Vers des indicateurs locaux de performance énergétique :

les Étiquettes Énergétiques Territoriales

RAPPORT DE RECHERCHE - 0804C0129

Laboratoire ThéMA
UMR 6049 – CNRS – Université de Franche-Comté

Jean-Philippe Antoni

Yann Fléty

Gilles Vuidel

Marie-Hélène de Séde-Marceau

Juin 2009

Préambule

Le présent rapport met fin à la convention I214 établie entre l'ADEME et le laboratoire de géographie théorique et quantitative ThéMA, ainsi que la subvention qui lui a été associée. Ce contrat vise à étudier les possibilités d'élaboration d'indicateurs synthétiques, les « Étiquettes Énergétiques Territoriales », qui pourraient, à terme, être intégrés dans certains documents règlementaires d'urbanisme. Ce travail de recherche prend également place au sein des développements du projet MobiSim au laboratoire ThéMA, en tant que module d'évaluation des impacts environnementaux des transports et de l'urbanisation.

L'idée de mettre au point une Etiquette énergétique pour les territoires part du constat que le changement climatique global est aujourd'hui à l'origine d'un objectif très concret de réduction des émissions de gaz à effets de serre, lui-même nécessairement corrélé à une réduction de la consommation énergétique globale (Facteur 4). Cette perspective se traduit par la définition d'objectifs en matière de maîtrise et d'amélioration de l'efficacité énergétique (Grenelle de l'environnement, Kyoto, Plan Climat, Directives européennes, etc.). Dans ce contexte, la performance énergétique devient un élément central de la planification urbaine et plus généralement de la planification territoriale. Elle est aujourd'hui prise en compte plus ou moins explicitement dans de nombreux documents spécifiques de planification (Agenda 21, Schéma des services collectifs de l'énergie, PLU, SCoT, etc.). Mais pour autant, les questions énergétiques n'y sont souvent considérées que par l'intermédiaire des émissions de polluants qui leurs sont associées, et n'apparaissent en définitive que comme des « sous-produits » de la question climatique globale. Pour remédier à cet écueil, une des mesures proposées par le Grenelle Environnement vise désormais à mieux intégrer les préoccupations énergétiques dans les documents d'urbanisme (MEDADD, 2008), ce qui constitue également l'objectif des étiquettes énergétiques territoriales.

Pour ce faire, l'intégration des spécificités de chaque territoire (tenant compte des pratiques spatiales des habitants) semble incontournable pour évaluer leurs consommations énergétiques de manière différenciée, notamment dans les secteurs de l'habitat résidentiel et des mobilités quotidiennes qui comptent parmi les plus concernés. Aussi, **l'ambition de ce projet consiste à évaluer ces « comportements énergétiques territoriaux » associés à chaque zone de l'espace urbain, par l'intermédiaire d'une étiquette, i.e. d'un indicateur fondé sur une méthodologie normative et reproductible.**

1. Introduction : contexte et généralités

De nombreux questionnements actuels concernent, de près ou de loin, le domaine de l'énergie : la perspective d'une réduction de la consommation énergétique est associée à une volonté de lutte contre le changement climatique et ambitionne de réduire par 4 (facteur 4) les émissions française des gaz à effet de serre d'ici 2050 (selon un engagement pris par le chef de l'Etat en 2003). A ce premier objectif, s'ajoute un second, qui concerne également le moyen terme : la pénurie annoncée des énergies fossiles (identifiée à travers le pic de Hubbert) est très directement impliquée dans les comportements de mobilité actuels, et suppose de fait de nécessaires questionnements en terme d'efficacité et d'économie d'énergie.

1.1. Un contexte énergétique revisité

Dans ce contexte, deux secteurs énergétiques retiennent particulièrement l'attention : l'habitat résidentiel (ou de fonction tertiaire) et la mobilité quotidienne. Ils montrent en effet tous les deux des évolutions particulièrement préoccupantes (MEDD, 2004 ; DGEMP, 2007) : en France en 2007, la consommation énergétique associée aux transports représentait près de 32% de la consommation annuelle totale (contre moins de 20% en 1973), et celle des activités résidentielles et tertiaires plus de 43% (contre environ 42% en 1973). A titre de comparaison, on peut noter que les secteurs industriel et agricole enregistrent quant à eux une diminution de leur consommation énergétique, qui passe de 36% environ en 1973 à moins de 23% en 2007 pour l'industrie, et reste négligeable pour l'agriculture (2,3% en 1973 contre 1,7 en 2007).

A cela, il faut ajouter que les deux secteurs des transports et de l'habitat résidentiel ou tertiaire font également partie des plus polluants. Les projections sectorielles des émissions de CO2 en France, réalisées dans le cadre du plan climat par le Ministère de l'écologie et du développement durable (MEDD, 2004), montrent en effet que le secteur des transports arrive en tête des émissions, dépassant désormais l'industrie. Le secteur résidentiel et tertiaire se place quant à lui en quatrième position, derrière l'industrie et l'agriculture, émettant 97,4 MteCO2 en 2002, sur un total de 553,9.

1.2. Un besoin prégnant d'outil d'aide à la planification

Les quelques chiffres présentés plus haut permettent d'identifier les domaines des transports et du résidentiel (et/ou du tertiaire) comme des secteurs particulièrement importants de la consommation énergétique, sur lesquels il pourrait être intéressant de faire levier dans le

cadre des objectifs de réductions précédemment citées. En effet, **l'une des spécificités de l'habitat résidentiel, des fonctions tertiaires et des mobilités quotidiennes réside dans leur très forte concentration en milieux urbains et périurbains. Plus précisément, ces fonctions sont en elles-mêmes à l'origine des formes et des structures urbaines et territoriales, selon une configuration géographique particulière, qui ajoute un certain degré de complexité à leur prise en compte, et dont la dimension prospective ne peut se dissocier des questions d'urbanisme et d'aménagement du territoire. Dans ce contexte, l'efficacité énergétique devient un élément central de la planification urbaine et plus généralement de la planification territoriale.** Elle est d'ailleurs aujourd'hui déjà plus ou moins prise en en compte dans de nombreux documents spécifiques (Agenda 21, Schéma des services collectifs de l'énergie, plan climat territorial, etc.) ou transversaux (PLU, SCoT, etc.).

Pour autant, comme cela a déjà été souligné dans le préambule, les questions énergétiques ainsi prises en compte ne sont souvent considérées que par l'intermédiaire des émissions qui leurs sont associées, et n'apparaissent en définitive que comme des « sous-produits » de la question climatique globale (Magnin, 2007). Pour remédier à cet écueil, une des mesures proposées par le Grenelle Environnement vise désormais à mieux intégrer les préoccupations énergétiques dans les documents d'urbanisme (MEDADD, 2008). Or l'élaboration de ces documents, (SCOT et PLU essentiellement) relève d'un jeu des décisions complexe, puisque soumises à un nombre conséquents de critères tant économiques que sociaux, esthétiques ou environnementaux. Ces décisions ont de fortes répercussions sur les consommations énergétiques des territoires.

Pour parvenir à l'action, les acteurs de l'aménagement expriment aujourd'hui un besoin prégnant en outils d'aide à l'observation, à la gestion et la décision, relatifs aux thématiques énergétiques, notamment dans le contexte de la décentralisation de la planification énergétique, de l'organisation de l'intercommunalité et des collectivités territoriales.

2. Problématique

Dans le cadre normatif du développement durable souhaité par le gouvernement, la volonté d'une réduction des consommations énergétiques est affirmée dans tous les domaines, qu'ils soient relatifs à l'urbanisme, aux équipements ménagers, aux transports, ou à l'habitat. Dans ces mêmes domaines, un indicateur « standard » semble émerger sous la forme d'une « étiquette », qui constitue également un label pour l'action.

2.1. Les étiquettes, label et indicateur pour agir

Dans le cadre du passage aux actions concrètes, deux volets ont été imaginés. Le premier volet, fiscal, est notamment relatif aux réflexions portées sur les écotaxes : taxe carbone, éco-pastille (bonus/malus) pour les automobiles, éco-redevance pour le transport routier, promotion de l'éco-construction et réhabilitation énergétique, crédits d'impôts. Le second volet, qui nous intéresse plus particulièrement, est informationnel et s'intègre dans des processus de labellisation sur critères concernant aussi bien les appareils électro-ménagers que les bâtiments ou les collectivités (étiquettes énergétiques, campagne Display©, label Cit'ergie©). Parmi ces labels, on peut insister sur les Etiquettes énergétiques qui ont particulièrement retenu notre attention pour les raisons identifiées ci-dessous :

a. Caractéristiques des étiquettes

Les étiquettes énergétiques présentent un ensemble de critères et d'indicateurs tels que :

- les références de l'objet considéré ;
- des catégories de consommations énergétiques en fonction d'un découpage linéaire en sept classes (symbolisées par une couleur dans une palette du vert au rouge, et qui s'échelonnent de la lettre A à la lettre G) ;
- des informations connexes (dans le cas du lave-linge, le bruit et/ou la consommation d'eau).

Il est à préciser un point important sur lequel nous reviendrons (cf. point 2.2.) : les bornes de ces sept classes sont définies à partir d'une connaissance exhaustive des caractéristiques du parc de l'objet de l'étiquette. Enfin, l'ensemble de cette classification et les informations complémentaires fournies sur ces étiquettes sont les reflets d'une incitation guidée par des objectifs particuliers pour chacun des appareils ou des objets labélisés.

b. Objectifs des étiquettes

Ainsi, si l'étiquetage des appareils électroménagers apparaît comme un outil de comparaison pour l'acheteur, mis au point à partir de la connaissance du parc actuel d'une famille d'appareil (réfrigérateurs), un appareil particulier est classé pour sa consommation énergétique, dont l'étiquette est le symbole.

Cette finalité diffère toutefois légèrement si l'on considère l'étiquetage énergétique des bâtiments. Celui-ci est en effet annoncé comme un moyen d'information sur les travaux à réaliser pour réduire la facture d'énergie, et présenté comme un outil fortement incitatif dans le domaine de la rénovation de l'habitat : l'objectif visé est une consommation énergétique minimale par mètre carré d'habitation sous contrainte de coût (objectif de 50kWh/m²/an). Ainsi, le passage vers une classe supérieure au sein de l'étiquette énergétique d'un bâtiment est conditionné par la réalisation d'un effort technique, telle une intervention en matière d'isolation, ou de changement de type de chauffage.

Par l'apposition d'une telle étiquette, ce processus de labellisation renvoie donc à la satisfaction de critères, inscrite dans une finalité qui est celle de la performance énergétique, avec des objectifs de communication et de comparabilité. Dans ce contexte, **la question centrale amenée et illustrée ici est celle de l'intentionnalité : à quoi est-ce que l'on veut qu'une étiquette serve, quel est son objectif ? Quelle décision souhaite t-on favoriser par son biais ?**

2.2. Vers des étiquettes énergétiques « territoriales » ?

Compte tenu de la problématique de la volonté de réduction des consommations énergétique rappelée au point 1, l'un des objectifs des étiquettes territoriales vise à intégrer la notion de performance énergétique aux documents d'urbanisme. La performance énergétique peut alors s'entendre comme une réduction des consommations d'énergie, à service rendu égal, qui vise à diminuer les coûts environnementaux, économiques et sociaux liés à la production et la consommation d'énergie. Mais pour autant, **la problématique de la performance énergétique n'est pas systématiquement évoquée dans les documents et politiques de planification. Or, il semble que l'urbanisme, et plus largement la planification territoriale soient en mesure de jouer un rôle important en matière énergétique (Grenier, 2007).**

a. Une notion délicate : le territoire

L'élaboration de telles étiquettes caractérisant la consommation énergétique des territoires se heurte toutefois à l'un des objectifs précédemment évoqués : celui de la

comparabilité, liée aux valeurs et bornes des sept classes généralement retenues. A la différence des réfrigérateurs ou bâtiments, pour lesquels une certaine connaissance du parc existant et des consommations est admise, autorisant des comparaisons, la proposition d'étiquette pour les territoires se heurte à un premier écueil. Il s'agit des différentes acceptions du terme territoire, qui en fonction de leurs définitions **excluent la connaissance en terme de consommation d'un « parc de territoire » et donc de valeurs de référence. En ce sens, ce travail s'inscrit nécessairement dans une démarche exploratoire, dans la mesure où l'étendue des consommations d'un hypothétique « parcs de territoires » n'est actuellement pas connue. Il s'agit d'un changement de référence : ainsi, les valeurs et bornes de classes prises par les étiquettes d'un territoire sont calculées sur la base de l'ensemble de ce territoire et ne peuvent en ce sens pas être directement comparées avec un autre territoire.** Si à terme, les étiquettes peuvent y remédier, il s'agit donc dans un premier temps de différencier une comparabilité inter et intra-territoriale, et de ne considérer que cette dernière, à savoir une comparaison relative entre zones à l'intérieur d'un même territoire.

b. Une proposition

Nous proposons donc dans ce travail exploratoire de questionner la faisabilité et les modalités de mise en œuvre d'étiquettes énergétiques zonales pour des territoires, comme outils d'aide à la planification, intégrables dans les documents d'urbanisme : Est-il possible d'établir des étiquettes énergie pour les espaces urbanisés ? Comment et à quelle(s) échelle(s) définir ces espaces ? Comment quantifier leurs consommations énergétiques et en quelle unité les exprimer ? Avec quel niveau de fiabilité et quelle informations complémentaires utiles à l'interprétation ? Comment ces étiquettes peuvent-elle constituer un outil pour l'aménagement du territoire : quels leviers mettent-elles en évidence ?

