Paris, Economica, 1997
- BESSON P., SAVY M., VALERY A., VELTZ P. (1988), *Gestion de production et transport : vers une nouvelle économie de la circulation*, Caen, Paradigme
- BESTUF (2001), *Bonnes pratiques en matière de Logistique urbaine*, Rapport final
- BEYER A. (1994), *Approche régionale des échanges franco-allemands de marchandises, rapport de DEA Transport*, Ecole nationale des ponts et chaussées, 1994
- BOUDOUIN D., MOREL C. (2002), *L'optimisation de la circulation des biens et des services en ville, logique urbaine*, Programme national «Marchandises en ville », La documentation française
- CATTAN N. (1992), *La mise en réseau des grandes villes européennes*, Thèse de doctorat en géographie, Université de Paris I, février 1995
- CENTRE DE PROSPECTIVE ET DE VEILLE SCIENTIFIQUE 2001 + (2002), *Du transport de marchandises en ville à la logistique urbaine*, n°59
- CERTU (1979), *Les livraisons dans le centre des villes. Propositions pour la prise en compte des livraisons de marchandises dans l'aménagement de la voirie et des espaces publics*, Paris, 1979
- CERTU (1996), *Plans de déplacements Urbains - Guide*
- CHRISTIANSEN D. (1979), *Urban Transportation Planning for Goods and Services - A reference Guide*, Rapport à la Federal Highway Administration pour le compte du Texas Transportation Institute, 1979
- CONAN M. (1988), *Gestion dynamique de la production de services urbains. Enseignement de vingt-deux ans d'expérience de gestion et d'évaluation dans la municipalité de New York*
- COST (Coopération dans le domaine de la recherche Scientifique et Technique) (1998), Rapport final
- COWIconsult (1994), *Goods Transport in Danish Towns – Potentials for rationalization of transports and reduction of environmental impact, energy consumption and traffic accidents*, Rapport présenté à la Commission Européenne (COST 321), janvier 1994
- DABLANC L., MASSE F.(1996), *Les centres de distribution urbaine : un tableau comparatif*, Transport Urbains, avril 1996
- DABLANC L. (1997), *L'invisibilité juridique du transport de marchandises en ville*, Les cahiers scientifiques du Transport N° 31/1997
- DANIEL B., CHRISTIAN M. (2002), *L'optimisation de la circulation des biens et services en ville*, La Documentation française, 2002
- DEGRAEF P. (2000), *Le transport de marchandises par route, au service de l'économie*, Fédération belges des Transporteurs

DOWNEY M., SIMKOVITZ H., PRUD'HOMME R. (1988), *Les villes et leurs transports, Athènes, Göteborg, Hong-Kong, Londres, Los Angeles, Munich, New York, Osaka, Paris, Singapour*, Paris, OCDE, 1998

GETUM (Groupe pour l'Etude des Transports Urbains Modernes) (1981), *Livraison des marchandises dans les centres urbains – Exemples de quatre villes européennes : Amsterdam, Bologne, Göteborg, Londres*, Rapport à la direction des Transports Terrestres, 1981

HASELL B., FOULKES M. et ROBERTSON J. (1978), "Freight Planning in London" in *Traffic Engineering and control*, en quatre articles : numéros de février, mars, avril et mai 1978

LA SABLIERE (de) P. (1996), Marchandises en ville : le voile bientôt levé, in *Dossier spécial de la revue Circuler*, n°72 mars-avril 1996

MEYRONNEINC J.P. (1996), Distribution urbaine : l'état des connaissances, in *Transport Magazine*, juin 1996

OCDE (1970), *Le transport urbain des marchandises*, Groupe consultatif sur la recherche en matière de transport

OCDE (1980), *Gestion de la distribution des marchandises en zone urbaine, résumé de l'expérience de plusieurs pays*, Paris, Programme de Recherche Routière, octobre 1980

