

# Structuration du territoire pour répondre aux objectifs de réduction des émissions des gaz à effets de serre

Sébastien Dujardin, France-Laure Labeeuw,  
Eric Melin, François Pirart, Jacques Teller<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Lepur Université de Liège,  
1 Chemin des Chevreuils, B52, 4000 Liège 1. Belgique  
Jacques.Teller@ulg.ac.be

**Abstract.** Nous présentons ici une recherche relative à l'impact de la structuration du territoire sur les émissions de gaz à effets de serre (GES). Trois champs de variables ont été prospectés à cette fin : les variables territoriales bien sûr, mais également socio-économiques et technologiques. Celles-ci ont permis l'élaboration d'un cadastre énergétique des émissions dans deux domaines principaux de l'aménagement du territoire: la mobilité et le bâti. Il ressort de ces analyses que des gains d'émissions de GES appréciables sont envisageables à court et à long terme, notamment dans le domaine du bâti. Cependant, ils ne peuvent être interprétés sans une réflexion de nature territoriale. La Wallonie est de fait caractérisée par une forte périurbanisation combinée à un très faible recyclage du parc bâti. Ces caractéristiques structurelles du territoire imposent aujourd'hui de formuler des réponses adaptées à différents types d'urbanisation (urbain, rural, périurbain)

**Keywords:** aménagement du territoire, énergie, mobilité, résidentiel

## 1 Introduction

En vertu du protocole de Kyoto et de l'accord communautaire de « partage de la charge », la Belgique est tenue de réduire ses émissions de gaz à effet de serre de 7,5% par rapport à 1990, année de référence (Commission Nationale Climat, 2008). En 2006, les émissions de gaz à effet de serre en Belgique (sans l'UTMATF<sup>1</sup>: utilisation des terres, modification de l'affectation des terres et foresterie) s'élevaient au total à 137,0 millions de tonnes d'équivalents CO<sub>2</sub> (Mt eq. CO<sub>2</sub>), soit 6 % de moins que l'année de référence.

La protection du climat est toutefois de compétence régionale en Belgique. La Commission Nationale Climat assure la concertation et la coopération interne pour l'objectif de réduction de 7,5 % par rapport aux émissions de 1990 pour la période 2008-2012 suivant le protocole de Kyoto. En vertu de l'accord de coopération entre Régions de mars 2004, les réductions attendues au cours de la période 2008-2012 sont de 7,5 % pour la Région wallonne et respectivement, de 5,2 % pour la Région flamande et de - 3,475 % pour la Région bruxelloise.

---

<sup>1</sup> LULUCF: Land use, land use change and forestry

Les émissions de GES en Wallonie sont loin d'être favorables à la lutte contre le réchauffement climatique. Elles étaient, en 2007, de 13,3 tonnes éq CO<sub>2</sub>/an par habitant en Wallonie (SPW, 2010). A titre de comparaison, ces valeurs s'élevaient en 2008, chez nos voisins, à 11,7 tonnes éq CO<sub>2</sub>/an en Allemagne contre 8,5 en France et 12,6 aux Pays-Bas, pour une moyenne de 10,1 tonnes éq CO<sub>2</sub>/an par habitant à l'échelle de l'Union Européenne (CAIT, 2010). Les valeurs élevées observées en Région wallonne s'expliquent sans doute par une série de facteurs de nature économique, dont la présence d'activités industrielles fortement émettrices. Il apparaît cependant que l'on ne peut négliger les facteurs liés à la structure même du territoire régional, comme la présence d'un habitat dispersé et ancien ainsi qu'une croissance importante des émissions liées au secteur du transport routier (+ 31% entre 1990 et 2006), un phénomène pour partie lié à l'influence de pôles d'emploi localisés en dehors du territoire régional (CPDT, 2005).

La première prise en compte des enjeux climatiques intervient, en Wallonie, lors de l'adoption du Plan pour la maîtrise durable de l'énergie (PMDE). Ce plan adopté en 2003 fixait un certain nombre d'objectifs à l'horizon 2010. En 2009, un projet de révision du PMDE est établi avec l'élaboration de différents scénarios pour les horizons 2010, 2015 et 2020. Enfin, le Plan Air Climat, adopté en 2007, identifie 99 objectifs (ou mesures) à l'horizon 2020, dont les accords de branche avec l'industrie. Une série de mesures intégrées au Plan Air Climat concernent les acteurs du transport, des infrastructures et de l'aménagement du territoire. Remarquons toutefois que les actions spécifiques à l'aménagement du territoire proprement dit y étaient quasiment inexistantes, hormis une action portant sur la valorisation du patrimoine foncier ferroviaire par la prise en compte optimale des aspects énergétiques dans l'urbanisation des quartiers de gare.

La Région Wallonne a dès lors confié à la Conférence Permanente du Développement Territorial (CPDT) la mission d'analyser l'impact de la structuration du territoire sur les émissions de GES. Cette recherche, entamée en novembre 2009 et programmée sur deux ans, s'est rapidement centrée sur des questions de localisation des activités et des ménages ainsi que sur l'analyse des performances du parc de bâtiments résidentiels. Nous rejoignons ici la thèse de Susan Owens (1986) qui avançait, dès les années 1980, que les facteurs de structuration territoriale, s'ils sont peu susceptibles à eux seuls de produire des effets significatifs à court terme en matière de consommation énergétique, sont caractérisés par un faible degré de réversibilité et influencent de manière décisive les réponses techniques qui pourraient être avancées pour faire face à ces enjeux.

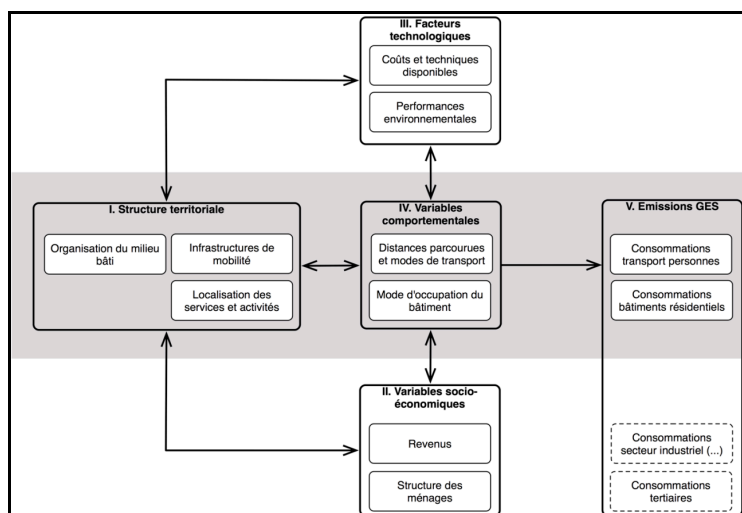
La méthodologie de la recherche est détaillée dans la section suivante et les résultats, à mi-parcours du projet, seront présentés et discutés dans les sections 3 à 5. Il ressort de cette première année de recherche que des gains d'émissions de GES appréciables sont envisageables dans le domaine des émissions liées à la mobilité et des consommations des bâtiments résidentiels, mais que ces dernières ne pourront être interprétées sans une réflexion de nature territoriale. La Wallonie est caractérisée de fait par une forte périurbanisation combinée à un très faible recyclage du parc bâti. Ces caractéristiques, structurelles, du territoire imposent aujourd'hui de formuler des réponses adaptées à différents milieux (urbain, rural, périurbain).