Après cet exposé du contexte et de la problématique des indicateurs énergétiques territoriaux qui nous amènent aujourd'hui à cette proposition, un état de l'art relatif aux approches d'évaluation des consommations énergétiques territoriales est présenté afin d'identifier l'originalité de cette recherche. Cette dernière repose sur **un postulat affirmant que la localisation constitue un des facteurs clef des consommations énergétiques.** Nous avançons ensuite des éléments de méthodologie permettant une évaluation des mobilités quotidiennes tout en intégrant la composante habitat par des densités de logements. Ainsi, si certains leviers d'action sont identifiés par une méthodologie reproductible, il n'en reste pas moins que **les étiquettes énergétiques ainsi définies sont un outil à manier avec précaution. Il autorise toutefois une première qualification énergétique des territoires mais nécessite de poser des hypothèses « lourdes ».**

3. État de l'art

Pour répondre à ces questions liées aux consommations énergétiques et aux besoins de les intégrer dans un cadre territorial, une revue des méthodes d'évaluation des consommations et émissions liées est effectuée. Elle permet de distinguer différents types d'approches, et notamment de différencier des approches analytiques, des modèles technico-économiques fonctionnant à grande échelle, des modèles plus spécialisés considérant l'espace géographique à plus petite échelle, mais finalement assez peu d'outils et d'indicateurs dont l'entrée est véritablement spatiale ou territoriale. Ces approches sont synthétisées dans le Tableau 3.1

Evaluer les consommation énergétiques
Différents types d'approches

1) Approches analytiques + analyse des facteurs discriminants, caractère méthodologique. - applications non spatialisées	Projet ETHEL, DEED
2) Approches technico-économiques + approches économétriques des consommations - des espaces non différenciés (échelle)	Grusbin 2003
3) Approches statistiques spécialisées + facteurs unitaires, entrée territoriale - évaluation a posteriori, spatialisée ou non	Enerter, COPERT-x, Heiplle08, Viejo 08, BilanCarbone©
4) Approches relevant de l'étude et/ou de la métrologie + relative précision - relevant de la mesure, limites classiques (généralisation, période de validité...)	DPE, cadastre énergétique ou d'émissions polluants

J.P. Antoni, Y. Fléty, G. Vuidel, 2009

Tableau 3.1 : Différents types d'approches pour évaluer les consommations

a. Approches analytiques

Ce premier type d'approches concerne l'analyse et la compréhension des facteurs et mécanismes en jeu dans la consommation énergétique à l'échelle des territoires. La méthodologie concernant la construction de typologie, fournie par le projet ETHEL (Raux, 2006) en ce qui concerne les déplacements, constitue un point de départ dans l'analyse de la compréhension des déplacements. Elle propose de considérer des distances cumulées de déplacement tenant compte de types spécifiques d'espace et de

population et ainsi d'évaluer des consommations. Bien que réalisés dans le cadre d'enjeux prospectifs et de scénarios à l'horizon 2020, les résultats du projet ETHEL ne sont pas spatialisés et n'intègrent pas de dimensions multiscalaires.

b. Approches technico-économiques

La liste de ces modèles technico-économiques à grande échelle est longue et leurs finalités indissociables d'une logique de bilans énergétiques. De nombreux auteurs (tels Gusbin, 2003) proposent une approche économétrique de la consommation d'énergie des ménages en ayant recours à des modèles de calcul comme « Hermes » ou « Primes », aussi bien pour le domaine du bâtiment que celui des transports. Toutefois, ils visent une comptabilité énergétique sur des espaces non différenciés et excluent de ce fait la prise en compte des spécificités du territoire étudié.

c. Approches statistiques spécialisées

Cette troisième famille est sans doute celle dont les objectifs et applications sont les plus proches de nos préoccupations. Elle comporte des modèles s'appuyant sur des statistiques spécifiques aux territoires concernés pour une thématique particulière, relative aux bâtiments ou aux transports.

Porté par le bureau d'étude Énergies-Demain, l'outil ENERTER, présenté comme modèle technico-économique, permet de caractériser les consommations énergétiques des bâtiments de tous les secteurs à des échelles de territoire opérationnelles. Selon son concepteur, cet outil est basé sur un recensement exhaustif et une description précise des surfaces. Alimenté par une base de données accompagnant le logiciel, il assure la compréhension des consommations énergétiques par simulation de chaque usage et permet la réalisation de bilans territoriaux concernant les consommations d'énergie, les émissions de gaz à effet de serre à des fins de réhabilitation des bâtiments.

Le modèle COPERT s'intéressent lui plus particulièrement à la question de l'évaluation des émissions liées aux mobilités. La méthodologie COPERT n'intègre qu'un seul paramètre, la vitesse moyenne, pour décrire les conditions de circulation, sans distinction des variations de vitesse qui ont pu conduire à cette valeur moyenne. La conséquence est une prise en compte partielle des émissions à froid dues aux effets des ralentissements et/ou congestion, pourtant principaux facteurs d'émissions de polluants, limitant l'intérêt de COPERT en milieu urbain.

Si ces modèles présentent un intérêt thématique, certains auteurs (Heiple, 2008 ; Viejo 2008) ont tenté d'élaborer des indicateurs énergétiques territoriaux. Ces indicateurs se situent entre l'analyse technico-économique d'échelle régionale dont l'objectif est l'adéquation offre-demande sous contrainte de rentabilité, et l'échelle du bâtiment individuel. Ils proposent de ce fait une entrée territoriale tenant compte des disparités

locales de l'espace géographique, mais ne sont souvent que des ébauches considérant une approche strictement statistique de la problématique énergétique.

d. Approches relevant de l'étude et/ou de la métrologie

Enfin, le dernier type d'approche retenu relève de l'étude et/ou de la métrologie. Ainsi, les cadastres énergétiques se basent sur des mesures de qualité de l'air, et les Diagnostics de Performance Énergétique (DPE) reposent sur la méthode 3CL2, appliquée au cas par cas par un diagnostiqueur. Les DPE autorisent a posteriori une évaluation des consommations énergétiques à l'échelle de bâtiments individuels. Si ces diagnostics réalisés périodiquement peuvent alimenter la construction d'une typologie de bâtiments, ils relèvent du domaine de l'étude technique et outre leur fiabilité, ils ne sont pas disponibles directement. Il est à noter toutefois que la Loi Grenelle II imposerait aux diagnostiqueurs la saisie des DPE dans une base de données nationale centralisée autorisant à terme une évaluation des consommations du parc de bâtiments.

Ces différentes approches ont comme points communs de constituer des évaluations a posteriori, à échelles fixes. La plupart sont non spatialisées et établies sur des territoires indifférenciés, ou s'inscrivent dans des logiques relevant soit de la statistique pour des thématiques spécialisées, soit de l'étude et de la mesure. L'entrée territoriale, spatialisée et théorique poursuivie doit donc développer une méthodologie spécifique au vu des questions évoquées et objectifs fixés (2.2.).

4. Méthodologie

Le postulat affirmé ici pour asseoir la méthodologie est le suivant : **la localisation géographique au sein d'un territoire, d'un bâtiment dont les fonctions sont soit résidentielles, soit tertiaires, soit mixtes (résidentielles et tertiaires), induit nécessairement des « comportements » de consommation énergétique, au moins de deux manières** :

- par le simple fait de la distance aux services, lieu de travail, … que cette localisation induit (variables de mobilité) en considérant les déplacements ;
- par le jeu des conditions liées au contexte des bâtiments : tel les caractéristiques du bâtiment, le profil du ménage résident, le couple habitat/habitant, les densités, etc. (variables de contexte du bâtiment). Pour différentes raisons avancées en 4.2, ces aspects ne sont considérés dans ce rapport qu'à travers des densités de logements.

De ce fait, l'intégration de spécificités territoriales semble incontournable pour évaluer la consommation énergétique différenciée de chaque territoire, notamment dans les secteurs de l'habitat résidentiel et des mobilités quotidiennes. Aussi, l'ambition de ce projet de recherche vise à évaluer ces « comportements énergétiques territoriaux », et propose d'associer et de synthétiser au sein d'un indicateur unique, intitulé « Étiquette Énergétique Territoriale », deux éléments : une évaluation énergétique des mobilités associées à une zone ; des densités de logements conditionnant cette évaluation (Figure 4.1.1).

4.1. Point de départ : la localisation induit des mobilités

En ce qui concerne les mobilités, nous ne considérons dans un premier temps que les mobilités quotidiennes sous la forme de déplacements routiers, et plus particulièrement celles liées :

- aux déplacements entre le lieu de résidence et de travail (déplacement domicile-travail ou navettage)
- aux déplacements aux aménités (commerces et services) mais excluant ceux liés à l'activité de travail (exclusion des transits et des déplacements travail-travail).

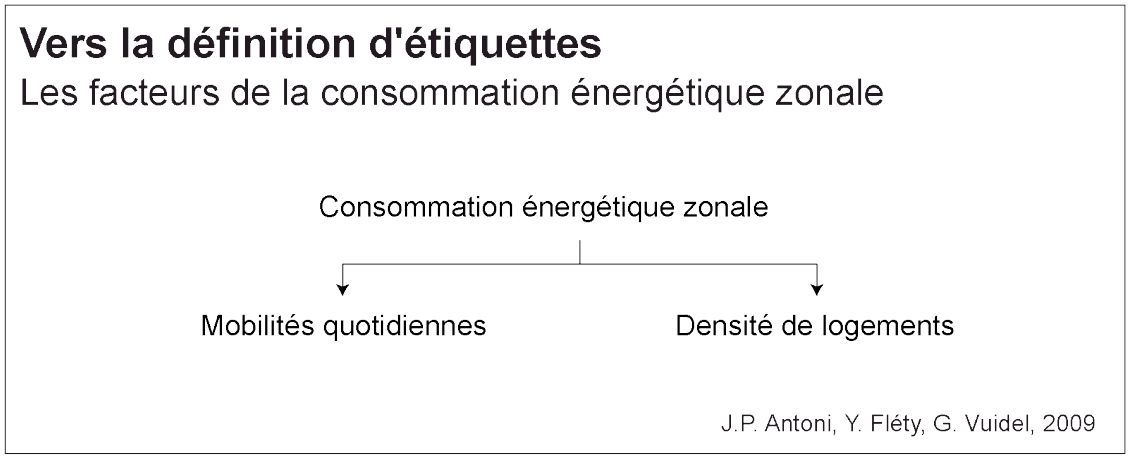

Figure 4.1.1 : Les facteurs de la consommation énergétique zonale

Dans ce contexte, l'objectif peut alors consister à **mesurer le potentiel théorique de déplacements que peut générer un espace, et par là d'évaluer des distances théoriques parcourues et consommations énergétiques associées**. Cette évaluation de distances parcourues se décompose en deux postes que sont les déplacements liés à l'emploi et aux aménités, quelles soient de type urbaines (commerces et services) ou rurales (espaces naturels et de loisirs) (Figure 4.1.2). Faute de références en matière de fréquentations des aménités de type rural, seules les aménités de type urbain sont considérées, du moins dans un premier temps.

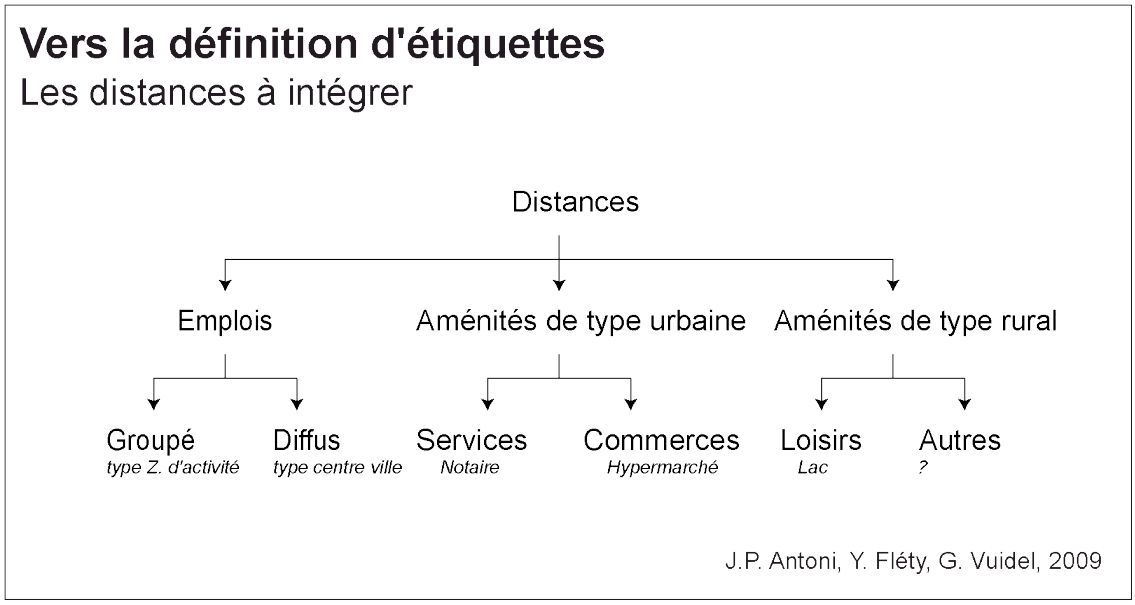

Figure 4.1.2 : Les distances à intégrer pour la définition des étiquettes

Après deux remarques préliminaires relatives à l'évaluation des consommations des bâtiments et l'intégration de comportements des habitants en fonction de types d'espace, sont successivement présentées les étapes méthodologiques de la constitution de la base de travail cellulaire d'une part, et le calcul des étiquettes d'autre part. Cette base cellulaire consiste en l'intégration de l'ensemble des données nécessaires (4.4.) aux calculs des étiquettes (4.5.). Une synthèse de la méthodologie générale déployée est proposée en Figure 4.1.3.

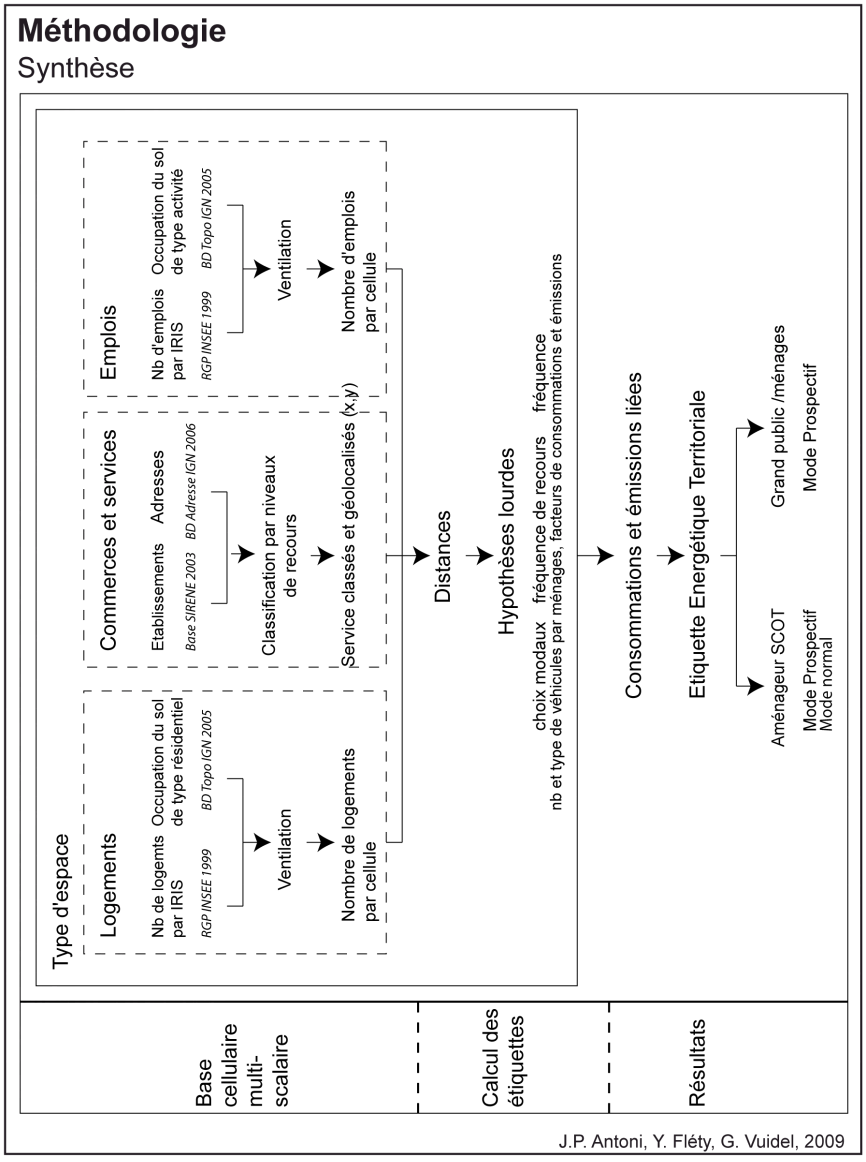

Figure 4.1.3 : Méthodologie générale

4.2. Un écueil : la consommation des bâtiments

En se fondant sur les déplacements liés aux localisations, les étiquettes énergétiques territoriales ont été imaginées, toujours dans une perspective de planification territoriale, comme la somme des consommations issues des bâtiments et de celles issues des mobilités avant tout. **La considération des consommations générées dans chacun de ces territoires, à l'échelle du bâtiment et leurs occupants, dépendantes de caractéristiques aussi bien physiques, qu'environnementales ou sociales, pourrait leur être ajoutée afin de compléter le volet « mobilité » de chaque étiquette par un volet « bâti ».** Cette opération se heurte toutefois à plusieurs obstacles qui conduisent à évacuer ce calcul.