PREFECTURE DE LA REGION PARISIENNE (1974), *Le transport de marchandises dans la région parisienne*, document de synthèse - synthèse des études entreprises par la préfecture en 1972 et 1973 sur le fret en milieu urbain, avril 1974

REGION WALLONNE (MET) DG – D.311 (2002), *Manuel pour la prise en compte du transport de marchandises en ville dans l'élaboration et la mise en œuvre des plans communaux de mobilité*

WATSON P. (1975), *Urban Goods Movements*, Lexington Books

Distribution urbaine : des solutions pour sortir du désordre, in *Transport Actualités* n° 534, janvier 1995

Trafic et Sécurité sur les routes et autoroutes de Wallonie, in *Les cahiers du MET-Collectio Trafics*, n° 15, 2002

Transports de marchandises en zone urbaine, numéro spécial de *Transport urbains*, avril-juin 1996

Enquête « chargeurs » de l'INRETS, « Programme Transport des Marchandises en Ville, une exploitation de l'enquête « chargeurs » de l'INRETS », de novembre 1994

Enquête 1995-1998 du programme national de recherche «transport de marchandises en ville » menée par le LET : les chiffres clés du transport de marchandises en ville

Estimation des émissions de CO₂ suivant des scénarios d'aménagement

BACH M., FOUCHIER V., THEYS J. (sous la direction de) (1999) *Maîtriser l'étalement urbain : une première évaluation des politiques menées dans quatre pays (Angleterre, Norvège, Pays-Bas, Hong-Kong, 2001 Plus, n°49, Centre de Prospective et de veille scientifique DRAST Ministère de l'Équipement, des transports et du Logement, Paris, 59 p.*

BAUWIN E. (1978) L'industrie manufacturière bruxelloise. Ses principales caractéristiques et difficultés, in : *Revue Belge de Géographie*, fascicule 1, Bruxelles, pp. 51-66

BONANOMI L. (2000) *Vers un urbanisme de la proximité Coordonner développement urbain et transports*, Dossiers du Programme National de Recherche 41 Transport et environnement Interactions Suisse-Europe, Volume M21, Berne, Suisse, 34 p.