## 2 Méthodologie

La revue de la littérature scientifique a permis de mettre en évidence quatre grands types de variables qui interviennent dans la détermination des comportements de mobilité et d'habiter (figure 1) :

1. les formes d'organisation territoriale ;
2. les caractéristiques socioéconomiques ;
3. les facteurs technologiques ;
4. les comportements.

Ces variables interagissent entre elles et, ensemble, influencent les émissions de gaz à effet de serre. C'est sur ces interactions, au sein du territoire wallon, que se sont concentrées nos investigations au cours de cette première année de recherche. Notons que les variables technologiques et socio-économiques sont des facteurs jugés comme « externes », car des mesures d'aménagement du territoire ne peuvent les influencer de manière directe. Cependant, elles sont souvent identifiées comme des variables explicatives fortes et, par conséquent, doivent être prises en compte dans notre modèle d'analyse.



**Fig 1.** Modèle général de la démarche adoptée au cours de la recherche. La partie grisée correspond à l'axe central de la recherche ; les variables socio-économiques et les facteurs technologiques n'étant pas considérés ici comme des variables territoriales.

Nous nous intéressons en particulier aux relations entre structure territoriale et comportements de mobilité, et entre cette même structure et consommations énergétiques liées au bâti résidentiel. Les émissions du secteur industriel ne sont pas ici prises en compte étant donné que notre étude se focalise sur les secteurs sur lesquels l'aménagement du territoire a une emprise directe. Par ailleurs, notre souhait était de respecter une cohérence entre les choix de modélisation opérés dans les différents domaines et de partir d'une approche ascendante du problème, de manière à

permettre de tester des scénarii à une échelle assez fine lors de la deuxième année de recherche.

Aussi, pour les consommations bâtiments résidentiels, nous nous sommes basés sur une modélisation de l'enveloppe pour l'ensemble des bâtiments en Région wallonne, soit quelques 1.000.000 bâtiments sur les 1.300.000 bâtiments recensés en Wallonie. Cette modélisation a été élaborée à partir de données cadastrales et de photogrammétrie aérienne (Plan Informatique de Cartographie Continue). La base de données que nous avons constituée reprend ainsi, pour chaque bâtiment, sa localisation (secteur statistique), sa date de construction, son emprise au sol, sa hauteur ainsi que son pourcentage de mitoyenneté. Les caractéristiques techniques de l'enveloppe sont inférées sur base de l'âge du logement, en nous basant sur trois sources principales : le volet logement de l'enquête socio-économique 2001 et l'enquête qualité du logement réalisée par la Région Wallonne en 2006 complétée par des savoirs d'expert. Cette approche est semblable à celle adoptée par Maizia (2008) et Marique (2010) dans le cadre de leur analyse des performances énergétiques du parc bâti résidentiel. L'estimation des besoins de chauffage est basée sur la méthode du BE500 (Uyttenbroeck, 1984). Cette méthode de calcul nous permet de prendre en compte les variables climatiques et les apports internes et solaires.

Pour les consommations liées à la mobilité, nous nous sommes basés sur les données de l'enquête socio-économique 2001, relatives aux déplacements domicile-travail. Ces données ont été collectées au niveau de l'individu dans le cadre de cette enquête. Elles nous fournissent, pour les déplacements domicile-travail, le lieu de départ et d'arrivée, la distance parcourue et la combinaison des modes de transports utilisés. Nous avons calculé sur cette base l'indice de performance énergétique des mobilités domicile-travail à l'échelle des secteurs statistiques, un indice déjà appliqué par Boussauw et Witlox (2009) au territoire de la Flandre. Il est basé sur les distances parcourues, le mode de transport principal et les émissions spécifiques des différents modes de transport.

Les variables technologiques sont, à ce stade, mobilisées pour déterminer les émissions de CO<sub>2</sub> liées à un type de consommation énergétique particulier. Pour les déplacements domicile-travail, nous avons dû estimer les consommations énergétiques et les émissions de CO<sub>2</sub> moyennes globales par km parcouru et par passager en fonction des différents modes de transport. D'autre part, nous avons ramené les émissions par individu et par kilomètre parcouru sur base des données de mobilité du SPF Mobilité (2008) et de l'IWEPS (2007). Cette manière de procéder est, on le sait, plutôt défavorable aux centres urbains denses, en particulier pour ce qui concerne les émissions spécifiques liées aux transports en bus étant donné que le taux de remplissage y est plus important. Ceci est susceptible de faire baisser significativement les émissions par km parcouru et par passager.

Pour les besoins énergétiques du bâtiment, nous nous sommes référés aux données de l'ADEME (2007) pour déterminer les émissions de GES de différents vecteurs de chauffage (gasoil de chauffage, gaz naturel, GPL et électricité), en tenant compte de facteurs de conversion et de leurs incertitudes.

L'ensemble des données relatives aux performances technologiques sont appliquées aux consommations actuelles et passées. Différents scénarios tendanciels, tels que des gains potentiels liés à l'installation de réseaux de chaleur ou

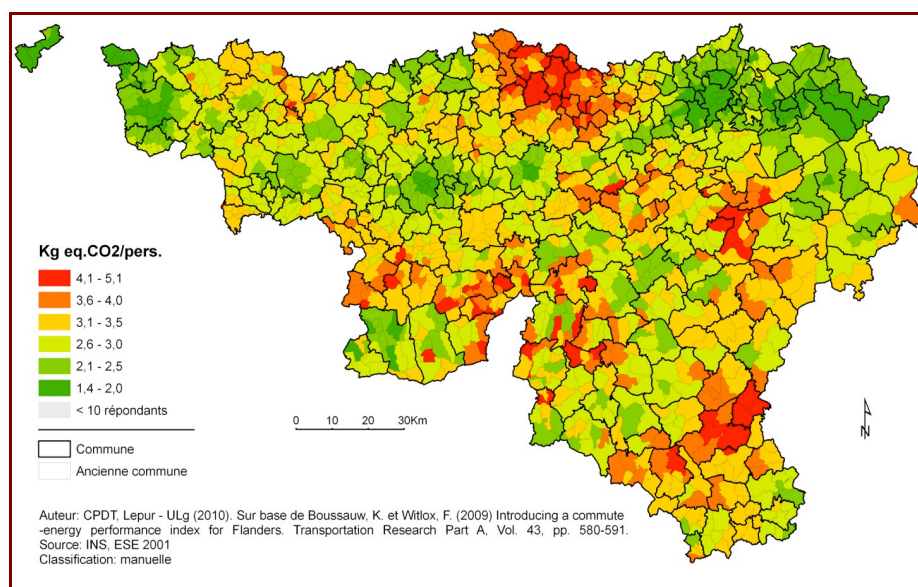
l'amélioration des performances environnementales des véhicules ou des systèmes de chauffage, devront être examinés au cours de l'année prochaine.