Tout d'abord, les calculs de consommations des bâtiments sont réalisés à partir de valeurs moyennes nationales agrégées, puis ventilées à l'échelle des bâtiments par l'utilisation de facteurs unitaires de consommation au prorata de sa surface, du profil du ménage occupant, etc. Aussi, les résultats lissés issus de ces approches ne permettent pas de dégager d'écarts suffisamment fins de consommation pour une perspective d'intégration de spécificités territoriales à des fins de planification. Il est à noter toutefois que les consommations des bâtiments évaluées lors des DPE réalisés par des diagnostiqueurs, vont être systématiquement renseignées au sein d'une base de donnée centralisée dans le cadre de la loi Grenelle II ; ce qui pourrait ouvrir des pistes intéressantes.

Ensuite, tandis qu'une politique volontariste dans le logement permettrait de diminuer d'un facteur 2 les émissions de gaz à effet de serre correspondantes, la croissance des émissions dues aux transports dans les zones périurbaines et rurales annulerait ce gain (Raux, 07). Pour un logement de 100 m² chauffé au gaz, un effort sur le bâti de 60kWh/m²/an (passage de la RT 2005 au label Habitat Passif) est annulé par une distance parcourue en voiture particulière de 20km par jour et un véhicule utilisé 340 jours par an, émettant 180gCO2/km, ce qui est la moyenne française actuelle. Ici, il ne s'agit en aucun cas d'exclure quelques formes d'actions volontaristes que ce soit, mais de ressituer l'importance relative des enjeux.

En ce même sens, de façon marginale et bien que le taux de constructions neuves avoisine les 1% par an en France, il convient de noter que l'évolution des réglementations thermiques liée aux nouvelles constructions ainsi que les aspects techniques (isolations, modes de chauffage) visent aujourd'hui une efficacité énergétique optimale. Ainsi, et dans une optique prospective, l'habitat sous ses aspects techniques ne sera à long terme qu'une variable faiblement significative. Dans quelques décennies, l'enjeu sera en effet sans doute moins de considérer des bâtiments énergivores (Réglementations thermiques, bâtiments passifs ou à énergie positive) que leur localisation sur le territoire, génératrice de mobilités.

Au vu de ces arguments, le choix est ici fait de ne pas considérer les consommations liées aux bâtiments. Il ne s'agit d'approcher le secteur résidentiel que par une entrée géographique se limitant à la prise en compte de densités de logements, conditionnant le nombre de déplacements effectués à partir d'une zone. En effet, l'ouverture (ou fermeture) de zones à l'urbanisation (augmentation ou diminution de la densité) est susceptible de bousculer la donne zonale en termes de nombres de déplacements et ainsi de modifier les

valeurs de l'ensemble des étiquettes du territoire concerné (cf. l'écueil identifié dans le point 2.2.).

4.3. Des comportements différenciés par des types d'espaces

L'indicateur développé dans le cadre de cette recherche s'inscrit dans une entrée résolument territoriale et considère en ce sens une différenciation de comportements de mobilité en fonction de types d'espace (projet ETHEL). Ces comportements de mobilité, choix modaux, fréquences de déplacements, etc., peuvent en effet trouver des tendances déclinées par types d'espace. Ainsi, le nombre de déplacements et le nombre de véhicules possédés par un ménage de profil similaire résidant en périurbain ou en centre ville diffèrent.

Un des objectifs visés par les étiquettes est de rendre conventionnel des comportements, par l'étude d'un « comportement moyen » proche d'une réalité observée. Il s'agirait à terme de parvenir à la définition de « catégories de comportements », fonction de localisations et de types d'espace, permettant l'estimation de l'énergie nécessaire à la satisfaction de chacun de ces comportements. Si la définition de comportements normatifs n'a pas encore abouti dans ce travail, ce dernier se propose déjà d'intégrer des types d'espaces (cf 4.4.a), basés sur le découpage en Aire urbaines (ZAUER) proposé par l'INSEE, pour différencier (selon un type d'espace rural, urbain ou périurbain) ces comportements de mobilité et pouvoir dans un premier temps les tester.

4.4. Intégration de données : vers un espace cellulaire

Nous proposons donc de calculer des consommations liées aux mobilités quotidiennes en tenant compte des distances que la localisation de chaque zone demande de parcourir pour relier : (1) les zones d'emploi ; (2) les aménités urbaines (composées des services et des commerces) du territoire considéré. Si les données nécessaires sont identifiées, quel(s) espace(s) et quelle(s) échelles considérer pour qualifier énergétiquement les territoires ?

Pour commencer, la première question pourrait être soulevée par l'hétérogénéité scalaire des sources des données considérées comme nécessaire. Ainsi l'occupation du sol fournit par la BD Topo de l'IGN, le contexte socio-démographique issu du RGP INSEE ou les activités inventoriées dans la BD SIRENE se présentent chacun à une échelle différente. Ensuite, il est impératif de conserver la possibilité de considérer des bâtiments d'habitation individuelle dans une zone non encore ouverte à l'urbanisation, ce qui impose une échelle fine. Des changements d'échelles peuvent en ce sens avoir lieu et nous poussent à la considération de plusieurs échelles. Pour faire face à cette double contrainte du multi-échelle et de l'intégration de données hétérogènes, les géographes ont régulièrement recours à un découpage de l'espace en une matrice à maille carrée, mise au point par une opération de carroyage (Antoni, 2003). Ainsi une approche cellulaire et multiscalaire a donc été retenue. La contrainte de comparabilité intra-territoriale évoquée en 2.2., trouve ainsi un élément de réponse par la

définition de zones régulières. A titre d'exemple, la Figure 4.4.1 propose une représentation de cet espace cellulaire et la figuration du bâti résidentiel et du réseau viaire, avec ici une maille de 100m pour un secteur au nord-ouest de l'agglomération de Besançon.

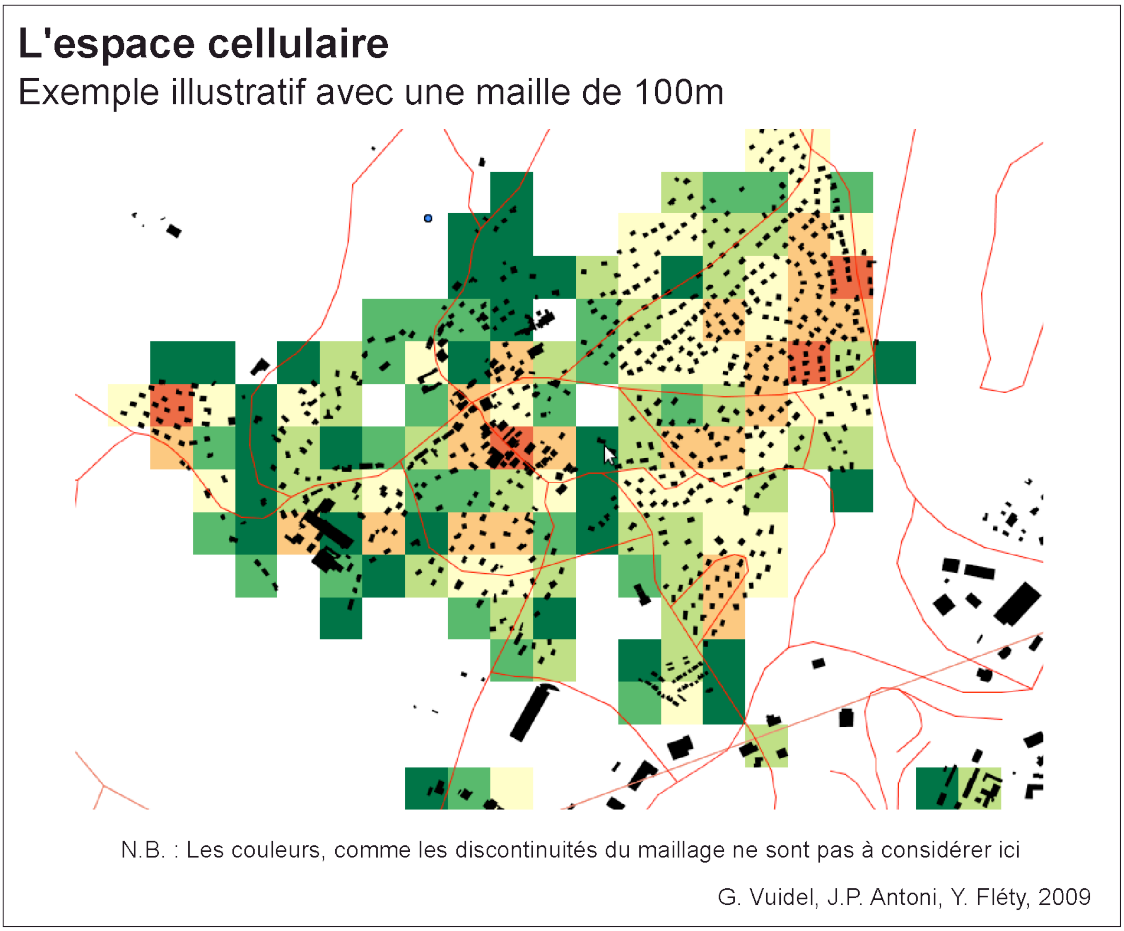

Figure 4.4.1 : L'espace cellulaire, exemple illustratif avec une maille de 100m

Les paragraphes suivants présentent l'intégration successive de l'ensemble des données nécessaires à la constitution de la base cellulaire et multi-scalaire de travail, à savoir, les types d'espace considérés, les logements, les services et commerces, et l'emploi.

a. Types d'espace

Comme évoqué précédemment, la considération de types d'espace pour intégrer des comportements de mobilités à été retenu. Il s'agit donc de sélectionner un type de zonage pertinent au vu de notre problématique, liant aménité, habitat et emploi.

Le zonage en aires urbaines et aires d'emplois de l'espace rural (ZAUER de l'INSEE) décline le territoire en quatre catégories principales reposant essentiellement sur des critères relatifs au marché de l'emploi et au bâti. La première représente l'espace à dominante rurale (trois derniers codes du Tableau 4.4.1) qui comprend à la fois des petites unités urbaines et des communes rurales. Les trois autres constituent l'espace à dominante urbaine : ce sont les pôles urbains, les couronnes périurbaines et les communes multi-polarisées.

Modalités des types d'espace

Zonage ZAUER INSEE retenu

Code type d'espace	Type d'espace
1	communes appartenant à un pôle urbain
2	communes mono-polarisées ou couronne péri-urbaine
3	communes multi-polarisées
4	communes appartenant à un pôle d'emploi de l'espace rural
5	communes appartenant à la couronne d'un pôle d'emploi de l'espace rural
6	communes hors espace urbain, rurales

J.P. Antoni, Y. Fléty, G. Vuidel, 2009

Tableau 4.4.1 : Modalités des types d'espace ZAUER INSEE

Ainsi, chaque logement générera un déplacement dont les caractéristiques (choix modaux, fréquences de recours à une aménité, etc.) seront spécifiques au type d'espace dans lequel ce logement se localise.

b. Logements

Le calcul des mobilités quotidiennes impose comme point de départ, des ménages, approchés dans notre cas par des logements. L'hypothèse ici considérée est qu'un logement abrite un et un seul ménage (ce qui semble assez réaliste, mais surestime la population d'un quartier en ne tenant pas compte du fait que certains logements peuvent être vacants). Il est donc nécessaire de connaître la répartition du nombre de logements dans l'espace cellulaire évoqué précédemment, les logements constituant la principale variable de génération de déplacements. Dans ce cadre, l'enjeu de ce paragraphe est la ventilation du nombre de logements dans les bâtiments résidentiels, avec les problèmes que cela pose en terme de bâtiments à étages. Pour ce faire,

l'occupation du sol détaillée (fournie par la BD Topo IGN) qui donne en autre la hauteur de chaque bâtiment, a été prise en compte.

L'occupation du sol est ainsi générée à partir des couches de la BD Topo de l'IGN, « bâtiment », « zone_arborée », « surface_eau », « surface_activité ». Avant de faire la décomposition proprement dite, un pré-traitement est effectué pour définir le plus finement possible la typologie des bâtiments. En effet la typologie fournie par la couche « bâtiment » de l'IGN est très incomplète. Pour l'améliorer, nous proposons de croiser la couche « surface_activité » avec la couche « bâtiment ». Concrètement cela revient à créer une table « bati_activ » qui affecte une nouvelle catégorie à un « bâtiment » quand celui-ci intersecte une surface d'activité avec plus de 50% de sa surface.

Suite à cette opération, il devient possible de créer une vue intermédiaire qui agrège les différents champs contenant une information sur le type de bâti (nature de la couche « bâtiment », catégorie de la couche « bâtiment », catégorie de la couche « surface_activité » renommée en « activité » dans la table « bati_activ »). Enfin, on crée la vue « bâti_catégorie » qui simplifie les différentes catégories pour ne retenir que les types « Logement résidentiel » et « Activité ».