- BRIQUET C. (2003), *Algorithmes de contournement de barrières*, Travail de fin d'études DEA en informatique, Université de Liège, inédit, juin 2003
- CAHN M. (1997) *Réglementation d'urbanisme Politiques de déplacement, de stationnement et de transport*, Energies-Cités/ADEME, 105 p.
- CERTU (1999) *Zones et établissements générateurs de trafic. Recueil de données de comptage*. 61 p.
- COLLECTIF (1996) *Aménagements cyclables Recommandations pour une infrastructure à la mesure des cyclistes*, Institut Belge pour la Sécurité Routière, Bruxelles, 72 p.
- COLLECTIF (2001) *Optimum Integrating mobility management in spatial planning Results, conclusions and recommendations*, Communauté Européenne, Projet Interreg 2C, CD Rom
- COPPIETERS M.-C. (1998) Voies douces : Intégration ou ségrégation ?, in : *Premières rencontres européennes du trafic lent et des Chemins du rail*, Ministère de la Région wallonne – DGATLP, collection Etudes et Documents Aménagement et Urbanisme 3, Namur, pp. 60-69.
- DAHM B., DUGUET A., JACOB C. (1995) *Circulations douces et voies urbaines en Europe L'Allemagne et la Suisse*, IAURIF, Paris, 183 p.
- DAHM B., JACOB C. (1995) Circulations douces en Europe, in : *Passage en taille douce*, Les Cahiers de l'IAURIF n°111, Paris, pp. 45-75.
- DAXHELET D., HALLEUX J.-M., LAMBOTTE J.-M., (2002) Production technique des données nécessaires à l'élaboration des profils d'accessibilité, in : *Rapport final de la subvention 2001 Etude complémentaire relative aux profils d'accessibilité – profils de mobilité*, Ministère de la Région wallonne, CPDT, LEPUR-ULg, pp. 19-39.
- DECOSTER D. (sous la direction de) (2000) Chapitre IV : Outils de gestion de la mobilité, in : *Rapport intermédiaire de la subvention 1999, Thème 7.5. Rationalisation des outils de développement local*, Ministère de la Région wallonne – CPDT, GUIDE –ULB, CREAT – UCL, LEPUR ULg, pp. 305-344.
- DEKOSTER J., SCHOLLAERT U. (1999) *Villes cyclables Villes d'avenir*, Commission Européenne DGXI – Environnement, 61 p.
- DELOITTE & TOUCHE – CREAT – INSTITUT WALLON (2001) *Affectation d'espace à l'activité économique*. Rapport phase 1.
- DELOITTE & TOUCHE – CREAT – INSTITUT WALLON (2002) *Etude stratégique visant à éclairer le Gouvernement wallon en matière d'affectation d'espace à l'activité économique dans le cadre de la révision des plans de secteur*. Rapport phase II, 153 p.
- DEPLECHIN L., GUILLAUME M., PLAK P., VERMEIREN B. (1999) *Communes cyclistes ? ça existe !... Quelques pistes pour promouvoir l'usage du vélo dans votre commune*, Ministère de la Région wallonne - DGPL, Institut Belge pour la Sécurité Routière, 119 p.
- DONNAY J.-P. (2000) *Analyse spatiale*, Notes de Cours, Département de géomatique, Université de Liège, inédit.
- FRENAY P. (2001) *P+R versus urbanisation autour des nœuds de transports publics*, TEC (Transport/Environnement/Circulation), ATEC, Paris, n°166, pp. 20-29
- GEORGES X. (2001) La demande de mobilité des activités, in : *Rapport final de la subvention 2000 Thème 1.2 : Localisation des activités*, Ministère de la Région wallonne, Conférence Permanente du Développement Territorial, CREAT-UCL, pp. 76-90.
- HALLEUX J.-M. (2000) Développement durable et organisation urbaine : le mot d'ordre de la ville compacte, *Les Cahiers de l'Urbanisme*, n°30, pp. 18-23.

