

Vers des indicateurs locaux de performance énergétique : les étiquettes énergétiques territoriales

Une première approche à partir de l'estimation des mobilités quotidiennes

Jean-Philippe Antoni, Yann Fléty, Gilles Vuidel, Marie-Hélène de Sède-Marceau

UMR 6049 ThéMA, CNRS/Université de Franche-Comté
30, rue Mégevand – 25030 Besançon, France
jean-philippe.antoni@univ-fcomte.fr

MOTS - CLÉS

Consommation
énergétique
Mobilités
quotidiennes Espace
cellulaire
Modélisation
Espace urbanisé
Ville

RÉSUMÉ

Le constat d'un changement climatique planétaire est 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. À l'échelle locale, cette perspective se traduit par des objectifs concrets en matière de maîtrise et d'amélioration de l'efficacité énergétique, et peut passer par la définition d'indicateurs qui guideront l'action des décideurs. Dans ce contexte, la recherche présentée ici vise à définir un indicateur énergétique utile aux aménageurs : il s'agit de mesurer comment « se situent énergétiquement » les différents espaces que regroupe une même aire urbaine du point de vue des mobilités quotidiennes de ses habitants, dont le comportement est appréhendé de manière normative. Nous proposons ainsi de calculer des « étiquettes énergétiques zonales ». Nous avançons alors des éléments de méthodologie pour une évaluation globale de l'impact sur l'environnement local des mobilités quotidiennes, ne tenant compte de la composante habitat, que par l'intégration des densités de ménages. Cette méthode est appliquée à la Communauté d'Agglomération du Grand Besançon (CAGB). En conclusion, certains leviers d'action sont identifiés, mais les « étiquettes énergétiques territoriales » restent un outil à manier avec précaution. Il autorise toutefois une première qualification énergétique des territoires.

KEY WORDS

Energy Mobility
Cellular space
Modeling
Urban settlement
City

ABSTRACT

Towards local indicators of energy performance: the territorial energy labels. A first approach based on the estimation of daily mobility

Global warming compels to investigate the decrease of green house gas effect emissions and so energy consumption reduction. At local scale, it leads to reach concrete goals regarding energy efficiency, which could be approached through the definition of indicators and guidelines for decision-makers. From the example of the city of Besançon (France), this research aims to define an original indicator, useful for planners. Considering a standardized mobility behaviour of inhabitants, we propose elements of methodology to measure the relative energy consumption of each zone based on their relative distance to the nearest shops, services and employment zones. The results display "zonal energy labels", which could be included in planning documents. These labels are then weighted by the dwellings densities, and offer a macroscopic reading of the energy consumption at the urban scale. To conclude, some change levers are identified to improve energy efficiency, and even if "territorial energy labels" still remain a tool to be used cautiously, they allow a first energy characterization of territories.

1. Introduction

De nombreux questionnements actuels concernent, de près ou de loin, le domaine de l'énergie. Le constat d'un changement climatique global, notamment, est 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)¹. 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.). Parallèlement, la pénurie annoncée (à moyen terme) des énergies fossiles (Pic de Hubbert)², conditionne très directement les comportements de mobilité actuels, et implique de fait des questionnements nécessaires sur l'efficacité des systèmes énergétiques. Dans ce contexte, deux secteurs énergétiques retiennent particulièrement l'attention : l'habitat résidentiel et la mobilité quotidienne. Ils montrent en effet tous les deux des évolutions particulièrement préoccupantes (MEDD, 2004 ; DGEMP, 2008) : en France en 2007, la consommation d'énergie finale 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)³. À 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). À cela, il faut ajouter que les deux secteurs des transports et de l'habitat résidentiel font également partie des plus gros émetteurs de gaz à effet de serre (MEDD, 2004).

Ces quelques chiffres permettent d'identifier les domaines des transports et du résidentiel-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 réduction précédemment cités.

1 Le Facteur 4 est l'engagement pris par la France en 2003 de diviser par quatre les émissions nationales de gaz à effet de serre du niveau de 1990 d'ici 2050.

2 Le pic de Hubbert est le moment où la production de pétrole atteint son maximum et commence à décliner. La date de ce pic est aujourd'hui assez controversée : certains l'annoncent vers 2010-2015, d'autres plutôt vers 2025-2030.

3 À 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).