Après ces prétraitements, la typologie est dans l'ensemble acceptable : les grandes zones industrielles et commerciales sont bien affectées. Il reste toutefois un problème dans le centre ville où une bonne partie des bâtiments administratifs n'est pas déterminée. Pour y remédier, une correction manuelle a été effectuée en modifiant la nature des bâtiments suivants : la mairie, les centres des impôts, la faculté des lettres, le musée et le cinéma des beaux arts, la citadelle, etc. Il reste néanmoins certains bâtiments mal affectés en centre ville car un polygone bâti correspond parfois à un ensemble de bâtiments de différentes natures (une erreur due aux données sources, qui semble plus ou moins incompressible).

Le résultat peut être représenté cartographiquement par l'occupation du sol sur l'espace cellulaire évoqué précédemment à différentes résolutions. Cette première étape étant réalisée, il est possible de ventiler les logements de la CAGB, dont le nombre est connu au niveau des IRIS ou des communes (RGP INSEE). Cette ventilation se fait en 4 étapes en considérant :

Z_i : la surface de la zone i

n_i : le nombre de logements dans la zone i

B_j : la surface du bâtiment j

h_j : la hauteur du bâtiment j

C_k : la surface de la cellule k

a : fonction déterminant l'aire d'une surface

Dans un premier temps, on détermine à quelle commune ou à quel IRIS appartient chaque bâtiment résidentiel de la couche « bâtiment » de la BD Topo IGN (un objet bâti appartient à une et une seule zone) :

$$p_{ij} = \begin{matrix} 1 & si \quad Z_i \cap B_j = max_k(Z_k \cap B_j) \\ 0 & sinon \end{matrix}$$

On détermine ensuite le volume total de bâtiments résidentiels dans chaque commune ou IRIS (ce qui nécessite de tenir compte de la hauteur des bâtiments) :

$$v_i = \sum_j p_{ij} . h_j . a(B_j)$$

A partir du volume dans chaque zone, il est possible de calculer la densité de logements de chaque bâtiment :

Densité volumique de la zone í :

$$\rho Z_i = \frac{n_i}{v_i}$$

Densité volumique du bâti j :

$$\rho B_j = \sum_i p_{ij} . \rho Zi$$

Pour terminer, le nombre de logements est calculé dans chaque cellule k :

$$N_{Ck} = \sum_j a(B_j \cap C_k) . h_j . \rho B_j$$

Le résultat peut être représenté cartographiquement par le nombre de logements dans chaque cellule, à différentes résolutions : 1000m, 100m, 50m. La Figure 4.4.2 propose une représentation de cette qualification du bâti résidentiel avec une résolution de 100m.

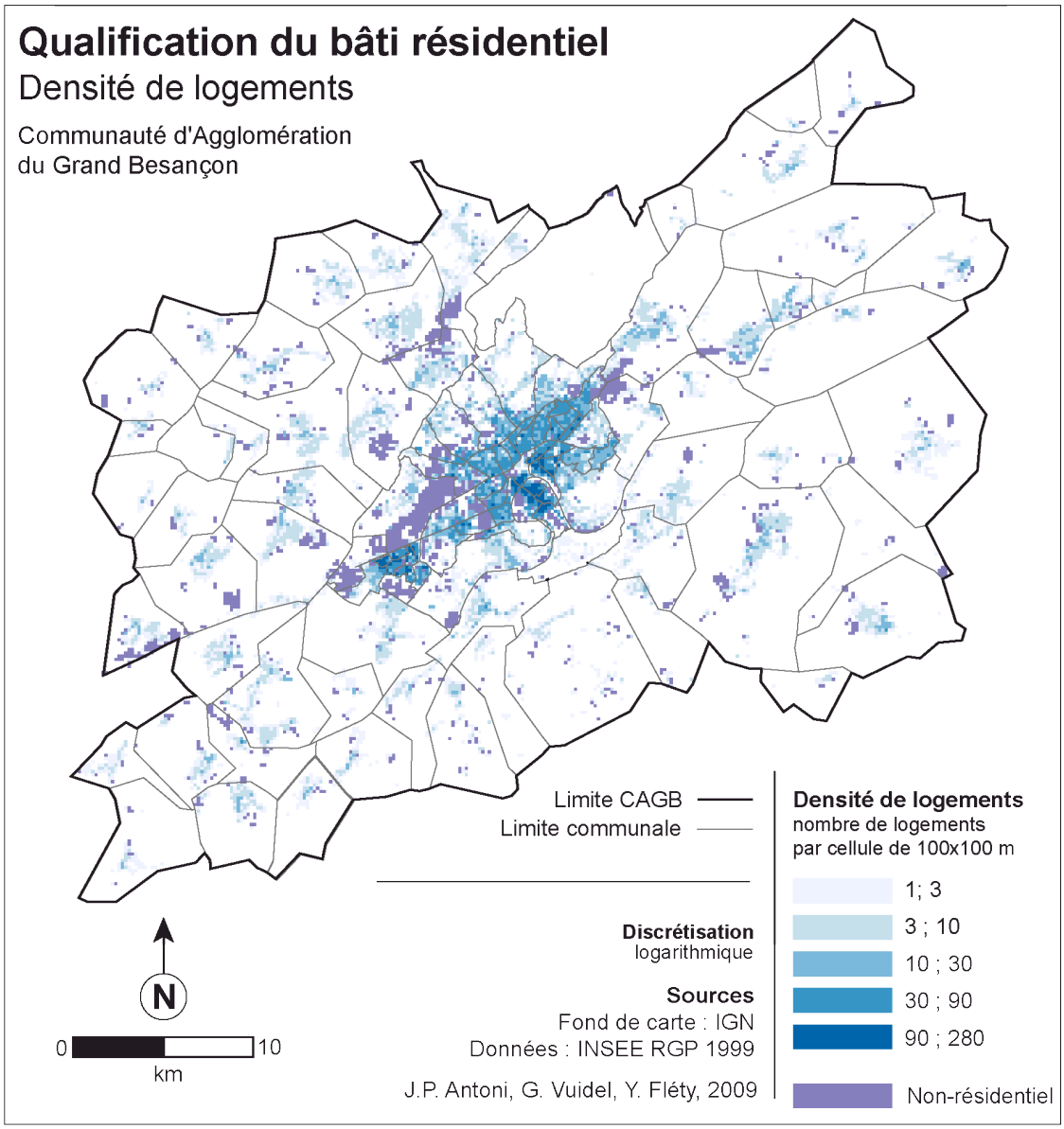

Figure 4.4.2 : Qualification du bâti résidentiel

c. Les services et les commerces

Après avoir obtenu notre variable génératrice de déplacements que constituent les logements, il s'agit maintenant d'intégrer les aménités de type urbain que sont les commerces et services à notre base cellulaire. Concernant la future évaluation des distances liées aux aménités, une différenciation par types d'aménités en tenant compte de leur fréquence de recours par les résidents est envisagée (Tableau 4.4.4). En effet, le calcul d'une consommation ne peut être réalisé qu'en rapport à une durée (période de temps). Or le recours à certains services se fait plus fréquemment que d'autres, ayant

donc une répercussion sur l'évaluation des consommations. L'étape présentée ici se limite donc, premièrement à l'obtention de services géolocalisés au sein de notre base cellulaire, et ensuite, à la classification des commerces et services en niveaux de fréquentation pour autoriser une pondération dans l'estimation des déplacements effectués sur une période donnée.

Le fichier source est la base de données SIRENE (INSEE 2003) qui recense les entreprises et leurs établissements, accompagnés de leurs adresses. Une liaison de ces dernières avec la BD-AdresseV1 (2006) autorise une géolocalisation de ces services. Il convient de préciser la double limite de ce géoréférencement, tout d'abord lié à la correspondance partielle des adresses SIRENE et de la BD-Adresse (Tableau 4.4.2), et ensuite à l'imprécision de la BD-Adresse (Tableau 4.4.3).

Liaison BD Adresse / BD SIRENE

Résultats

Liaison	Nb Entreprise	Nb Entreprise
Exact	5552	63%
Sans type	608	7%
Rue	1604	18%
Manuel	466	5%
Pas d'adresse	481	5%
Non localisé	150	2%
Total	8861	100%

G. Vuidel, J.P. Antoni, Y. Fléty, 2009

Tableau 4.4.2 : Résultat de la liaison Répertoire SIRENE-BD Adresse2006

Si 70% des établissements sont reliés précisément, 23% sont localisés à la rue, et 7% le sont au centroïde de la commune.

Localisation des aménités

Localisation en nombre d'établissements via la BD Adresse 2006

Bonne		Moyenne	Mauvaise	
Tronçon route	Voie	Zone adressage	Commune	Total
4233	1235	189	3120	8777
48%	14%	2%	36%	100%

G. Vuidel, J.P. Antoni, Y. Fléty, 2009

Tableau 4.4.3 : Localisation via la BD Adresse2006

Si 62% entreprises sont localisées finement (à l'adresse ou à la rue), 38% le sont localisées à la commune ou au lieu dit.

Classification des services

Les fréquences de recours par niveaux de services

Source : Frankhauser et al 2007

Fréquences de recours	Niveaux de services	Exemples
Quotidien	N1	Boulangerie, crêche
Hebdomadaire	N2	Distribution carburant, hypermarché
Mensuel	N3	Commerce de détail, ANPE
Plus rare	N4	Magasin spécialisé, notaire

J.P. Antoni, Y. Fléty, G. Vuidel, 2009

Tableau 4.4.4 : Classification des services par niveaux de fréquence de recours

d. Les emplois

Le calcul du nombre d'emplois par cellule est réalisé de manière strictement analogue à celle des logements, à partir non plus de la catégorie de la couche résidentielle utilisée pour les logements, mais de la couche activité, obtenue en 4.4.2.. Tout comme les

logements, le nombre d'emploi par IRIS est fourni par le RGP INSEE. Cette ventilation fournit un nombre d'emploi par cellule, localisé dans du bâti classifié comme activité.

4.5. Calcul des étiquettes

Par la constitution de notre base cellulaire, nous avons obtenu des logements et des emplois par cellule, ainsi qu'une géo-localisation des aménités classifiées en niveaux de fréquence de recours. Un des objectifs que nous nous sommes fixés consiste à mesurer un potentiel théorique de déplacement que peut générer un espace et par là, d'évaluer des distances parcourues et consommations énergétiques associées. Cette évaluation de distances parcourues se décompose en 2 postes que sont les déplacements liés aux aménités (commerces et services) et les déplacements liés à l'emploi. Il s'agit maintenant de s'intéresser aux modalités de calculs de ces différentes distances.

a. Distances aux aménités

Dans le contexte exploratoire du présent travail, nous ne considérerons dans un premier temps que les services et commerces de niveaux 1 et 2 selon notre classification, pour des raisons de poids relatifs (rapportés ici au 30 jours du mois, et donc considérés en 1/30ièmes) : si un service de niveau 1(recours quotidien) pèse par exemple sur un mois 20/30ième, et un service de niveau 2 (recours hebdomadaire) 4/30ième, celui de niveau 3 ne comptera que pour 1/30ième et peut dans un premier temps être négligé.

Aussi, le calcul des distances pour relier les aménités de type urbain est réalisé de la façon suivante : pour une cellule de centroïde p contenant le logement, on va calculer la distance minimum à une aménité (service de niveaux 1 ou 2) en parcourant dans un premier temps la distance la plus courte, dite vol d'oiseau, pour relier le réseau routier, puis en cheminant sur le réseau routier, puis en réutilisant la distance à vol d'oiseau pour rejoindre la dite aménité (Figure 4.5.1).

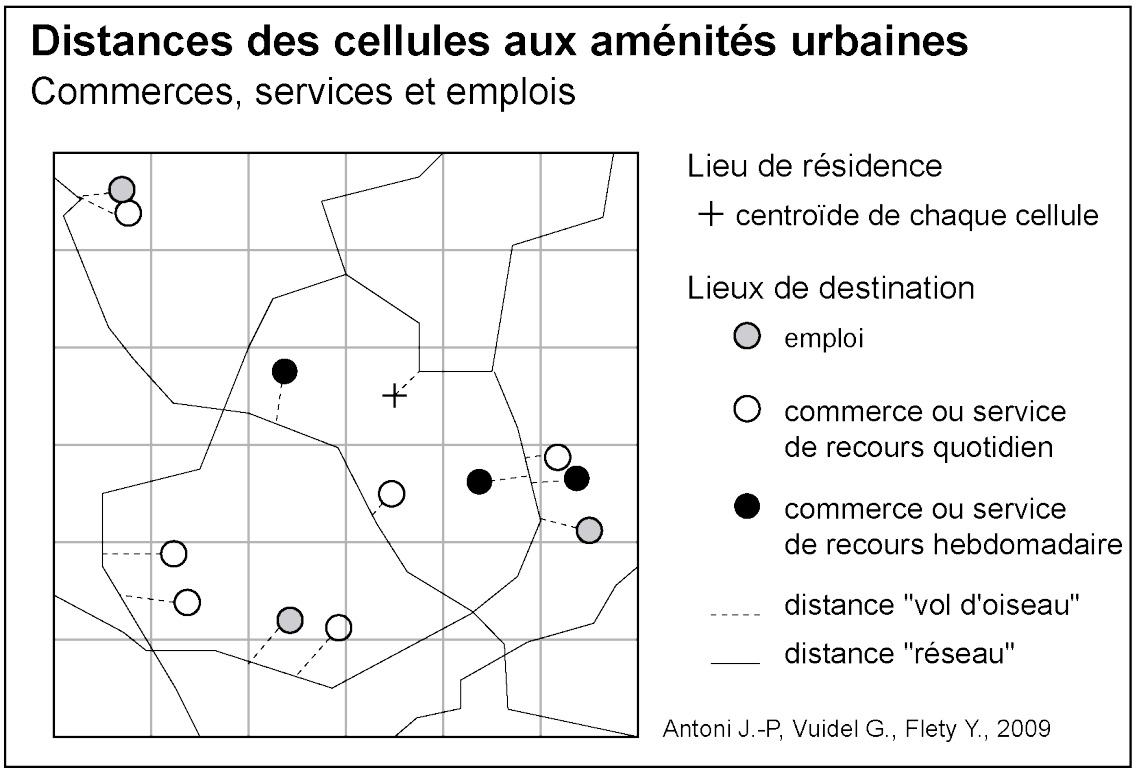

Figure 4.5.1 : Distances des cellules aux aménités urbaines

Mais ce calcul ne va pas être réalisé pour une aménité de niveau n, mais pour la moyenne des x aménités de niveaux n les plus proches, puis pondéré par la fréquence de recours (f) des aménités concernées. La formalisation suivante est ainsi proposée:

$$D_j = f_1 \frac{1}{n} \sum_i^n dn1_i + f_2 \sum_i^n dn2_i$$
$$avec\ f_1 + f_2 = 1$$

Il est à noter que les fréquences de recours aux services pourraient être adaptées par type d'espace évoqué en 4.3. et 4.4.1.. Ainsi, on pourrait supposer que la fréquence de recours hebdomadaire d'un habitant en zone rurale à un hypermarché est moindre que celle d'un habitant résidant en centre ville à son supermarché. Ce paragraphe se conclut sur l'obtention de distances aux aménités.

b. Un modèle gravitaire pour l'emploi

Il s'agit ici d'appréhender et de quantifier les distances entre des lieux de résidences et des poches d'emploi, avec la difficulté de ne pas connaître les origines et destinations

permettant le calcul de ces distances. L'approche à laquelle recourt volontiers le géographe lorsqu'il s'agit d'estimer des flux de populations entre entités spatiales dans une perspective relationnelle, est un modèle gravitaire. Les variables classiques de ces derniers sont de trois types : variables de génération, ici le nombre de logements, d'attraction, le nombre d'emplois et variable de résistance au déplacement, la distance.