- HALLEUX J.-M., DERWAELE F., JUCHTMANS G., VAN DER HAEGEN H., VAN HECKE E., MÉRENNE-SCHOUMAKER B. (sous la direction de) (1997) *Monographie n°11A Urbanisation - Recensement Général de la Population et des logements au 1^{er} mars 1991*, INS, 194 p.
- HILGERS W. & L. R. (1998) *Le cycliste se veut un usager à part entière!*, Test Achats Magazine, n°412, pp. 20-26.
- HUBERT J.-P., TOINT P., (2002) *La mobilité quotidienne des belges*, Presses universitaires de Namur, 311p.
- I.N.S. (1998) *Nomenclature d'activités NACE-BEL*. 290 p.
- I.N.S. (1997) *Recensement Général de la population et des Logements eu 1^{er} mars 1991. Emploi et structures socio-économiques régionales*. Monographie n°6. 190 p.
- KESSLER L., LAMBOTTE J.-M. (2001) Evaluation des profils d'accessibilité des lieux, in : *Rapport final de la subvention 2000 Thème 1.2 : Localisation des activités*, Ministère de la Région wallonne, Conférence Permanente du Développement Territorial, LEPUR-ULg, pp. 91-125.
- LE GAL Y. (2000) *La marche, antidote à l'excès automobile*, Urbanisme, n°314, pp. 34-39
- LAMBOTTE J.-M. (1996) *L'évolution de la localisation des industries en milieu urbain : le cas de la ville de Liège entre 1979 et 1996*, mémoire de licence en sciences géographiques, ULg, inédit, 132 p.
- LAMBOTTE J.-M., MAIRY N. (2001) *Polarités et profils de mobilité en région liégeoise Etude pilote sur le secteur nord-ouest*, recherche réalisée pour le Ministère des Transports, de la Mobilité et de l'Energie de la Région wallonne, SEGEFA - ULg, 115 p.
- LAMBOTTE J.-M. (2002) *Analyse des interactions entre le développement des modes lents et les formes d'urbanisation*, mémoire du DES en urbanisme et aménagement du territoire, ULg, inédit, 176 p.
- MENS EN RUIJTE, BGC, BRAT (1996) *Mobilité durable de la fonction administrative : le cas de Bruxelles, Synthèse*, Commission Européenne, Direction Générale XI Environnement, Bruxelles, 34 p.
- MÉRENNE-SCHOUMAKER B. (1995) *L'organisation économique de l'espace – 2. Réseaux et systèmes de transport*, Notes de cours de géographie économique, Université de Liège, inédit.
- WEGENER M., 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. 119p.
- NOËL C., HUCHETTE S. (2001), *Vers une planification intégrant usage du sol et transports – Quelques exemples issus du projet européen TRANSLAND*, CERTU – CETE Nord-Picardie, Les rapports d'étude, 66 p.
- POLLET I. (2000) Nationale enquête over mobiliteit van huishoudens – Verslag van de eerste analyse, in : *Journée d'étude du 30 mars 2000 – Les enquêtes : une fenêtre sur la mobilité et l'activité des personnes*, Lanzaam verkeer, SSTC, Plan d'appui scientifique à une politique de développement durable, 28 p.
- SEEWER U. (sous la direction de) (1999) *L'avenir appartient aux déplacements à pied et à vélo Etat des connaissances, mesures et potentiels Vers une réorientation des politiques de transport*, Rapport A9 du PNR 41 (Programme National de Recherche « Transport et environnement, Interactions Suisse-Europe »), Berne, Suisse, 369 p.

SEGEFA – ULG, ISEG - KULEUVEN (1999) *Migrations de travail et migrations scolaires*, Monographie 11B du Recensement général de la population et des logements au 1^{er} mars 1991, Ministère des Affaires Economiques, INS et SSTC, Bruxelles, 266 p.

SNCB (2001) *Chemins de fer belges – Indicateur intérieur 10.06.2001-15.06.2002*, Bruxelles, 808 p.

STRATEC (1991) *Les comportements spatiaux des entreprises à Bruxelles*. 136p.

STRATEC SA, M. TIJSKENS (1997) *Plan de transport et de mobilité pour la Wallonie*, Les Cahiers du MET, Collection Trafics, 70 p.

TEC LIÈGE-VERVIERS (1998) *Faisons Bouger le Monde La Mobilité, D'une Ligne à l'autre Magazine*, Bimestriel d'information de la Société de transport en commun TEC Liège-Verviers, n°2, 24 p.

TOINT PH., BARETTE PH., DESSY A. (2000). *Enquête nationale sur la mobilité des ménages (1998-1999) Contribution de la Région wallonne à l'enquête ménages Rapport final Partie 2 Résultats*, Version préliminaire, Groupe de Recherche sur les Transports – FUNDP, 142 p.

VANDERMOTTEN C. (sous la direction de) (2000-1) *Evaluation des impacts du RER - Stratégies de localisation des activités économiques et théorie ABC*, Phase 2 : rapport intermédiaire, IGEAT – ULB, Bruxelles, 72 p. + cartes

VANDERMOTTEN C. (sous la direction de) (2000-2) *Evaluation des impacts du RER - Stratégies de localisation des activités économiques et théorie ABC*, Rapport final, IGEAT – ULB, Bruxelles, 53 p. + cartes

VANDERSPEETEN A., CONSEIL D'ADMINISTRATION DU TEC LIEGE-VERVIERS (1996) *Transport public à Liège – Les grands axes d'une intégration*, Les Cahiers du MET, Collection Trafics, 68 p.