Enfin, les variables socio-économiques concernent principalement les revenus et la structure des ménages. Une part importante de la variation des comportements de mobilité peut être expliquée par ces facteurs (Pouyanne, 2004). Ainsi, Stead (2001) souligne que les déterminants socioéconomiques des comportements de mobilité sont plus importants que ceux de l'occupation du sol, comptant pour 21 % à 58 % de la variation des distances parcourues.

### 3 Emissions de CO<sub>2</sub> et consommations énergétiques liées aux déplacements domicile-travail

#### 3.2 Analyse de la situation actuelle

A l'échelle régionale (figure 2), on observe de bonnes performances dans les communes les plus peuplées de Wallonie. C'est essentiellement dans l'ancien sillon industriel que les déplacements domicile-travail sont les moins émetteurs de GES.



**Fig 2.** Emissions de GES moyennes des déplacements domicile-travail en Wallonie par ancienne commune (2001). Nous avons choisi dans le cadre de cet article de présenter l'ensemble des résultats cartographiques à l'échelle des anciennes communes.

Parmi les 20 communes les plus performantes, sept appartiennent à l'agglomération liégeoise. De faibles émissions par actif s'observent également dans les pôles secondaires du sud du sillon et au sud-ouest de la périphérie bruxelloise.

Les communes qui accusent les moins bonnes performances énergétiques sont en général situées dans les espaces « périphériques » ou « ruraux », souvent moins peuplés, de la Wallonie. Parmi les 20 communes où les déplacements domicile-travail génèrent le plus d'émissions par travailleur, un premier regroupement de 12 communes fortement émettrices de GES s'observe en périphérie sud-est de Bruxelles à la limite entre le Brabant wallon, la province de Liège et celle de Namur. Dans ces communes, un très grand nombre d'habitants font de longues distances en voiture pour aller travailler. Dans la province du Luxembourg, un ensemble de communes situées dans l'orbite de Luxembourg-Ville se démarquent clairement en termes d'émissions. Elles se situent généralement à une distance importante de la capitale Grand-Ducal ainsi que des petits pôles urbains du sud de l'Ardenne et de la Lorraine.

Une telle répartition spatiale des performances laisse présager l'importance de l'occupation du sol (y compris la densité de population et d'emploi) dans l'explication des déplacements des actifs. L'éloignement relatif du lieu de résidence par rapport aux pôles d'emplois majeurs tels que Bruxelles, Liège, Namur, Charleroi et Luxembourg crée des « effets auréolaires » bien marqués à l'échelle régionale. Plus on s'écarte des grandes villes, plus les émissions de GES par navetteur ont tendance à augmenter. L'analyse à l'échelle des secteurs statistiques montre que, dans une moindre mesure, cet effet se produit également à l'échelle locale. Si dans certains cas, cet effet de réduction locale de l'indice à proximité immédiate d'un petit pôle urbain est limité (surtout dans le Brabant Wallon et à proximité des grandes villes wallonnes), en Ardenne, ce gradient est beaucoup plus marqué.

Cependant, à l'influence de la densité de population et d'emploi s'ajoute l'influence de la proximité à l'offre ferroviaire et à la fréquence qui l'accompagne.

Un « effet frontière », ou plus exactement un effet « frontière linguistique » est également à envisager dans l'interprétation du cadastre énergétique des déplacements domicile-travail. Le fait d'aller chercher un travail de l'autre côté de la frontière peut s'avérer parfois difficile pour des raisons administratives ou linguistiques, ce qui induit une certaine réticence aux longs déplacements. Les travailleurs ont donc tendance à trouver du travail localement, et donc parcourent de moins longues distances.

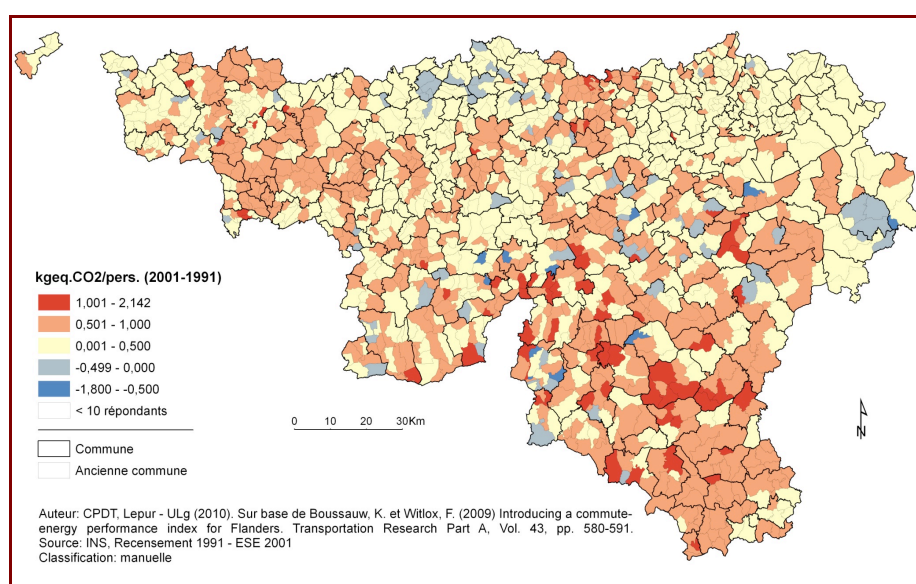
Par ailleurs, l'interprétation des performances des déplacements domicile-travail passe également par la prise en compte de variables socio-économiques. Dans le cas de la Corbeille de Namur par exemple, les navetteurs du quartier nord-est des « Casernes » émettent 2,3 kgeq.CO<sub>2</sub>/pers. alors que les navetteurs des autres quartiers émettent 25% de GES en moins en moyenne (1,7 kgeq.CO<sub>2</sub>/pers.). Cependant, la part modale de la voiture et les distances parcourues élevées de ces actifs ne peut s'expliquer par une différence en termes d'infrastructure de mobilité et de densité de population et d'emploi qui sont relativement similaires dans l'hyper-centre namurois. Les revenus et le nombre de voitures par ménages sont visiblement également à prendre en compte dans ce cas.

### **3.2 Evolution 1991 – 2001**

Le calcul de l'indice pour la Wallonie en 1991 et 2001 montre que la tendance globale est à la hausse. L'indice est passé d'une moyenne de 2,1 à 2,5 kg de CO<sub>2</sub>

équivalent par personne et par déplacement. En comparaison avec 1991, les navetteurs ont donc émis en moyenne 0,426 kg eq. CO<sub>2</sub>/pers supplémentaires en 2001, soit une augmentation de 20,6% sur 10 ans.

A l'échelle des communes, l'indice de performance évolue également de manière positive sur la quasi-totalité du territoire. Sur les 20 communes ayant connu les plus fortes augmentations, 18 sont situées en Province de Luxembourg. Il s'agit systématiquement de communes ayant connu une forte croissance des travailleurs transfrontaliers se rendant au Grand Duché durant la période de 1991 et 2001. De plus, les 8 communes ayant connu les croissances les plus fortes (pouvant aller jusqu'à 920 g eq. CO<sub>2</sub>/pers.) sont toutes situées entre 40 et 70 km de Luxembourg-Ville.