Soit Ej le nombre d'emploi de la zone j et d_{ij} la distance entre la zone i et la zone j.
L'attractivité I d'une zone j par rapport a une zone i :

$$I_{ij} = \frac{E_j}{d_{ij}}$$

Le flux Fij de la zone i allant travailler à la zone j est exprimé par:

$$F_{ij} = N_i * \frac{I_{ij}}{\sum_k I_{ik}}$$

avec N_i : le nombre de logements dans la zone i et k une cellule

La distance moyenne domicile-travail d'une zone i :

$$D_i = \sum_k F_{ik} . d_{ik}$$

Bien que discutable, le recours à un modèle gravitaire nous permet une première approximation des distances pour relier une zone d'emploi en fonction de la localisation du logement.

c. Des distances aux consommations : choix modaux et parc automobiles

Après avoir obtenu pour chaque cellule des distances aux aménités et aux emplois, il s'agit maintenant de convertir ces dernières en consommations. Deux précautions doivent alors être prises ; elles sont relatives aux deux seuls choix modaux considérés dans ce travail, et concernent la marche à pied et le parc d'automobiles.

1. Un seuillage Marche à Pied (MAP) selon une loi de probabilité

Pour tenir compte de la marche à pied, une modification de toutes les distances obtenues précédemment est réalisée par le biais d'une fonction logistique (Figure 4.5.2).

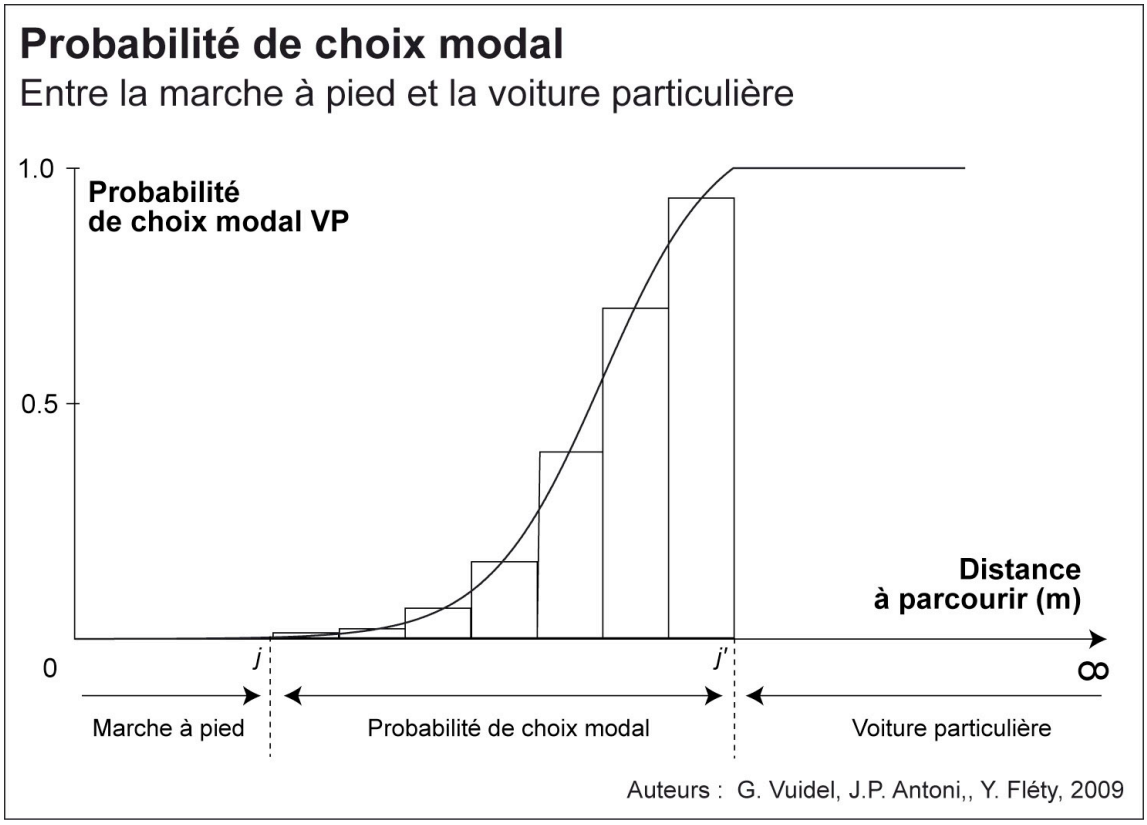

Figure 4.5.2 : Probabilité de choix modal

Cette fonction logistique est formalisée de la manière suivante :

$$L(x) = \frac{K}{1 + \beta e^{\mu x}}$$

Pour l'instant on a fixé β=10000 et μ=0,012, paramètres de la fonction, K étant un paramètre d'affinage. On définit K à partir de T, seuil limite à partir duquel tout le monde prend sa voiture.

$$K = T(1 + \beta e^{\mu T})$$

La fonction finale est définie en deux parties, la fonction logistique et une fonction linéaire y=x.

$$d'(d) = \begin{matrix} d < T : T \dfrac{1+\beta e^{\mu T}}{1+\beta e^{\mu T}} \\ d \geqslant T : d \end{matrix}$$

2. L'intégration du parc automobile

Pour convertir les distances obtenues précédemment en consommation, outre le choix modal de la marche à pied, le parc automobile doit être considéré. La consommation unitaire va donc considérer des catégories de véhicule permettant d'intégrer des évolutions du parc (proportion de VP gasoil, électrique etc.). Ces proportions pourraient être fonction du type d'espace évoqué précédemment (4.3. et 4.4.1.). Ainsi, la consommation unitaire peut être formalisée :

$$C = C_a N_a + C_b N_b + \ldots + C_n N_n$$

$$\begin{matrix} avec \quad C_n : consommation\,(L/km)\, des\, véhicules\, de\, catégorie \quad n \\ N_n : nombre\, de\, véhicules\, de\, catégorie \quad n\,(normes\, Euro) \end{matrix}$$

Si les Enquêtes Nationales Transport permettent de disposer de données nationales de composition du parc automobile non différenciées par types d'espace, elles apportent cependant une complication inutile pour l'instant dans ce travail exploratoire. La suite des calculs ne considère donc qu'un véhicule essence moyen par logement. Concernant les consommations et leurs émissions associées, et malgré les limites qu'il présente, le modèle COPERT et les tables d'émissions qu'il propose ont été retenus. En l'état, la conversion des distances en consommations revient donc à la multiplication par une constante. Le réseau routier utilisé pour les calculs de distances est vectorisé avec des vitesses par tronçon constitue une piste à suivre pour affiner le modèle. Pour conclure, ces choix modaux et de parc peuvent être adaptés en fonction de types d'espace évoqué en 4.3. et 4.4.1.

5. Résultats

Après une introduction de l'application Étiquette Énergétique Territoriale (EET) développée par Gilles Vuidel pour le calcul de ces étiquettes, quatre exemples de ces dernières, portant sur la Communauté d'Agglomération du Grand Besançon (CAGB), sont proposés en guise de résultats illustratifs.

5.1. Présentation succincte de l'application développée

Une présentation de l'application développée est proposée ici en trois étapes, reprenant les choix du menu de l'application, que sont successivement l'insertion des données d'entrée (Figure 5.1.1), les choix relatifs aux modalités de simulation (Figure 5.1.2) et les aspects liés à la géovisualisation (Figure 5.1.4).

a. Insertion des données d'entrée

Dans les boîtes de dialogue du programme Étiquette Énergétique Territoriale (EET), l'ouverture d'un nouveau projet nécessite la définition des données d'entrée. A partir de fichiers contenant des données géométriques et attributaires (fichier SIG au format ESRI Shapefile) relatives à la zone d'étude, aux services, réseau routier, bâti, logement et emploi, cette première étape vise la constitution d'une série d'images en mode matriciel, couches sources et supports de la simulation.

Il s'agit tout d'abord de considérer une zone d'intérêt plus large que la seule zone d'étude afin de se prémunir d'indésirables « effets de bords ». Il convient ensuite d'indiquer le fichier contenant les services, préalablement géo-référencés à l'adresse et classés selon leur niveau de fréquence de recours (N1: fréquence de recours quotidienne, N2: hebdomadaire). Le réseau routier, digitalisé en mode vecteur, et le bâti contenant les polygones individualisés du seul bâti résidentiel sont également requis. La couche IRIS au sens INSEE, doit présenter trois champs qu'il convient de sélectionner, proposant respectivement les données relatives au nombre de logements par IRIS, ceux de l'emploi, et la classification des IRIS par type d'espace précédemment évoquée. Si l'ensemble du projet repose sur la considération d'un espace cellulaire pour les motifs exposés en 4.4., Il convient en ce sens de spécifier une taille de cellule de travail, autrement appelée maille.

Les simulations ont été réalisées sur l'Aire Urbaine de la ville de Besançon dans le Doubs, avec comme périmètre et zone d'intérêt le SCOT du Grand Besançon, mais la zone d'étude et les résultats liés ne concernent que la Communauté d'Agglomération du Grand Besançon (CAGB).

Figure 5.1.1 : Boite de dialogue EET relative à l'insertion des données d'entrée

b. Paramétrage de la simulation

La seconde étape est relative au paramétrage de la simulation (Figure 5.1.2) sous la forme de quatre encarts qu'il convient de détailler :

- Les deux modes de simulation. L'encart propose deux modes de simulation liés à la considération du bâti résidentiel. Si la première option, mode normal, ne considère que le bâti existant, la seconde, dite prospective, propose d'étendre cette évaluation sur une zone tampon supposée urbanisable dont le rayon peut être déterminé par rapport au bâti résidentiel existant. Par défaut, le rayon de cette zone tampon est fixé à 200m ;
- Le choix modal. L'intégration des choix modaux est proposée en deux alternatives. La première option propose une évaluation théorique des choix modaux selon les distances parcourues le long d'une fonction logistique déterminant une répartition modale progressive entre le recours à la marche à

pied et l'usage d'un véhicule particulier (Figure 4.5.2) : le seuil de distance maximum effectué à pied est personnalisable et exprimé en mètres.

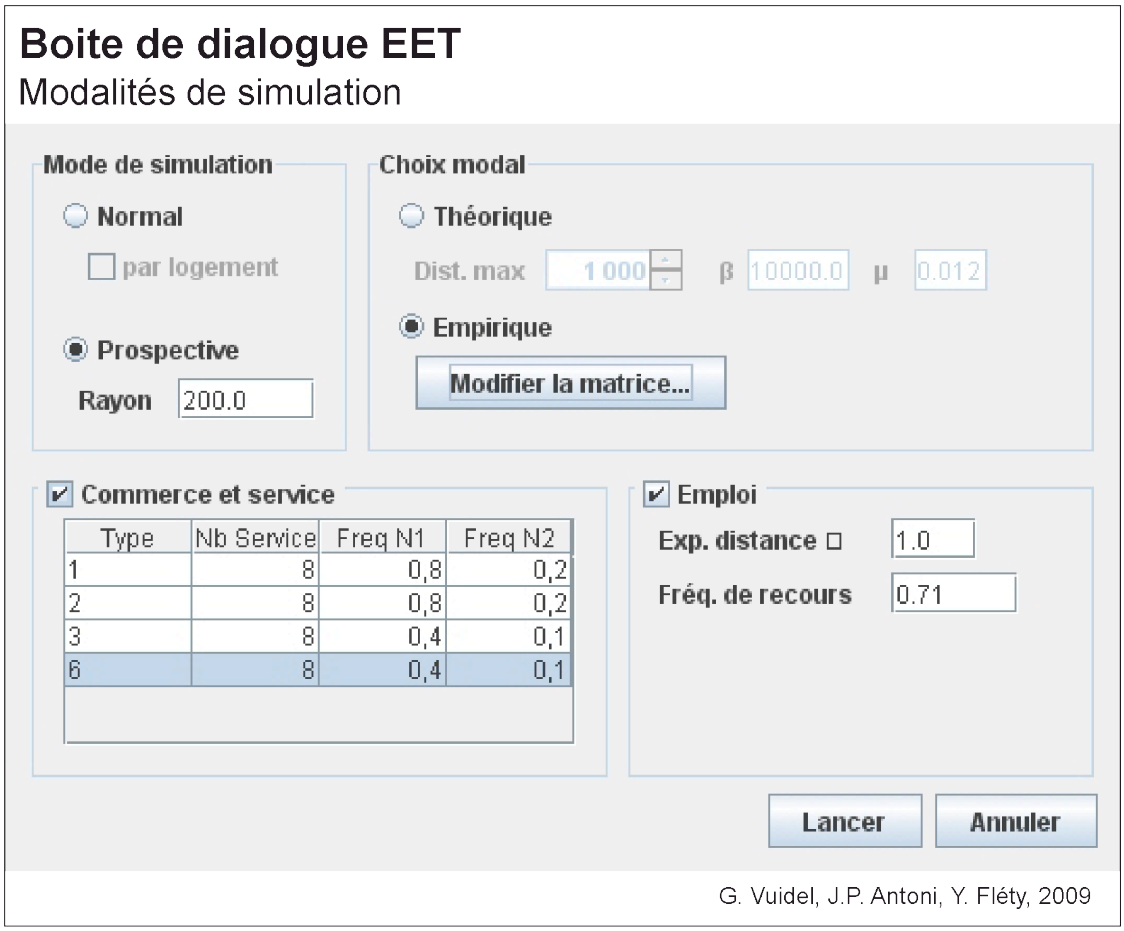

Figure 5.1.2 : Boite de dialogue EET des modalités de simulation

La seconde option concerne l'intégration de choix modaux zonaux empiriques (Figure 5.1.3), à partir d'étude(s), par la modification d'une matrice : il est ainsi possible d'intégrer les probabilités de recours pour chaque mode et pour chaque type d'espace en fonction de distances parcourues : en type d'espace 1, IRIS appartenant à un pôle urbain, 20% des personnes utilisent leurs véhicules pour parcourir une distance de 600m alors que 80% des personnes habitant en type d'espace 3, rural, ont recours à leur véhicule pour effectuer cette même distance.