VAN HECKE E. (1998) *Actualisation de la hiérarchie urbaine en Belgique*, Extrait du Bulletin du Crédit Communal, n°205 – 1998/3, pp. 45-76

VANRAES N. (2000) *Analyse de la structure d'un réseau de transport en commun en vue d'une étude d'accessibilité Application à la région d'Ans - Rocourt*, Mémoire en sciences géographiques, Université de Liège, inédit, 213 p.

VAN WEE B. (2000) Land use and transport : challenge for research and policy making. Paper presented for the TRAIL 6th Annual PhD Congress and Knowledge Market. 19 p.

VERDONKT F., RISACK S., DEVILLET G., MERENNE-SCHOUMAKER B., VAN HECKE E. (2000) *Aires de chalandise des principaux pôles commerciaux belges*, CD-ROM, SEGEFA – ULg, ISEG – KUL, GESVAL, Liège.

Plans globaux environnementaux

BARTHELEMY *et al.* (2000), Aménagement de l'espace et gestion des risques aux Pays-bas in *2001 PLUS*, Direction de la Recherche et des Affaires Scientifiques et Techniques : Ministère de l'Equipement : Paris

CIPMS (2001), *Plan d'action contre les inondations*, Commission Internationale pour la protection de la Moselle et de la Sarre (www.iksr.org)

CIPR (2001), *Plan d'action contre les inondations*, Commission Internationale pour la protection du Rhin (www.cipr-icbr.org)

DEFRA (2001), *National Appraisal of Assets at Risk from Flooding and Coastal Erosion, including the potential impact of climate change – final report*, Department for Environment, Food and Rural Affairs : Grande-Bretagne (www.defra.gov.uk)

DEWIL P. et de WIT M. (2002), *Plan d'action inondation Meuse : rapport d'avancement 1995-2001*, Groupe de Travail pour la prévention des Inondations dans le bassin de la Meuse (GTIM) : Namur

OFEG (2002) « La protection contre les crues au fil du temps : une affaire de spécialistes qui nous concerne tous » Office fédéral des eaux et de la géologie – Suisse (www.bwg.admin.ch)

LOAT R. et PETRASCHECK A. (1997), *La protection contre les crues au fil du temps : une affaire de spécialistes qui nous concerne tous*, Office fédéral de l'Economie et des Eaux, Office fédéral de l'Aménagement du territoire, Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage : Suisse (www.bwg.admin.ch)

TRICOT J-M. (1997), *Dyle et affluents : Contrat de rivière*, DGRNE-MRW

Mesures de lutte contre les inondations

ADOPTA (2002), *La gestion durable des eaux pluviales*, Association Douaisienne pour la promotion des Techniques Alternatives (adopta.free.fr)

AZZOUT Y. et al. (1994), *Techniques alternatives en assainissement pluvial : choix, conceptions et entretien*, Lavoisier : techniques et Documents : Paris

BRIGANDO M. et al. (2002), *Plan de Prévention des Risques naturels d'Inondation : mesures de prévention*, La documentation française : Paris

CARRE C. (2002), L'intégration des eaux pluviales en milieu urbain dense in *Etudes foncières*, n°96, mars-avril 2002

J. DAUM et A. MARTELET (1997), *Guide sur la gestion et la protection des captages d'eau potable dans la nappe alluviale*, Document technique FNDAE n°19 : Paris

DDE (2000), *Plan de prévention du risque d'inondation de la Marne et de la seine dans le département du Val-de-marne*, Direction Départementale de l'équipement - Service de l'aménagement et de la Prospective : Préfecture du Val-de-Marne (www.val-de-marne.pref.gouv.fr/ppri)

DEVILLERS F., GOVAERTS P. et al. (1994), *Impact de l'urbanisation sur le cycle de l'eau : Quantification par modélisation, Mise en évidence de modes d'intervention dans le cadre de l'aménagement du territoire et de l'urbanisme, Application au cas de Louvain-la-Neuve*, Fonds de Développement Scientifique – Université Catholique de Louvain