**Fig 3.** Evolution 1991-2001 des émissions de GES liées aux déplacements domicile-travail en Wallonie par ancienne commune

On observe également des diminutions qui laissent transparaître des changements dans les comportements de mobilité des navetteurs entre 1991 à 2001. Sur les 20 communes ayant connu la croissance la plus faible, 14 sont situées dans le Brabant wallon. Les 6 autres sont situées dans la Province de Liège, dont trois dans la Communauté germanophone.

Une comparaison des résultats obtenus pour 1991 et 2001 par ancienne commune met en évidence une augmentation et une diffusion spatiale généralisée sur l'ensemble du territoire wallon des valeurs élevées d'émissions de GES liées aux déplacements domicile-travail. Entre 1991 et 2001, les zones émettrices de moins de 2,0 kg d'équivalent CO<sub>2</sub> par personne et par trajet se sont fortement réduites. A l'opposé, les zones émettant plus de 4,0 kg de CO<sub>2</sub> équivalent se sont multipliées et étendues en 2001. Par rapport à 1991, les émissions ont augmenté dans la majorité des anciennes communes en 2001 (figure 3). Les zones qui accusent des augmentations importantes

sont principalement concentrées dans la province du Hainaut, de Namur et du Luxembourg avec généralement des augmentations des émissions allant de 0,5 kg eq. CO<sub>2</sub>/pers. à 1,0 kg eq. CO<sub>2</sub>/pers. supplémentaires. Dans le sud de la Wallonie, les émissions de GES augmentent jusqu'à 2,2 kg eq. CO<sub>2</sub> supplémentaires par navetteur et par trajet. A l'opposé, les zones où s'observent les augmentations les plus faibles (de 0 à 0,5 kg eq.CO<sub>2</sub>/pers.) se concentrent dans la province de Liège et le Brabant wallon.

Une telle évolution des émissions est attribuable principalement à l'augmentation des distances parcourues, elles-mêmes dictées par deux phénomènes étroitement liés que sont la périurbanisation et la métropolisation. Dans le cas de la province du Luxembourg, le pouvoir d'attraction du Grand-duché du Luxembourg et les prix plus élevés des terrains dans ce pays ont pour conséquence qu'un nombre sans cesse croissant de communes éloignées de la frontière accueillent la résidence d'un nombre important de personnes travaillant au Luxembourg (Vanneste, 2007). En effet, elles possèdent en général de bien plus grandes disponibilités foncières en zone d'habitat et les niveaux de prix des terrains y sont plus bas. Ceci explique leurs fortes croissances démographiques, l'augmentation des distances parcourues par les actifs étant donné que peu d'emploi local existe et, par conséquent, la forte augmentation des émissions de GES dans cette partie de la Wallonie. Le même phénomène s'observe également autour de Bruxelles et dans les communes de l'ouest de la province de Liège. Une telle déconcentration de l'habitat couplée à une concentration de l'emploi à l'échelle inter-urbaine a tendance à augmenter les distances parcourues pour les déplacements domicile-travail ainsi que les émissions de GES.

Cependant, lorsque la déconcentration de l'habitat est couplée à une concentration de l'emploi, les distances parcourues augmentent plus faiblement, et peuvent même décroître. C'est le cas notamment dans la province du Brabant wallon. Les communes de cette province très proches de Bruxelles ont en effet connu durant la période 1991-2001 une diminution des flux sortants (c'est-à-dire en réalité des flux vers Bruxelles et vers sa périphérie flamande). Cette tendance s'observe sur un espace centré sur Wavre et Ottignies-Louvain-la-Neuve, où l'on assiste à un développement économique important. Pour autant que cela s'opère à proximité immédiate de (petits) pôles urbains ou de gros bourgs ruraux qui comptent un grand volume de travailleurs effectuant de longs trajets de déplacements, le développement de l'emploi bénéficiant à la population locale, peut donc parfois localement contribuer à limiter la longueur des navettes, et donc les émissions de GES liés aux déplacements des travailleurs.

## **4. Emissions de CO<sub>2</sub> et consommations énergétiques liées au parc bâti résidentiel**

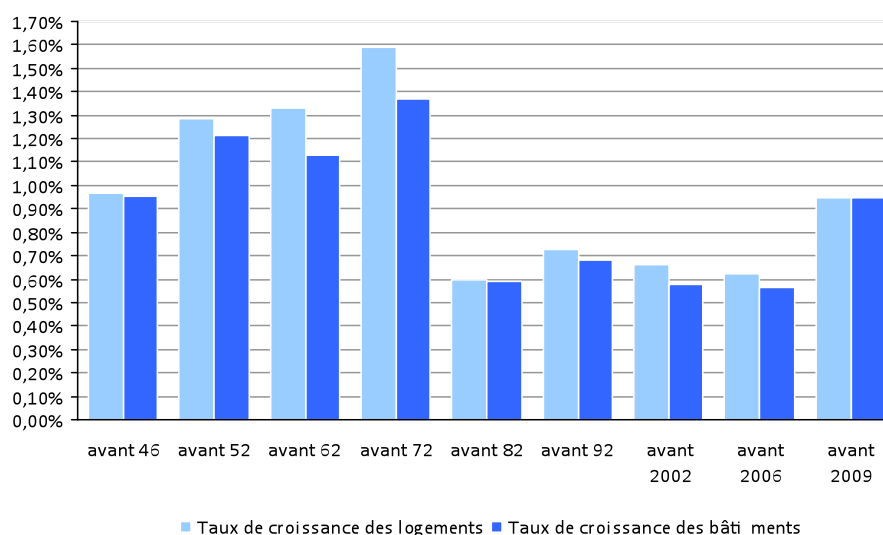
### **4.1 Caractérisation du parc bâti résidentiel**

Avant d'entrer dans l'analyse des émissions de CO<sub>2</sub> liées au chauffage résidentiel, il convient de souligner que le parc de logements wallons (résidence principale) apparaît



comme particulièrement ancien : plus de 50 % des logements datent d'avant 1945, 86,6 % des logements sont antérieurs à la mise en application de la première réglementation thermique (1985), 91,7 % à la seconde (1996). Deux facteurs concourent à expliquer cette situation : le développement du parc bâti au cours de la période industrielle combiné à l'extension périurbaine et au faible taux de renouvellement dans les années d'après-guerre (peu d'opérations de destruction reconstruction à l'échelle de la Wallonie).

Les secteurs statistiques présentant le plus fort taux de logements construits avant 1945 se situent de manière prépondérante dans l'ouest de la région ; les centres anciens des bourgs et des villes ressortent également. Ce parc ancien est constitué principalement de maisons unifamiliales, qui peuvent avoir été divisées dans les périodes postérieures. De façon générale, le parc résidentiel wallon est composé à plus de 80 % de maisons unifamiliales.