Mode	0	100	200	400	600	800	1000	1200	1500	1800	2000
1	0	0	0	0	0,2	0,4	0,8	1	1	1	1
2	0	0	0	0	0,2	0,4	0,8	1	1	1	1
3	0	0	0,2	0,4	0,8	1	1	1	1	1	1
6	0	0	0,2	0,4	0,8	1	1	1	1	1	1

Ok Annuler

Figure 5.1.3 : Matrice des ratios modaux par type d'espace

- Les commerces et services. L'encart « commerce et service » considère les aménités de type urbain. Il convient de préciser le nombre de services les plus proches considérés pour chaque niveau de service (N1, N2) ainsi que leurs fréquences de recours, et ce pour chaque type d'espace ;
- L'emploi. Si le nombre d'emploi par IRIS constituait une donnée d'entrée, l'affectation d'un déplacement à un lieu d'emploi est effectuée par le recours à un modèle gravitaire comme aperçu précédemment. En ce sens, le paramétrage de l'exposant de la distance, présente au numérateur de ce mode de calcul, est paramétrable, tout comme le niveau de fréquence de recours à l'emploi.

c. Géovisualisation

Après avoir réalisé la simulation, des capacités de visualisation, discrétisation et d'export, que ce soit de cartes, de couches de données individuelles ou d'histogrammes sont offertes à travers des formats autorisant l'interopérabilité. Une illustration de l'interface est proposée en figure 5.1.4.

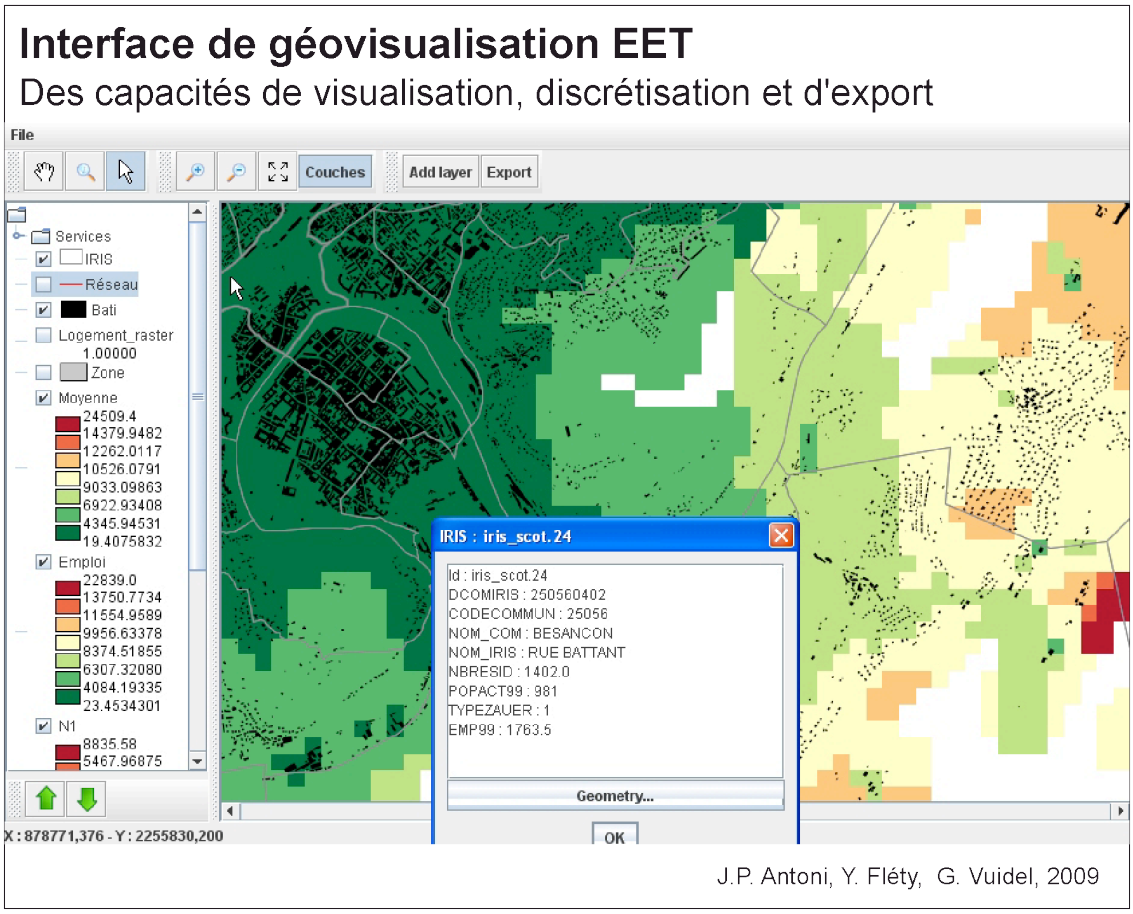

Figure 5.1.4 : Interface de géovisualisation de EET

5.2 Des possibilités pour les étiquettes énergétiques

Grâce à l'outil développé dans le cadre du programme MobiSim, de nombreuses simulations sont possibles sur différents territoires, sous réserves de disposer des données adéquates. Parmi ces simulations, nous avons ici retenus quatre possibilités (Figures 5.2.1 à 5.2.4) d'étiquettes énergétiques qui montrent chacune des aspects différents des mobilités urbaines et des consommations d'énergie qui leur sont associées. Chacune d'entre elle s'oriente donc également vers une utilité particulière et se destine de ce fait à un public spécifique, qu'il s'agisse du ménage à la recherche d'une localité de résidence, du gestionnaire soucieux du fonctionnement du territoire dont il a la charge ou de l'aménageur qui questionne de manière prospective les développements possibles d'une agglomération.

Mise à part les modalités spécifiques précisées dans chacune des légendes des cartes suivantes, les paramètres communs de simulation sont : la considération de 5 services avec fréquence de recours 0,8 pour N1 et 0,2 pour N2, un seuillage marche à pied fixé à 1000m, un véhicule essence consommant 7l/100km, et un PCI pour l'essence de 33kJ/l.

a. Une étiquette « Services et commerces »

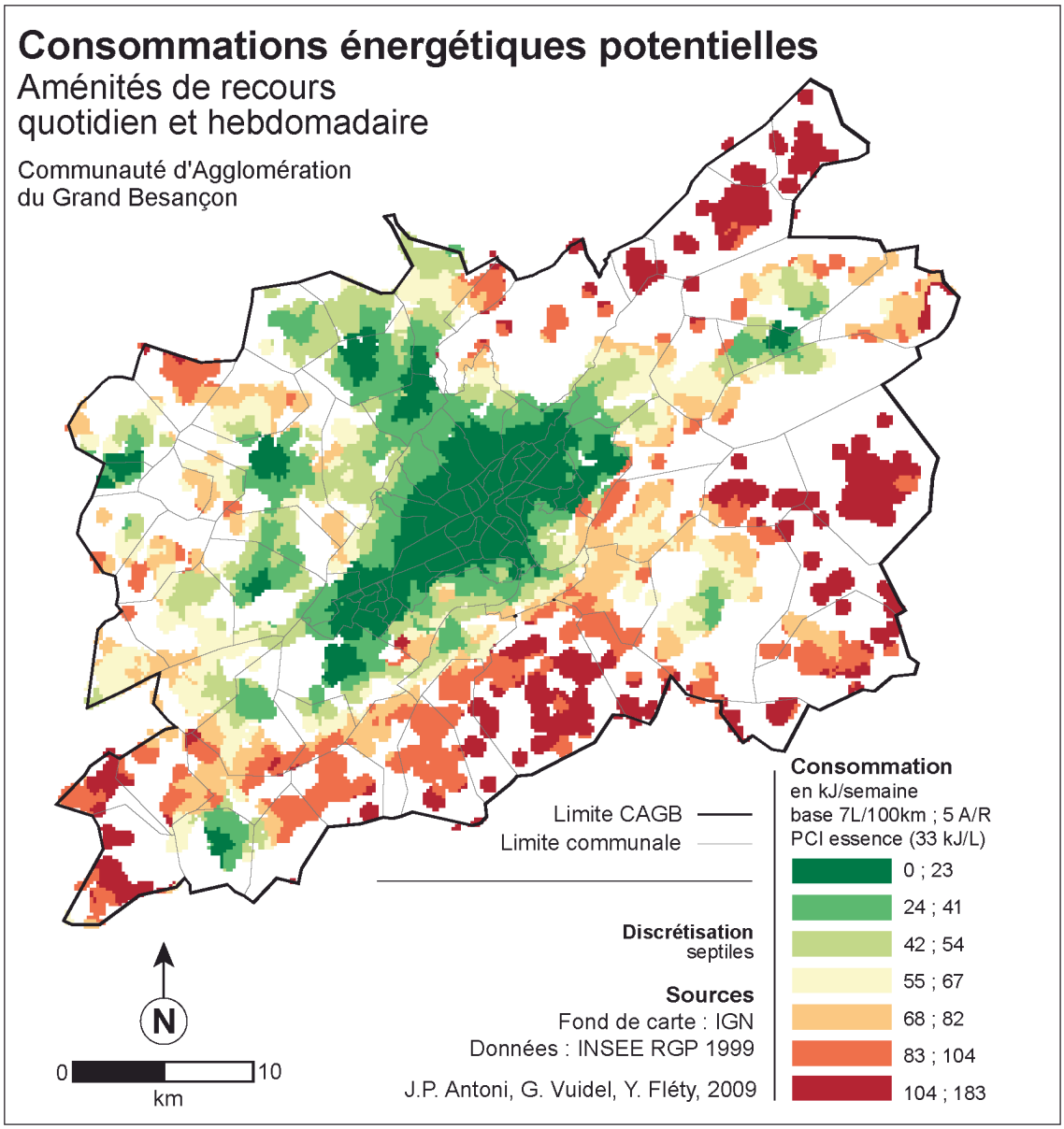

Figure 5.2.1 : Etiquette « Services et commerces » pour la CAGB en mode prospectif

La première proposition d'étiquette ne tient compte que des services et commerces. Le calcul des distances moyennes générées par les déplacements vers ces aménité est pondéré par une fréquence de recours théorique : un habitant va par exemple chaque jour acheter son pain dans une boulangerie, mais ne se déplace qu'une fois par

semaine vers un supermarché qui lui permet de faire des courses hebdomadaires. Le calcul se fonde sur les distances qui séparent chaque cellule des cinq services et commerces de niveau 1 (recours quotidien) et les cinq services de niveau 2 (recours hebdomadaire) les plus proches. Ce type d'étiquette pourrait se destiner à un public de ménage cherchant à optimiser la localisation de leur résidence principale ou à un public d'aménageur ou de décideurs qui chercherait à implanter une nouvelle offre de commerces ou de services.

b. Une étiquette « Emplois »

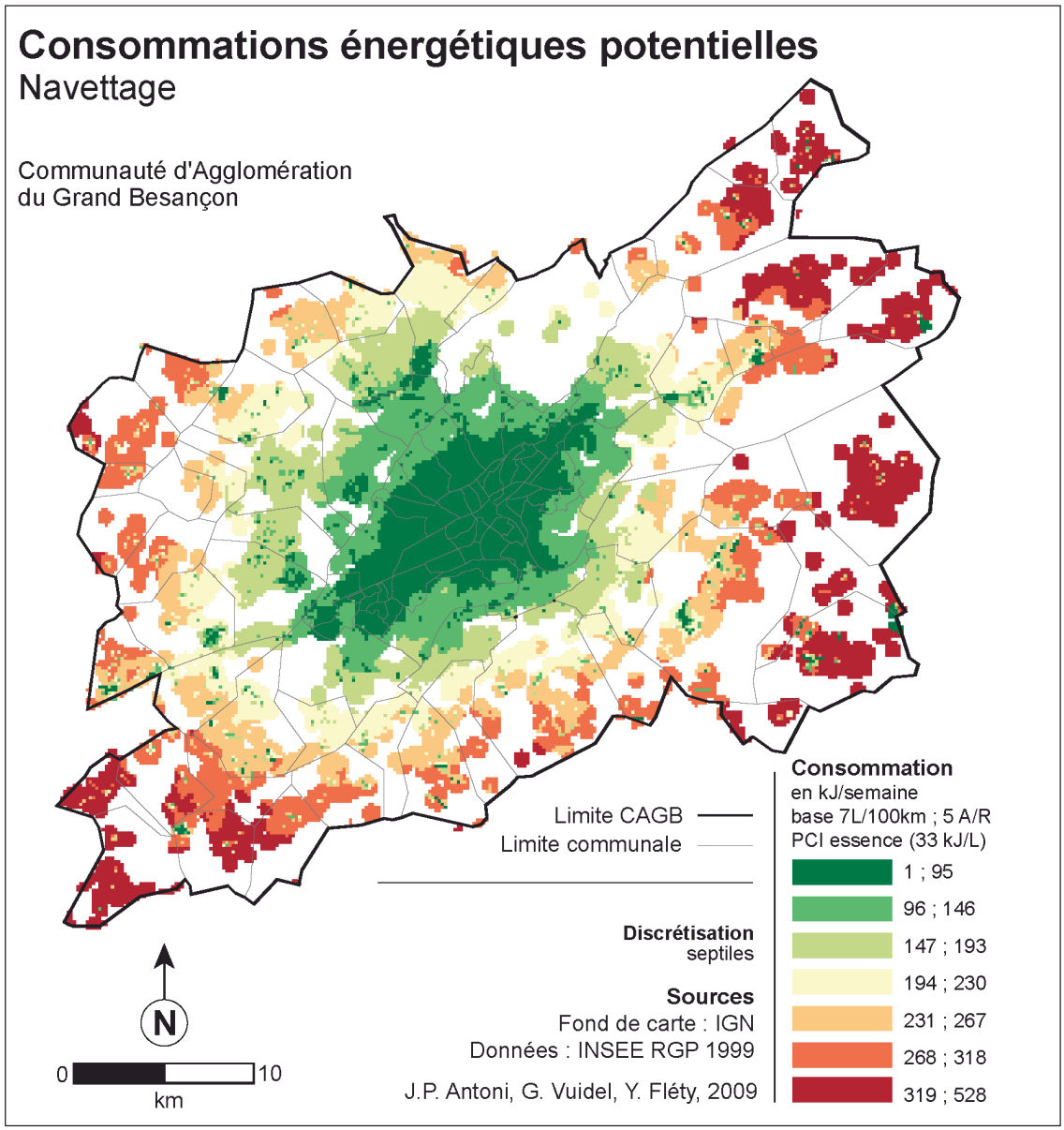

Figure 5.2.2 : Etiquette « Emplois » pour la CAGB en mode prospectif

La deuxième proposition d'étiquette (figure 5.2.2.) ne considère que les déplacements liés au travail. Cette prise en compte nécessite d'associer chaque cellule, considérée comme un point de départ et associée à un espace résidentiel, à une autre cellule, considérée comme un point d'arrivée et associée à une zone d'emploi. Cette association se fait par un modèle gravitaire (de manière très simpliste pour l'instant), classique pour ce type d'opération. On considère que les individus se déplacent vers leurs lieux de travail cinq jours par semaine, et à raison d'un seul véhicule par ménage. Ce type d'étiquette pourrait se destiner à un public d'aménageurs ou d'élus soucieux de connecter les futurs espaces résidentiels aux futures zones d'activités, en tenant compte de l'existant.