EGLI T. (2002), Prévention du risque de dommages liés aux inondations : mesures générales et leur efficacité, Commission Internationale pour la protection du Rhin (www.iksr.org)

IDAHO DEQ (2001), *Catalog of stormwater best management practices*, Department of Environmental Quality - Idaho (www.state.id.us/deq/water/stormwater_catalog)

LEROUX et BALADES (1993), *La maîtrise des eaux pluviales : des solutions « sans tuyau » dans l'agglomération de Bordeaux*, les éditions du Service Technique de l'Urbanisme : Paris

MARCOVITCH D. (2001), Rapport fait au nom de la commission de la production et des échanges sur le projet de loi (n°3205) portant réforme de la politique de l'eau, Assemblée Nationale : 19 décembre 2001 : Paris

MDE (2000), *2000 Maryland stormwater design manual*, Maryland Department of the Environment: USA (www.mde.state.md.us)

OFEG (2001), *Protection contre les crues : plus d'espace pour les cours d'eau*, Office fédéral des eaux et de la géologie : Suisse (www.bwg.admin.ch)

OFEG (2002), *Protection contre les crues des cours d'eau*, Directive de l'office fédéral des eaux et de la géologie : Suisse (www.bwg.admin.ch)

PERSOONS E. (1996), *Sur le fonctionnement du lac de Louvain-la-Neuve lors des épisodes pluvieux exceptionnels du 28 et 29 août 1996*, GERU : UCL

STU (1991), *Réconcilier l'eau et la ville par la maîtrise des eaux pluviales*, Service Technique de l'Urbanisme : Paris

TRICOT J-M. (2003), *Lutte contre les inondations : enfin le bout du tunnel ?*, « Espace Vie » n°135, février 2003

VALIRON F. et TABUCHI JP (1992), *Maîtrise de la pollution urbaine en temps de pluie : étude de l'art*, Lavoisier Tec&Doc : Paris

E. YAKIMOWICH (2000), *Stormwater best management practices manual*, Comquest City of Chattanooga : Chattanooga

Changements climatiques

DEF (2002), *Belgium's third National Communication under the United Nations Framework Convention on Climate Change*, Ministère des affaires sociales, de la santé et du développement - Département Fédéral de l'Environnement : Bruxelles

DETR (1999), *Indications of climate changes in the UK*, Department of environmental, transport and regions : Grande-Bretagne (www.detr.gov.uk)

DUTCH GLOBAL CHANGE (2001), *effect of climate change on the hydrology of the Meuse*, Dutch National, Research Programme on Global Air Pollution and climate Change : Bilthoven

IPCC (2001), *Climate Change 2001 : Impacts, Vulnerability and adaptation*, Intergovernmental Panel on Climate Change (www.ipcc.ch)

SMITZ J. et al (2002), *Modélisation intégrée du cycle hydrologique dans un contexte de changements climatiques*, SSTC : Bruxelles

http://reports.eea.eu.int/technical_report_2003_95

Efficacité énergétique

INS (2003), *Chiffres-clés 2002. Aperçu statistique de la Belgique*, Ministère des Affaires économiques, Bruxelles, 48 p.

INS (2003), *Statistique et information économique. Enquête 1/10/2001*, Ministère des Affaires économiques, Bruxelles, Tableaux.

OCDE (2002), *Pour des bâtiments écologiquement viables. Enjeux et politiques*, Organisation de coopération et de développement économiques, Paris, 221 p.

Commission européenne (2001), *Proposition de directive du Parlement européen et du Conseil sur la performance énergétique des bâtiments*, COM(2001)226 final, Commission européenne, Bruxelles.

RUANO M. (1999), *Eco-urbanism. Sustainable Human Settlements : 60 case studies*, Ed. Gustavo Gili, Barcelona, 192 p.