**Fig 4.** Taux d'accroissement du parc de logement et du parc de bâtiment en Wallonie depuis 1945. Source : Information cadastrale.

On observe par ailleurs une forte cassure dans la dynamique d'accroissement du parc (figure 4). Après le boom économique de l'après-guerre, et la crise énergétique des années septante, le taux annuel d'accroissement du parc de logement chute de plus de 50 % (1,60 % en 1971 et 0,60 % en 1981), pour se stabiliser autour des 0,65 % jusqu'à 2005.

L'écart entre le taux de croissance du parc de bâtiments et celui des logements se creuse entre 1952 et 1972. Cette tendance peut être expliquée par deux phénomènes : soit la division de nombreuses maisons unifamiliales urbaines en plusieurs logements, soit une construction neuve marquée par des bâtiments collectifs. Dans les trente dernières années, le taux d'accroissement du parc de bâtiments et de logements évolue de manière semblable avec peu d'écart, ce qui souligne la permanence de l'hégémonie de la maison unifamiliale dans le patrimoine wallon.

Nous pouvons dès lors réaliser une première projection pour le taux d'accroissement du parc de bâtiment entre 2009 et 2050 sur base de trois hypothèses de croissance : 0,5 %, 0,75 % et 1 %. L'hypothèse des 1 % de croissance annuelle du parc est une projection très optimiste. En effet ces taux n'ont été mesurés en Wallonie qu'entre les années 50 à 70. Dans la première hypothèse (taux de 0,5 %), les bâtiments d'ores et déjà construits représenteront un peu plus de 80 % du parc de 2050. Ce chiffre se tasse à 73,7 % pour un taux de croissance de 0,75 % et à 66,5 % pour un taux de croissance de 1 %. Ces estimations intègrent le taux de renouvellement du parc de bâtiments existants en appliquant une hypothèse identique au taux de renouvellement des logements, soit 0,12 %. On mesure ici nettement le poids considérable du parc existant même à une projection à horizon quarante ans.

L'analyse du taux de mitoyenneté par classe d'âge révèle par ailleurs une très forte représentation des trois dernières périodes constructives dans le volume des bâtiments implantés de manière isolée : 64 % des bâtiments construits entre 1971 et 1985, 86 % des bâtiments construits entre 1986 et 1996 et enfin 82 % de ceux construits après 1996 sont isolés. L'implantation en bâti isolé est susceptible d'avoir de lourdes conséquences en termes de consommation énergétique sur les bâtiments peu performants thermiquement. C'est le cas ici des bâtiments construits avant la mise en œuvre de la réglementation thermique de 1984. Soulignons toutefois que l'implantation en ordre dispersé n'est pas une caractéristique récente en Wallonie, bien qu'elle semble s'être généralisée depuis 1986. On observe ainsi une représentation de près de 30 % des bâtiments construits avant 1945 dans le volume global des bâtiments implantés de manière isolée et de plus de 40 % pour les bâtiments construits avant 1971.

#### **4.2 Analyse des consommations bâtiments**

Il n'est pas surprenant, au vu de ces caractéristiques, que les consommations énergétiques des bâtiments, ramenées au m<sup>2</sup> de plancher, soient relativement élevées en Wallonie. Sur base des données en notre possession aujourd'hui, on calcule une consommation moyenne de 350 kWh/m<sup>2</sup>.an pour l'ensemble du parc bâti résidentiel. Cette valeur est nettement supérieure à la moyenne calculée sur base des chiffres de l'ICEDD, soit 286 kWh/m<sup>2</sup>.an en 2008 (ICEDD, 2008). La différence entre les deux valeurs est liée d'une part à des considérations méthodologiques. D'autre part, nous considérons de manière conventionnelle que l'ensemble du parc de logements est chauffé pendant toute la période de jour et pour toute la surface de plancher du logement (chambres et espaces secondaires compris). Cette hypothèse, bien que non réelle, est indispensable à une analyse des variables territoriales susceptibles d'influencer ces consommations. Enfin, l'écart entre les deux résultats peut aussi être lié aux phénomènes climatiques : les degrés jours pour 2008 étaient assez faibles par rapport aux degrés-jours normalisés (2084 en DJ 15/15 à Uccle contre 1829 en 2008, soit un écart avoisinant les 10%).

Lorsque l'on s'intéresse aux consommations des bâtiments selon différentes classes d'âge (tableau 1), il apparaît que la moyenne des consommations décroît naturellement avec l'âge, mais que cette décroissance masque une forte variation, en particulier pour le stock avant 1945. L'écart type observé pour cette classe d'âge est le

plus important : 163 kWh/m<sup>2</sup>. Cet écart type est lié aux différences de performances entre les bâtiments avant 1945 mitoyens (en milieu urbain) et non mitoyens (dispersés). La valeur moyenne pour l'ensemble du parc (365 kWh/m<sup>2</sup>) se rapproche de celle du parc construit avant 1945 en raison de la masse de bâtiments datant d'avant 1945 qui compose ce stock (plus de 50 %).

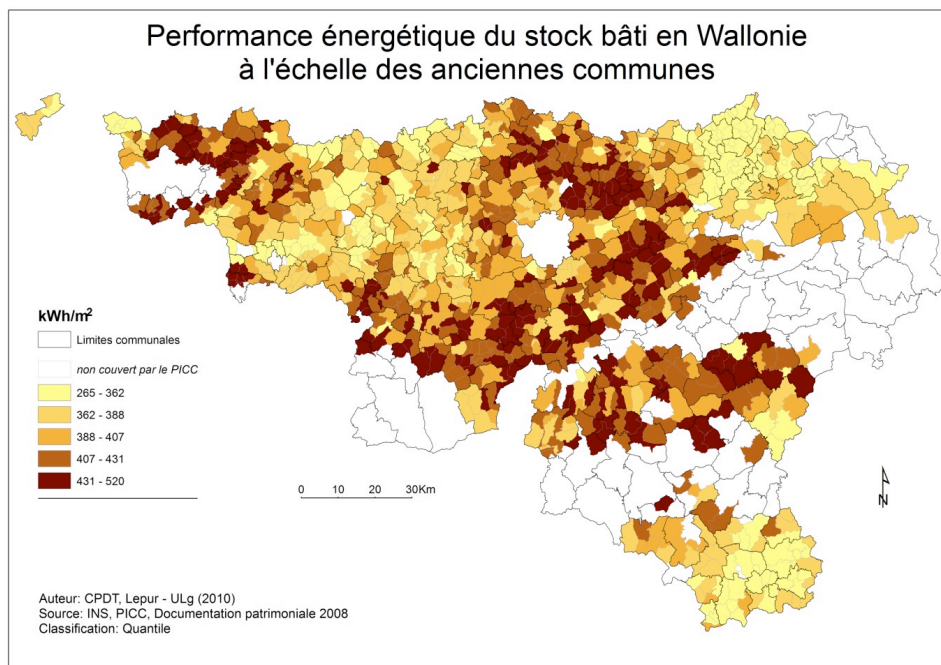
	Moyenne (kWh/m <sup>2</sup> )	Ecart Type (kWh/m <sup>2</sup> )
<1945	407,8	163,4
1945-1970	343,7	81,9
1971-1985	328,5	90,7
1986-1996	203,8	35,8
>1996	172,3	40,2

**Tab 1.** IPE des bâtiments par classe d'âge. Consommations énergétiques finales unitaires moyennes par mètre carré suivant l'âge du bâti.