c. Etiquettes de synthèse « Mobilités/habitat »

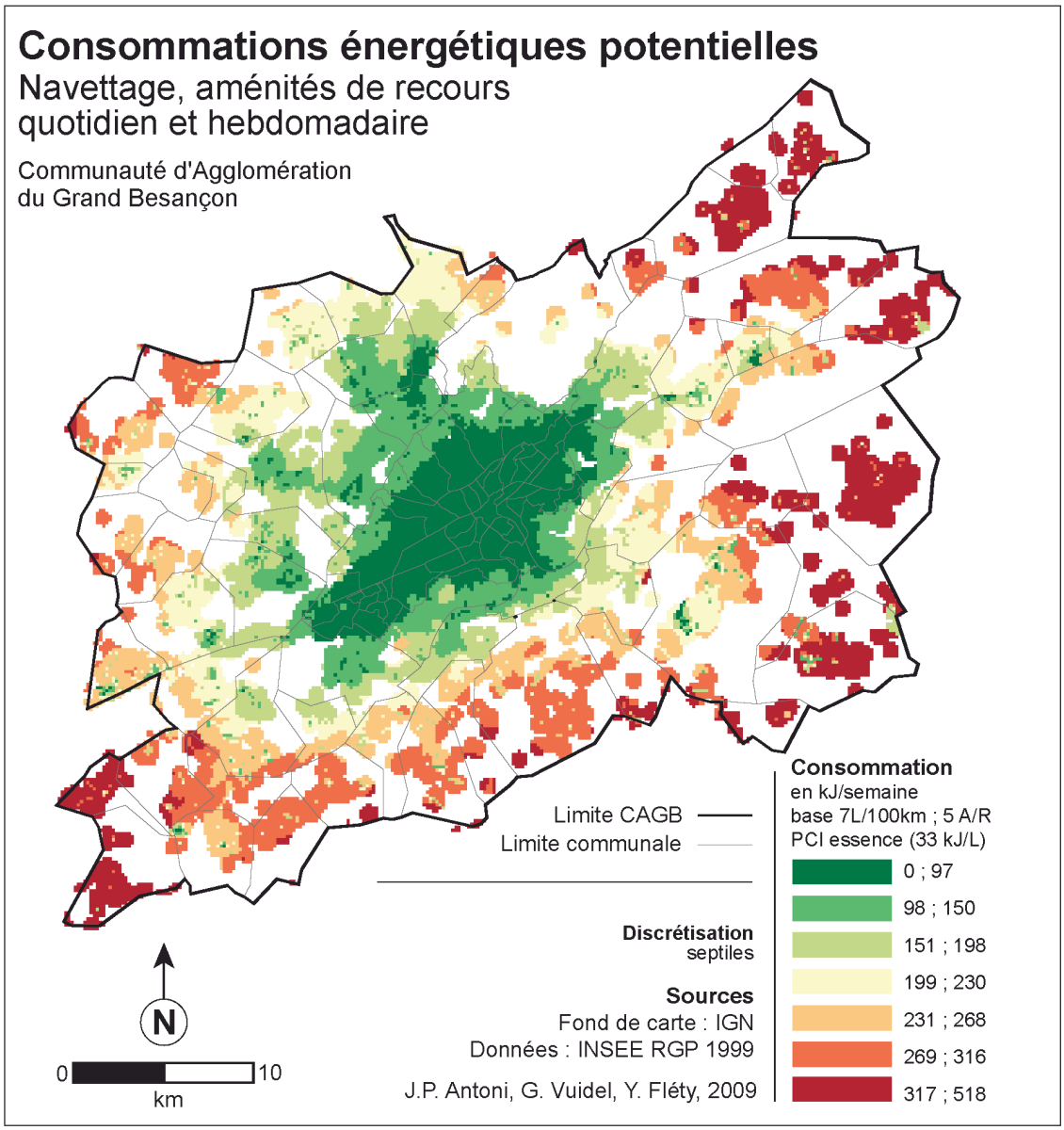

Figure 5.2.3a : Etiquette de synthèse « Mobilités/habitat» pour la CAGB en mode prospectif

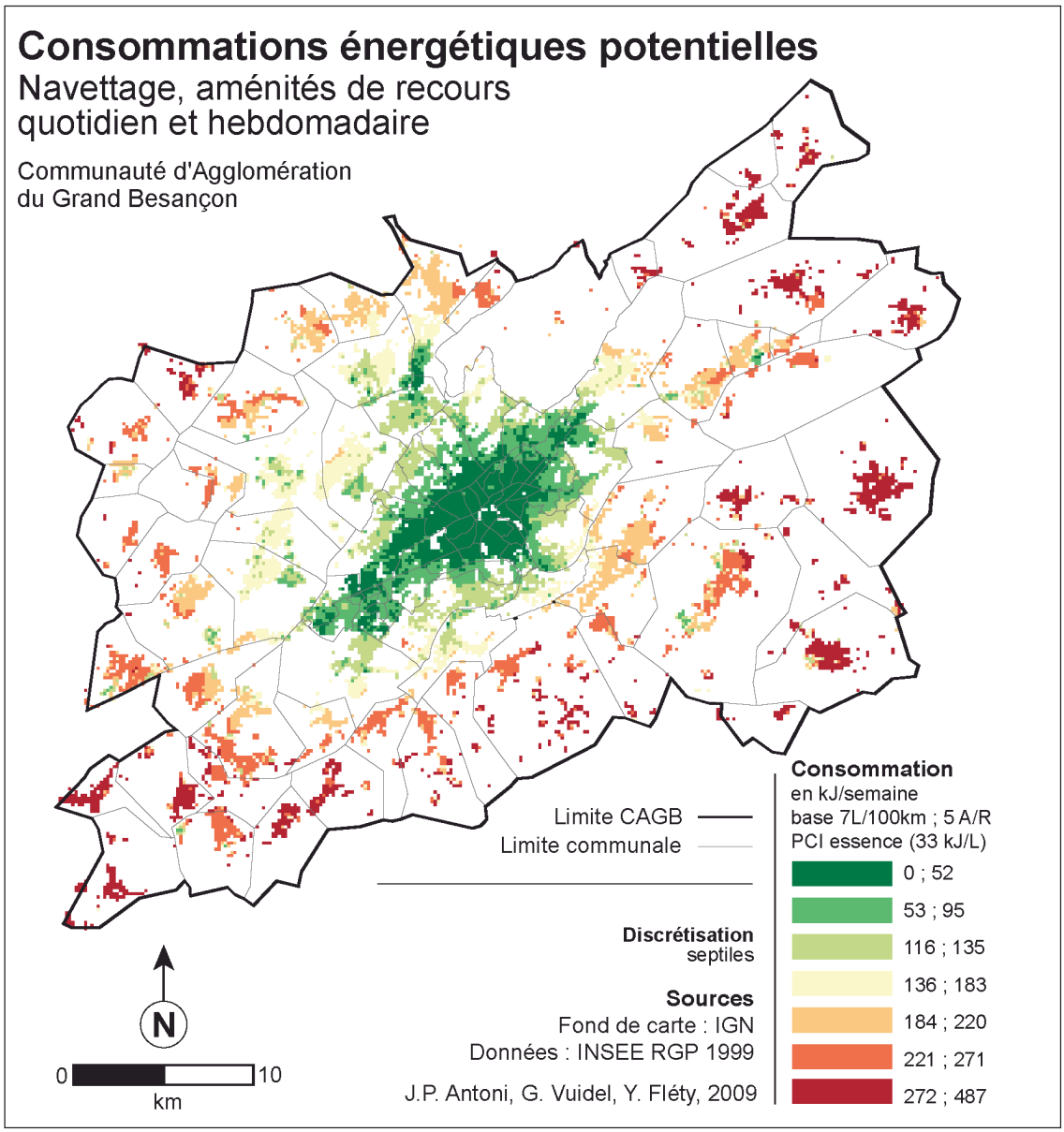

Figure 5.2.3b : Etiquette de synthèse « Mobilités/habitat» pour la CAGB en mode normal

La troisième proposition d'étiquette additionne les distances moyennes parcourues vers les commerces et les services (Figure 5.2.1) et les distances domicile-travail parcourues quotidiennement (Figure 5.2.2). Toutefois, ce résultat peut se décliner en deux versions : dans la première, les distances sont considérées de manière brute dans un buffer de 200m autour du bâti existant (volonté prospective de maîtrise de l'urbanisation à venir ; Figure 5.2.3a), alors que dans la seconde, les calculs ne sont effectués que pour les cellules déjà bâties (Figure 3.2.3b). Ces deux étiquettes

pourraient se destiner à un public de ménages cherchant à optimiser la localisation de leur résidence principale, en tenant compte de l'offre de commerces et de services et d'un déplacement domicile-travail pour au moins une personne du foyer.

d. Une étiquette de synthèse pondérée par les logements

« Tout dépend de l'utilisation qui est faite des choses » Ainsi, une voiture très énergivore ne consommera pas ou peu si elle ne roule pas ou que très rarement. De façon similaire, un espace éloigné des aménités n'est pas énergivore s'il n'est pas ou que peu densément habité et inversement, un espace proche des aménités est possiblement énergivore s'il est densément ou très densément habité. La considération des consommations brutes présentées jusqu'ici n'a qu'un intérêt limité. Il convient donc de considérer l'utilisation potentielle des distances moyennes jusqu'ici présentées, en les pondérant par le nombre de logements. Il s'agit donc de multiplier ces distances par la densité de logements calculée précédemment, en ajoutant une nouvelle hypothèse lourde : il n'y a qu'un véhicule effectuant ses trajets par logement. Ainsi, la consommation C' se formalise :

$$C'_i = N_i D_i$$

$$Avec\ N_i : nombre\ de\ logements\ par\ cellule$$
$$D_i : distance\ aux\ aménités$$

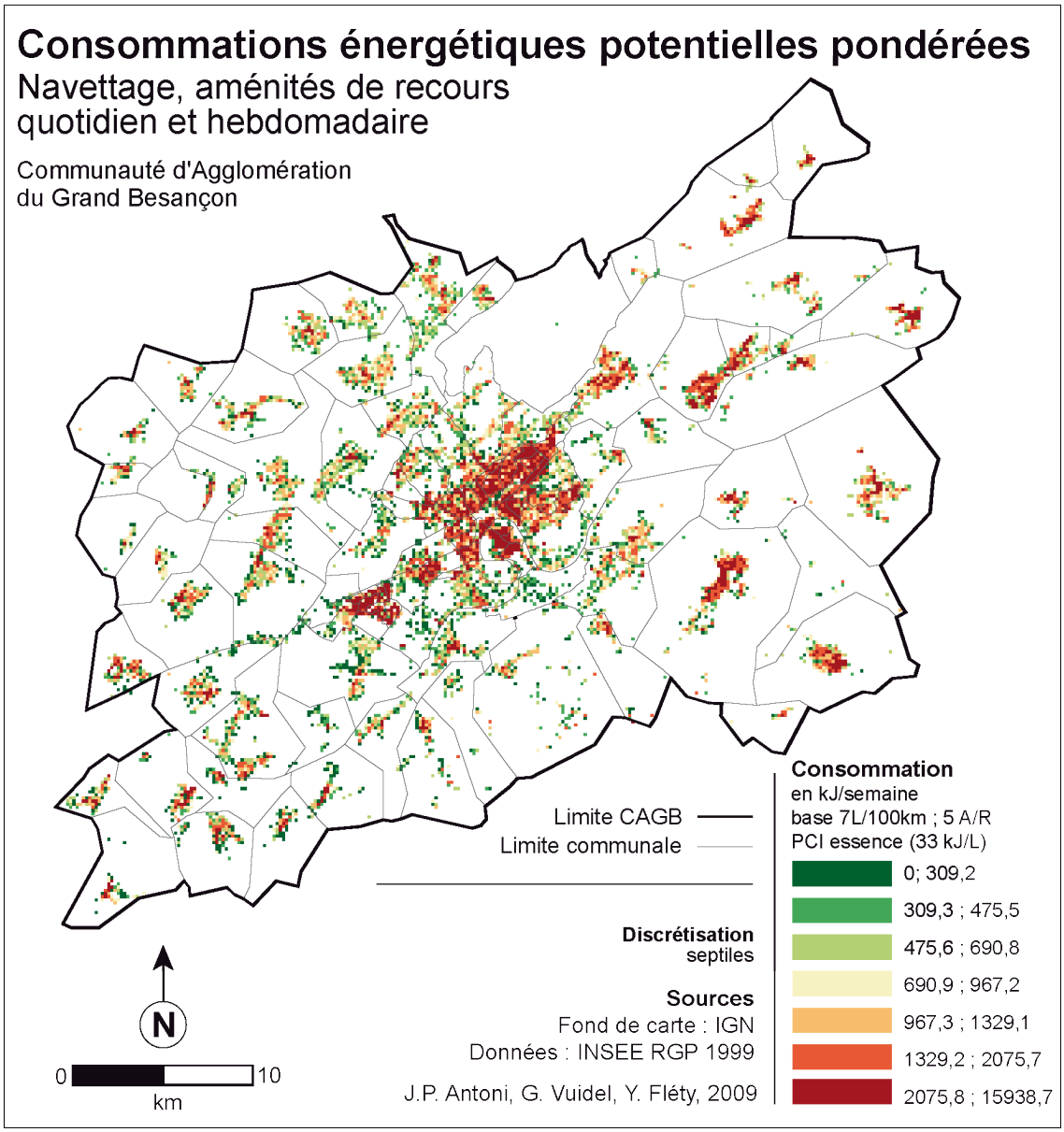

Figure 5.2.4 : Etiquette de synthèse « Mobilités/habitat» pour la CAGB en mode normal avec une pondération par les logements

La quatrième proposition d'étiquette présente les mêmes résultats que la troisième, mais multiplie les distances moyennes calculées pour chaque cellule par le nombre de logements qu'elle contient : on simule ainsi que chaque foyer effectue un déplacement moyen quotidiennement ou hebdomadairement. L'image résultante montre bien, dans ce contexte, que, compte tenu de la densité de population, les zones les plus énergivores se situent au centre en ville, même si, rapportée au logement, la consommation d'énergie est largement plus importante dans les périphéries et dans

l'espace périurbain. Ce type d'étiquette pourrait se destiner à un public de techniciens du territoire ou de chercheurs, soucieux d'appréhender les mobilités et le fonctionnement urbains de manière globale, à une échelle macroscopique.