La cartographie des performances énergétiques des bâtiments (figure 5) vient confirmer cette affirmation. On observe ainsi une forte variation de l'indice des performances énergétiques du stock bâti suivant les différentes sous régions de la Wallonie. Les centres urbains ressortent ici avec un bon indice IPE malgré l'ancienneté du stock. Ces bons résultats peuvent être imputés à la grande compacité des bâtiments et au fort taux de mitoyenneté. A quelques exceptions près, les noyaux urbains historiques apparaissent donc clairement comme les plus performants en terme de consommation énergétique, lorsque l'on compare avec les espaces périurbains et les noyaux villageois. Seules quelques zones de développement récent, comme certaines communes du Brabant Wallon, peuvent leur être comparées.

L'agglomération liégeoise est caractérisée par un IPE particulièrement bon, y compris pour les quartiers centraux assez âgés. Ceci s'explique par les facteurs précités ainsi que par les conditions climatiques de cette zone dans laquelle les degrés-jours normalisés sont significativement inférieurs à la moyenne régionale (2.016 DJ 15/15 à Liège contre 2.380 en moyenne régionale, 2.084 à Uccle et 2.832 à Libramont).

Au sud du sillon Sambre et Meuse et au nord du Luxembourg, les performances sont moins bonnes. Pour la première zone, ces résultats peuvent être expliqués en partie par l'ancienneté du bâti et le faible taux de mitoyenneté. Pour la seconde, l'âge moins élevé du parc ne semble pas compenser l'impact de la dispersion des bâtiments. Dans les deux cas, le climat est un facteur fortement impactant : les températures extérieures sont plus rudes que dans le reste de la région. Le Hainaut affiche de grandes variations dans les indices de performances énergétiques, mais de manière générale, l'IPE des bâtiments y est en général moins bon que dans les centres anciens. Ceci s'explique par les caractéristiques du parc bâti résidentiel de cette sous-région, composé en majorité de maisons datant d'avant 1945 implantées en ordre dispersé.



**Fig 5.** Cartographie des performances énergétiques finales par an par m<sup>2</sup> chauffé, par ancienne commune, région wallonne. Les zones blanches ne sont pas couvertes par le PICC et n'ont donc pas pu être prises en compte dans le modèle.

Si l'on s'intéressait maintenant aux consommations finales globales, la carte s'en trouverait évidemment inversée. Les pôles urbains affichent en effet de fortes consommations globales en raison de la concentration importante du volume de surfaces à chauffer. Cette concentration et les bons indices IPE dont elles bénéficient font de ces zones des sites potentiellement intéressants pour le développement des réseaux de chaleur. La partie ouest du Brabant wallon, qui présente un bon indice IPE (stock bâti récent, densification en court), affiche des consommations finales globales élevées. Celles-ci sont principalement dues à la grande quantité de surfaces chauffée.

## 5. Structuration du territoire et consommations énergétiques

Les deux sections précédentes ont mis en évidence une série de relations entre structure du territoire et, d'une part, les dépenses énergétiques liées aux comportements de mobilité et, d'autre part, les besoins d'énergie dans le parc bâti résidentiel. Ces deux cadastres énergétiques ont été réalisés à l'échelle la plus fine possible, pour nous permettre d'identifier de manière précise quelles sont les variables structurantes qui influencent les émissions de CO<sub>2</sub>.

Ces relations ont ensuite été formalisées à travers une analyse statistique, basée sur une étude de corrélation bivariée entre variables territoriales et nos indices de

performance énergétiques. Les variables territoriales suivantes ont été retenues en première analyse : la densité (exprimée sous forme de densité brute et nette), l'accessibilité au réseau de mobilité (train, bus et routier) et la mixité des fonctions à l'échelle locale. Ces analyses ont ensuite été complétées par des croisements entre indices de performances énergétiques et variables socio-économiques afin de mesurer le poids de ce facteur « externe » dans l'explication des comportements observés. Nous ne reprenons ici que les conclusions principales de ces analyses et renvoyons le lecteur au rapport final de la première année de recherche pour une discussion plus approfondie.

### 5.1. Accessibilité au réseau de mobilité

Les variables d'accessibilité au réseau des transports en commun ont été construites sur base d'une analyse spatiale entre les logements et les arrêts de bus et de trains tenant compte des fréquences de passage en ces points. Pour ce qui est du réseau routier, nous nous sommes basés sur une quantification de l'offre en voirie par secteur statistique ainsi que sur la proximité par rapport aux principaux noeuds du réseau.

Il apparaît, à ce stade, que les variables d'accessibilité au réseau de train et de bus sont de loin les plus structurantes en terme de consommations énergétiques de mobilité (tableau 2).

	Accessibilité en train	Accessibilité au bus	Distance au réseau structurant	Densité nette de voirie
IPE (kg éq CO <sub>2</sub> /trajet)	-,443**	-,426**	,299**	,373**
Moyenne des km/trajet	-	-,387**	,248**	,272**
Part modale voiture	-	-,482**	,183**	,393**
Part modale moto/scooter	-	-	-,027	-,146**
Part modale bus/tram/métro	-	,732**	-,245**	-,299**
Part modale train	,349**	-	-,149**	-,293**
Part modale vélo	-	-	-,011	-,158**
Part modale marche	-	,354**	,057*	-,013

**Tab 2.** Test de corrélation entre indicateurs d'accessibilité et variables de mobilité. (\*\*) La corrélation est significative à 0.01 (2-tailed).

Ceci s'explique par les performances énergétiques relatives de ces modes de transport, mais également par la structure même du réseau routier wallon extrêmement dense sur l'ensemble du territoire. En moyenne, nous avons estimé que les bâtiments résidentiels étaient localisés à une distance euclidienne de 3,8 km d'une liaison avec une route importante. L'indicateur d'accessibilité au réseau des TEC, intégrant distance des habitations et fréquence de passage aux arrêts, présente un coefficient de corrélation positif assez élevé de 0,732 avec la part modale bus/tram/métro. Il s'agit du coefficient de corrélation le plus élevé entre une variable explicative et une variable comportementale.

## 5.2 Densité et mixité urbaine

De nombreux chercheurs se sont penchés sur la relation entre densité urbaine et consommations énergétiques depuis les travaux de Newman et Kenworthy (1999). Fouchier (1997) a par exemple mis en évidence l'intérêt de travailler sur base de densités nettes (rapportées aux superficies urbanisées) plutôt que sur base de densités brutes. Il a proposé un indicateur d'activité humaine nette (DAHN), qui intègre le nombre d'habitants et d'emplois. Il ressort de nos analyses que les densités nettes sont de fait toujours mieux adaptées que les densités brutes pour l'interprétation des comportements de mobilité ainsi qu'à l'analyse des besoins de chauffage. La densité d'activités humaines nettes permet des analyses plus fines que les seules densités de logements ou de population, dans la mesure où l'on observe une substitution du logement par de l'activité dans les noyaux bien desservis par les transports en commun (tableau 3).