La figure 5.2.5 est l'illustration d'une proposition d'étiquette concernant une cellule particulière, zone de territoire. Elle présente les éléments identifiés sur la plupart des étiquettes déjà développées.

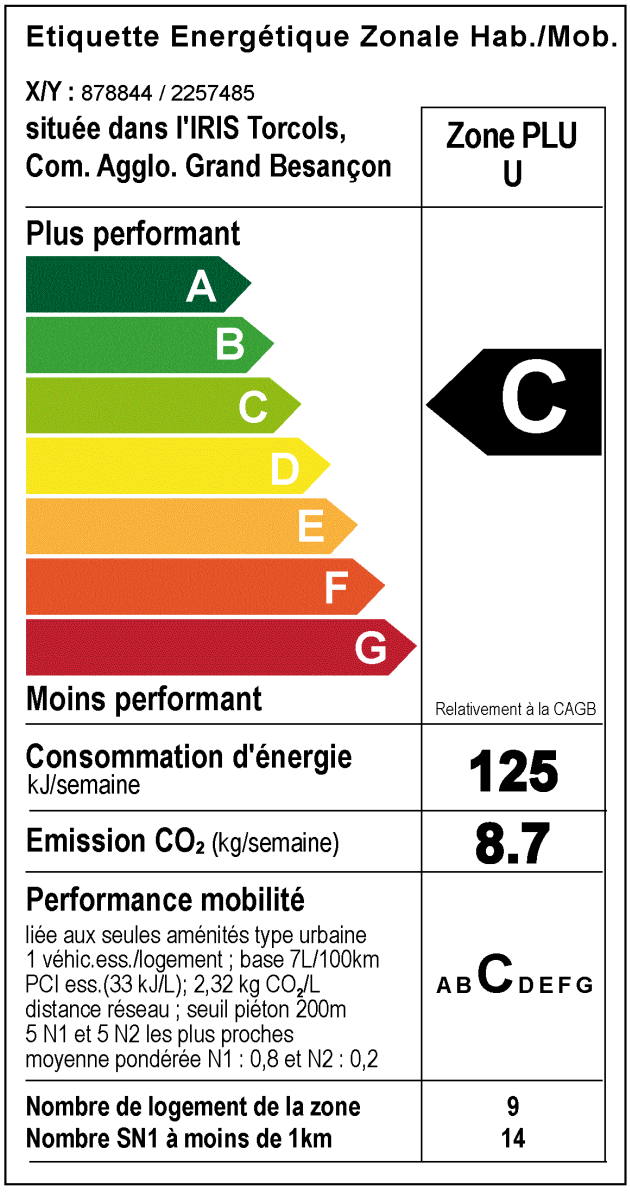

Figure 5.2.5 : Proposition d'étiquette énergétique territoriale

6. Conclusion et perspectives

Au terme de cette étude qui proposait une première approche pour la mise en place d'étiquettes énergétiques appliquées aux territoires et utiles aux problématiques d'aménagement dans le cadre de la volonté actuelle de réduction des consommations d'énergie, les résultats apparaissent plus ou moins opérationnels et fortement prometteurs, mais demandent à être complétés et affinés sur différents points, relativement complexes à appréhender.

Vers un outil pour aménager les territoires

Premièrement, les étiquettes territoriales présentées ici sont construites selon une méthode reproductible qui permet de considérer les consommations d'énergie en lien avec l'urbanisation et les mobilités urbaines des agglomérations françaises et européennes, indépendamment de leur localisation, de leur spécialisation sociodémographique et de leur taille. Les « Etiquettes énergétiques territoriales » apparaissent ainsi comme :

- un outil construit pour chaque territoire, donc relatif et évolutif : les valeurs permettant de classer les territoires dans chaque catégorie ne sont pas des « absolus » mais dépendent au contraire uniquement du contexte local. Les résultats sont donc relatifs au contexte et aux configurations propres à chaque agglomérations, ce qui permet de gommer des différences de configurations de départ (entre des villes concentrées, étalées, polycentriques, industrielles, tertiaires, etc.) ;
- un outil pour qualifier les terrains ouverts à l'urbanisation : les valeurs de chaque cellule indiquent les mobilités potentielles qui lui sont essentielles et permettent de calculer les consommations énergétiques et les émissions de polluants qui en découlent ; l'ouverture ou *a contrario* la fermeture de certaines parcelles à la construction peut alors se concevoir selon une volonté d'optimiser les déplacements et de réduire les consommations d'énergie ;
- un outil à manier avec précaution : les valeurs de chaque zone ne sont données qu'à titre indicatif et font référence à un comportement normé pour les habitants (qui répond aux normes retenues pour le calcul d'autres étiquettes, notamment celles qui concernent les appareil électroménagers).

Dans un tel contexte, les étiquettes semblent donc tout à fait compatibles avec les préoccupation de l'urbanisme règlementaire et peuvent permettre de qualifier les territoires, les espaces, les quartiers et les parcelles dans les PLU ou dans les SCoT, en fonction de la consommation énergétique que leur urbanisation induit ou induirait (selon les comportements normatifs mis en exergue plus haut).

Deuxièmement, les étiquettes énergétiques territoriales apparaissent également comme un outil ouvert à la simulation et à l'aide à la décision, ce qui leur confère un rôle potentiel pour l'étude prospective de l'urbanisation et de la planification territoriale. Ici, trois leviers peuvent être identifiés, qui se traduisent en termes de propositions pour les projets d'urbanisme et d'aménagement :

- Proposer la création d'aménités dans certains secteurs pour les programmes de logements afin de réduire les distances moyennes, ce qui revient à influencer les programmes des projets d'architecture et d'urbanisme, en utilisant les Etiquettes comme autant d'indicateurs pertinents pour une simulation ;
- Proposer des degrés de densité de logements permettant d'optimiser le couple « localisation/densité de logements », ce qui comme précédemment revient à influencer localement les programmes de logements et à en simuler les conséquences sur l'agglomération et sa forme urbaine à un niveau global ;
- Simuler une évolution du parc automobile (et visualiser, par exemple, l'effet d'un parc électrique de 5%, 10%, 50%, etc.) dans la mesure où l'on peut supposer que celui-ci évoluera dans le sens d'une diminution notable des consommations d'énergies et des émissions de polluants à moyen terme.

Une nécessité : affiner le paramétrage et la problématique de déplacement

Cela étant, la méthodologie proposée ici, bien que cohérente et adéquate, pose également un certain nombre de questions qui ne trouvent pas de réponse immédiate, mais mériteraient des études et des recherches complémentaires. Parmi celles-ci, on peut citer les suivantes, qui conditionnent en grande partie les résultats obtenus :

- Quel est le niveau de recours des activités i.e. quelles aménités relèvent d'un recours quotidien, hebdomadaire, etc. ? Des enquêtes ne devraient-elles pas compléter les estimations utilisées ici et basées sur les travaux de P. Frankauser *et al.* (2007) ?

- Quel est le nombre d'aménités de proximité qu'il faudrait considérer pour « normer » le comportement des individus et calculer les étiquettes qui en découlent ? Quelle est la signification thématique du nombre 5 retenu ici ?

- Quel seuil de distance de marche à pied faut-il retenir ? Ce qui revient à déterminer les seuils à partir desquels s'opèrent les différents choix modaux, qu'il convient de

différencier en fonction de l'espace (urbain, périurbain, rural) dans lequel ils sont effectués.

Parallèlement, les questionnements soulevés ici appellent également à un approfondissement sur certains aspects de la problématique plus générale des déplacements. En effet, nous n'avons ici tenu compte que des déplacements concernant l'emploi et le recours aux commerces et aux services. Il apparaît cependant évident que d'autres types de mobilités permettent de qualifier les déplacements urbains. Dans ce contexte, quid des mobilités liées au sport, aux loisirs, aux aménités de type rural ? Et comment qualifier ces dernières ? De même, les transports en commun ne sont pas intégrés mais pourraient être considérés, tant pour réviser les étiquettes énergétiques des territoires desservis que pour évaluer de manière prospective l'impact de l'implantation de nouvelles lignes. Autant de questionnements complémentaires qui ouvrent des pistes de recherche à venir, et qui s'inscrivent pleinement dans la problématique du projet MobiSim…

7. Références bibliographiques

ADEME, 2008, Le poids des dépenses énergétiques dans le budget des ménages en France , Lettre Etude et Stratégie n°11 du 3 avril 2008, Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie, en ligne le 29/07/2008, http://www2.ademe.fr/servlet/list?catid=17390.

COPERT, logiciel de modélisation des émissions polluantes imputables aux transports routiers, version 4, site officiel du projet en ligne le 12/05/2009, http://lat.eng.auth.gr/copert/

DEED, concept, méthode et logiciel « Diagnostic Energie Environnement Déplacements », http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=13711

DGEMP, 2003, Les consommations d'énergie du secteur résidentiel et tertiaire par usage, Pages statistiques, Direction Générale de l'Energie et des Matières Premières, en ligne le 29/07/2008, http://www.industrie.gouv.fr/energie/statisti/rt_energies_usage.htm

DGEMP, 2008, Bilan énergétique de la France pour 2007, Rapport annuel de l'Observatoire de l'Energie, MEEDDAT, Direction Générale de l'Energie et des Matières Premières, 30p.

ENERTER, outil de modélisation énergétique territoriale, Energie-Demain, site internet de l'éditeur, en ligne le 12/05/2009, http://www.energies-demain.com/spip.php?article13

Fankhauser, P. et al., 2007, Vers des déplacements périurbains plus durables: proposition de modèles fractals opérationnels d'urbanisation, Rapport final PREDIT, UMR 6049 CNRS, Sept. 2007, 101p.

Fusco G., 2001, Conceptual modelling of the interaction between transportation, land use and the environment as a tool for selecting sustainability indicators of urban mobility, in Cybergeo, 12th European Colloquium on Quantitative and Theoretical Geography, St-Valery-en-Caux, France, 7-11 Septembre 2001, 20p.

Grenier, A. 2007, Ville et Énergie, spécificité et complexité de la question en France, in Les annales de la recherche urbaine n°103, septembre 2007, En ligne le 12 /05/2009 http://209.85.229.132/search?q=cache:ujFEIJgBqD8J:www2.ademe.fr/servlet/getBin%3Fname%3D57B724F4FC3A35B187FC519E9D6774E51205847220100.pdf+anne+grenier+ademe&cd=5&hl=fr&ct=clnk&gl=fr&client=firefox-a

Gusbin D., 2003, Approche économique de la consommation d'énergie par le ménages, Séminaire Energie de l'Institut pour un Développement Durable IDD, 26 mai 2003, Gembloux, Belgique, users.skynet.be/idd/documents/energie/SE2P4.ppt.

Haas R., Auer H., Biermayr P., 1998, The impact of consumer behavior on residential energy demand for space heating, in Energy and Buildings (27), pp. 195-205.

Heiple S., Sailor D. J., 2008, Using building energy simulation and geospatial modeling techniques to determine high resolution building sector energy consumption profiles, in Energy and Buildings (40), pp. 1426-1436.

IMPACT, logiciel de modélisation des émissions de polluants et consommation liées à la circulation routière, version 2, http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=13708

INSEE, 2003, Le répertoire des entreprises et des établissements SIRENE ("Système Informatique pour le Répertoire des Entreprises et de leurs Établissements"), Base de données.

IWU, 2003, Deutsche Gebäudetypologie, systematik und datensätze, Dokumentation, Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 9p.

MEDD, 2004, Plan Climat 2004, face au changement climatique agissons ensemble, Rapport de la Mission Interministérielle sur l'Effet de Serre, Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable,

MEEDDAT, 2008, Synthèse des principales mesures de la loi d'orientation Grenelle de l'environnement, Site ministériel, Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire, en ligne le 2/08/08, www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/3._Synthese_des_mesures_cle092cd9-1.pdf.

Magnin G., 2007, Perspectives énergétiques de la France à l'horizon 2020-2050 : Point de vue d'Energie-Cités, Point de vue, Energie Cités, en ligne le 11/01/2008, http://www.energie-cites.org/IMG/pdf/rapport_cas_opinion_energie_cites_oct_2007.pdf.

Mitchell G., 2005, Urban development, form and energy use in buildings: A review for the solutions project, in EPSRC SUE SOLUTIONS consortium, University of Leeds, August 2005, 28p.

Morice N., Traisnel J. P., Delvert K. et al., 2004, Etat de l'art et synthèse en matière de prospective, rapport de recherche R1, Projet ETHEL, Action Concertée CNRS – Ministère de la Recherche, LET, 67p.

Pettersen T., 1994, Variation of energy consumption in dwellings due to climate, building and inhabitants, in Energy and Buildings (21), pp. 209-221.

Projet ETHEL voir Raux et al.

Querrien A., Mattei M. F. (dir.), 2007, La ville dans la transition énergétique, in Les annales de la recherche urbaine (n°103), p. 224. Préambule http://www.annalesdelarechercheurbaine.fr/sous-rubrique.php3?id_rubrique=64

Raux C., Traisnel J. P., Nicolas J. P. et al., 2005, Bilans énergétiques Transport-Habitat et méthodologie BETEL, rapport de recherche R2, Projet ETHEL, Action Concertée CNRS – Ministère de la Recherche, LET, 138p.

Raux C., Traisnel J. P., Pochet P. et al., 2006, Analyse et modélisation des comportements transports-habitat-localisations, rapport de recherche R3, Projet ETHEL, Action Concertée CNRS – Ministère de la Recherche, LET, 141p.

Raux C. Traisnel J.-P., 2007, Un outil pour répondre à la problématique transport-habitat, la Lettre Energie des Techniques de l'ingénieur.

Santamouris M., Kapsis K., Korres D. et al., 2007, On the relation between the energy and social characteristics of the residential sector, in Energy and Buildings (39), pp. 893-905.

Sjogren J., Andersson S., Olofsson T., 2007, An approach to evaluate the energy performance of buildings based on incomplete monthly data, in Energy and Buildings (39), pp. 945-953.

Smit R., Brown A., Chan Y., 2008, Do air pollution emissions and fuel consumption models for roadways include the effects of congestion in the roadway traffic flow?, in Environmental Modelling & Software (23), pp. 1262-1270.

Viejo-Garcia P., Keim C., 2008, *Simulation model of heat and power demand in a German region until 2030 : Stuttgart Metropolitan Region as case study*, in Architecture and Urban Planning (DDSS 2008). University of Technology Eindhoven, H.J.P. Timmermans, B. de Vries (eds.), p. 14.