	Densité de logements nette	Densité de population nette	DAHN	Mixité fonctionnelle nette
IPE mobilité (kg éq CO <sub>2</sub> /trajet)	-,432**	-,470**	-,483**	-,504**
IPE bâti (KWh / m <sup>2</sup> plancher)	-,547**	-,585**	-,603**	-,545**

**Tab 3.** Test de corrélation entre indicateurs de densité et de mixité et indices de performance énergétiques. (\*\*) La corrélation est significative à 0.01 (2-tailed).

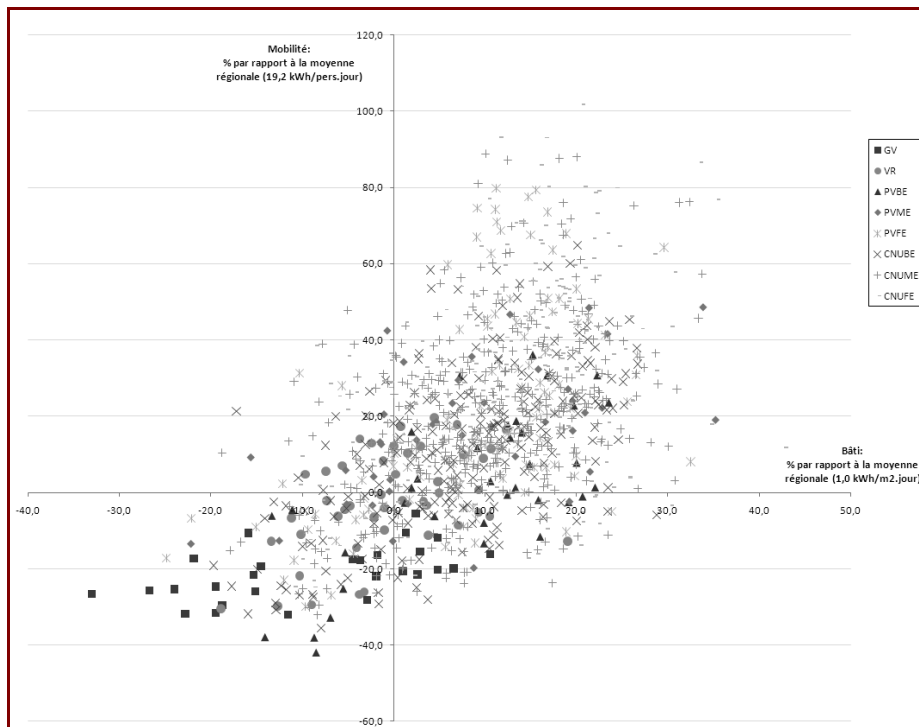
Il ressort toutefois de nos premières analyses que l'IPE mobilité est davantage corrélé à la mixité qu'à la densité urbaine (tableau 3). La mixité a ici été calculée sur base de l'application d'un indicateur de « richesse relative », tiré de Forman (1995), aux différents types d'usages du sol que l'on retrouve dans une maille de 10 m de côté. Cet indicateur de mixité fonctionnelle met clairement en évidence les grandes villes et les vastes zones fortement urbanisées du sillon industriel. Cependant, ce n'est pas nécessairement dans les grandes villes qu'on retrouve une mixité des fonctions maximale ; les centres des petites villes relativement compactes affichent des scores très élevés. On peut même faire remarquer que certains petits villages du monde rural sont assez mixtes.

Cette proposition s'inverse pour l'IPE des bâtiments, qui, logiquement, est mieux corrélé avec les densités d'activité humaines nettes qu'avec la mixité. Ceci s'explique par la liaison sous-jacente entre densité d'activité humaine nette et compacité du bâti, un facteur déterminant dans le cadre des consommations énergétiques du parc bâti résidentiel (cf. section 4). Cet indicateur permet d'expliquer les variations que nous avons relevées à l'intérieur du parc de bâti résidentiel d'avant 1945.

## 5.3 Croisement IPE bâti versus IPE mobilité

La figure 6 compare l'énergie journalière dépensée pour les déplacements domicile-travail et pour le chauffage du bâti résidentiel en Wallonie à l'échelle des anciennes communes. L'énergie dépensée pour les déplacements des actifs est exprimée en kWh

par navetteur et par jour. Elle tient compte du mode de transport utilisé (voiture, moto/scooter, bus et métro, train, vélo, marche à pied) et de la distance moyenne parcourue lors de chaque trajet. L'énergie consommée pour le bâti est exprimée en kWh par m<sup>2</sup> de plancher. Afin de pouvoir comparer ces deux unités de mesures différentes, nous avons calculé l'écart à la moyenne régionale en pourcent. Ainsi, dans le troisième quadrant du graphique (coin inférieur gauche) se trouvent les anciennes communes jugées globalement comme performantes à la fois en termes de mobilité et de bâti. Inversement, les communes peu performantes se situent dans le quadrant supérieur droit. Les résidents de ces anciennes communes consomment davantage d'énergie à la fois pour se chauffer et pour se déplacer comparé à la moyenne régionale. Les anciennes communes sont classées selon le découpage territorial de la hiérarchie des communes de Van Hecke (1998). De cette manière, les anciennes communes appartenant à des régions « urbaines » peuvent être comparées aux communes plus « rurales ».



**Fig 6.** Croisement des performances énergétiques des déplacements domicile-travail et du bâti selon la hiérarchie des communes de Van Hecke (1998). GV= Grande ville ; VR = Ville régionale; PVBE = Petite ville bien équipée ; PVME = Petite ville moyennement équipée ; PVFE = Petite ville faiblement équipée ; CNUBE = Commune non urbaine bien équipée ; CNUME = Commune non urbaine moyennement équipée ; CNUFE = Commune non urbaine faiblement équipée

Une lecture du graphique par type d'entité met en évidence la bonne performance relative des entités à caractère urbain. Les anciennes communes de grandes villes et la

majorité des anciennes communes de villes régionales se caractérisent par une faible consommation énergétique à la fois pour se déplacer et pour se chauffer. Cependant, en ce qui concerne le bâti, certaines anciennes communes appartenant à la commune de Charleroi dépensent plus d'énergie par m<sup>2</sup> de plancher que la moyenne régionale. Par ailleurs, ce sont les habitants des anciennes communes du centre de Liège et de Charleroi qui dépensent le moins d'énergie pour se chauffer.

A l'opposé, les communes à caractère rural (non urbaines) sont caractérisées par des dépenses énergétiques supérieures à la moyenne pour se rendre au travail et pour se chauffer. En ce qui concerne ce dernier poste, parmi les trente anciennes communes les plus consommatrices, plus de la moitié sont issues des Provinces de Namur et de Luxembourg. En ce qui concerne la mobilité, bon nombre d'anciennes communes rurales fortement énergivores se situent à l'est de la Province du Brabant Wallon. Notons cependant que bon nombre d'anciennes communes appartenant à des régions non urbaines se situent au même rang que celles de grandes villes et de villes régionales peu consommatrices d'énergie.

Soulignons enfin que l'ensemble des types d'entité est représenté dans le quadrant inférieur gauche. On voit ressortir assez nettement une série d'anciennes communes appartenant à la catégorie des communes non urbaines bien équipées dans cette partie du graphique, ce qui vient encore confirmer l'importance de la mixité fonctionnelle déjà mise en avant dans la section 5.2. Il devrait donc être possible d'envisager des scénarios de structuration du territoire adaptés aux caractéristiques des différents milieux en Wallonie, qu'il s'agisse de milieux plus ruraux ou urbains. Il s'agit sans nul doute de la conclusion principale de cette première année de recherche tant il paraît peu réaliste de transposer tel quel le modèle de la ville compacte à l'ensemble du territoire régional. Le lecteur pourra se référer à ce sujet aux travaux de Breheny (1995) pour le Royaume-Uni.

## **6. Conclusions**

Nous avons cherché à mettre en évidence les relations entre structure du territoire et émissions de GES. La posture de base que nous défendons dans le cadre de cette recherche est que la structure territoriale est d'abord caractérisée par une très grande inertie. Elle n'évolue que sur des périodes assez longues et nous sommes aujourd'hui tributaires de dynamiques qui se sont implantées au cours de la période industrielle et dans l'immédiat après-guerre. De ce point de vue, la structure territoriale de la Wallonie est avant tout caractérisée par une dispersion importante des pôles d'habitat, d'activités économiques et de services ainsi que par un parc de bâtiments qui a somme toute peu évolué au cours des trente dernières années malgré les efforts consentis par la Région Wallonne en terme de primes à l'isolation et de rénovation urbaine depuis le premier choc énergétique.

Il apparaît essentiel d'envisager aujourd'hui de nouvelles pistes d'action dans ce domaine ainsi que dans celui de la mobilité des personnes si les objectifs affichés par la Région en terme de réduction des émissions de GES à l'horizon 2050 doivent être respectés. Parmi ces mesures, les facteurs relevant de l'aménagement du territoire ont retenu toute notre attention. Si une partie des difficultés auxquelles nous sommes



confrontés aujourd'hui sont intimement liées à des facteurs hérités, il est bien entendu que, réciproquement, les modes d'urbanisation que nous défendrons dans les années à venir sont eux-mêmes susceptibles de conditionner notre capacité à répondre aux défis climatiques à long terme.

Dans cet esprit, nous défendons une approche prospective pragmatique, basée sur une connaissance fine des différents types d'urbanisation que l'on retrouve sur notre territoire. Nous avons montré à quel point, en raison de la variabilité intrinsèque des résultats observés, il existait toujours des situations beaucoup plus performantes que les moyennes actuelles pour chaque type étudié (rural, périurbain, urbain), dans les différentes sous-régions du territoire. En d'autres termes, certaines pistes de solutions pour répondre aux défis climatiques à l'horizon 2050 sont sans doute déjà là sous nos yeux. Une telle approche nous démarque clairement d'un discours de transformation radicale, inspiré de modèles théoriques mal adaptés à la réalité de notre territoire. Encore faut-il bien mesurer les enjeux liés à une généralisation des performances environnementales des cibles que nous retiendrons. Ce sera là tout l'enjeu de la deuxième année de recherche.

## Références

- ADEME (2007). *Guide des facteurs d'émissions. Version 5.0*. 240 pp.
- BOUSSAUW K., WITLOX F. (2009). Introducing a commute-energy performance index for Flanders. *Transportation Research Part A*, n°43, pp. 580-591.
- BREHENY M. (1995). *The compact city and the transport energy consumption*. Transactions of the institute of British Geographers, Vol. 50, n°1, pp. 285-304
- CAIT (2010), <http://cait.wri.org/>, site consulté le 16/10/2010.
- Commission Nationale Climat (2008). *Plan National Climat de la Belgique 2009-2012. Inventaire des mesures et état des lieux au 31/12/2008*. Service public fédéral, 143 pp. (lien: [http://www.climat.be/IMG/pdf/PNC\\_2009-2012-2.pdf](http://www.climat.be/IMG/pdf/PNC_2009-2012-2.pdf))
- CPDT (2005). *Protocole de Kyoto : aménagement du territoire, mobilité et urbanisme*, coll. Etudes et Documents, n°6, 203 p.
- European Commission (2010). *Progress towards achieving the Kyoto objectives*. 17 pp. + annex. (lien: <http://ec.europa.eu/environment/climat/gge.htm>)
- FORMAN, R.T.T. (1995). *Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- FOUCHIER V. (1997). *Les densités urbaines et le développement durable : le cas de l'Île de France et des villes nouvelles*, Paris : Secrétariat général du groupe central des villes nouvelles, 211pp.
- ICEDD (2008). *Bilan énergétique de la Région Wallonne. Bilan provisoire 2008*. 45 p.
- IWEPS (2007). Les chiffres clés de la Wallonie. Annuel n°7. 14p
- OWENS S. (1986). *Energy, Planning and Urban Form*. London : Pion Ltd., 117 p.
- MAIZIA M., MENARD R., NICOLAS J.P., TELLER J., VIEJO P., LACOSTE G. (2008). Les gisements du développement urbain : Analyse quantitative à l'horizon 2050 des consommations énergétiques et des émissions de CO2 des tissus urbains. Rapport PREBAT (non publié).
- MARIQUE A.-F., REITER S. (2010). A method to assess global energy requirements of suburban areas at the neighbourhood scale. In: *Proceedings of the 7th International IAQVEC Conference on Indoor Air Quality, Ventilation and Energy Conservation in Buildings*, Syracuse, New York.

- NEWMAN P.W.G., KENWORTHY J.R. (1999) *Sustainability and Cities: Overcoming Automobile Dependence*. Washington DC: Island Press.
- POUYANNE (2004). *Forme urbaine et mobilité quotidienne*, Thèse de Sciences Economiques, Bordeaux : Université Montesquieu-Bordeaux IV, 301p.
- SPW (2010). *Tableau de bord de l'Environnement wallon. Rapport sur l'état de l'environnement wallon*, Jambes, 234 pp.
- STEAD D. (2001). Relationship between land use, socio-economic factors, and travel patterns in Britain. *Environment and planning B*, Vol. 28, n°4, pp. 499-528.
- UYTTENBROECK J., CARPENTIER G. (1984). *Estimation des besoins nets en énergie pour le chauffage des bâtiments*, CSTC, Note d'information technique, 56 p.
- VAN HECKE E. (1998) *Actualisation de la hiérarchie urbaine de Belgique*. Bulletin du Crédit Communal, Vol. 3, n° 205, pp. 45-76.
- VANNESTE D., THOMAS I., GOOSSENS L. (2007) *Woning en Woonomgeving in België*. SPF Economie et Statistique, SPF Politique scientifique, 199 p.