Sur le plan géographique, l'une des spécificités des fonctions résidentielles-tertiaires et des mobilités réside dans leur très forte concentration dans les milieux urbains et périurbains. Plus précisément, ces deux fonctions sont en elles-mêmes à l'origine de formes et de structures urbaines et territoriales. Une telle configuration géographique ajoute encore un certain degré de complexité pour la mesure de l'efficacité des systèmes énergétiques, dont la prise en compte 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 (Grenier, 2007). Elle est aujourd'hui plus ou moins intégrée 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, 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 de l'Environnement⁴ vise désormais à mieux intégrer les préoccupations énergétiques dans les documents d'urbanisme (MEDADD, 2008). L'élaboration de ces documents, (SCoT, PLU, etc.) fait ainsi l'objet de décisions complexes, soumises à un nombre important de critères économiques ou sociaux, esthétiques ou environnementaux, qui impactent les consommations énergétiques des territoires. Dans ce cadre, les acteurs de l'aménagement du territoire expriment aujourd'hui un besoin prégnant en termes d'outils d'aide à l'observation, à la gestion et la décision, relatifs aux questions de l'énergie, 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 des politiques associées aux objectifs de développement durable, la volonté de réduire les consommations énergétiques est aujourd'hui affirmée dans tous les domaines, qu'ils soient relatifs aux équipements ménagers, aux transports ou à l'habitat. L'idée d'ouvrir aujourd'hui cette

4 Le Grenelle l'Environnement est un ensemble de réunions et de réflexions provoquées par le gouvernement français en 2007 afin de réfléchir à des mesures s'inscrivant dans le cadre de la protection de l'environnement et du développement durable. Une série de lois (Grenelle I puis Grenelle II en 2009) concrétise désormais ces échanges.

volonté aux territoires et aux espaces urbanisés constitue le cœur de la problématique envisagée ici.

2.1. Les étiquettes : des labels et des indicateurs

Pour parvenir à des mesures concrètes, deux volets ont en effet été imaginés par le législateur : le premier est fiscal et relatif aux réflexions portées sur les écotaxes (taxe carbone, éco-pastille pour les automobiles, éco-redevance pour le transport routier, promotion de l'éco-construction, réhabilitation énergétique, crédits d'impôts, etc.), alors que le second apparaît plus informationnel et s'intègre dans des processus de labellisation, en s'appuyant sur différents outils qui concernent aussi bien les appareils électro-ménagers que les automobiles, les bâtiments ou les collectivités (étiquettes énergétiques, campagne Display⁵, label Cit'ergie⁶). Ce deuxième volet, qui nous intéresse particulièrement ici, se concrétise par la mise en place d'« étiquettes énergétiques » (figure 1) qui présentent un certain nombre de points communs :

- les références complètes de l'objet considéré (fabricant, modèle, etc.) ;
- la catégorisation de consommation énergétique illustrant une utilisation standardisée (parmi sept possibilités symbolisées par une couleur dans une palette du vert au rouge et identifiées par une lettre de A à G, déterminées en fonction d'un découpage linéaire) ;
- des informations connexes ou qui permettent de mieux comprendre le contexte dans lequel les mesures sont effectuées (dans le cas du lave-linge, par exemple, le bruit et/ou la consommation d'eau sont indiqués).

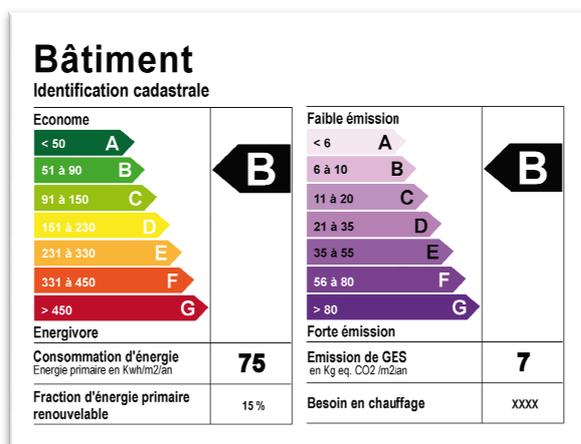


Figure 1. Une étiquette énergétique – l'exemple des bâtiments

5 <http://www.display-campaign.org/>

6 <http://www.citergie.fr>

Cette classification en sept classes⁷, construite à partir de la connaissance du parc actuel d'une famille d'appareils⁸, tout comme les informations complémentaires que fournissent ces étiquettes énergétiques, sont les reflets d'une incitation guidée par des objectifs. Par l'apposition d'une étiquette, le processus de labellisation renvoie donc à l'idée de satisfaction de certains critères, qui s'inscrivent dans une finalité de performance énergétique, et associent des objectifs de communication (envers le grand public) et de comparabilité (entre les objets ou les appareils étudiés). À partir de l'exemple que fournit cet outil, qui peut être considéré comme un indicateur synthétique et normatif de consommation énergétique, la question qui se pose ici est de savoir dans quelle mesure des étiquettes énergétiques peuvent être élaborées pour les territoires, au même titre qu'elles le sont pour les réfrigérateurs ou les automobiles.

2.2. Vers des étiquettes énergétiques « territoriales » ?

Un des objectifs de telles étiquettes énergétiques appliquées aux territoires et aux aires urbaines, pourrait alors consister à intégrer la performance énergétique de ces espaces⁹ (des îlots, des quartiers, des communes, etc., par exemple) dans les documents d'urbanisme, au sein desquels elle pourrait apparaître comme un outil pour comparer les espaces, pour communiquer sur leurs consommations potentielles, et pour réfléchir à une politique réglementaire. La performance énergétique de chaque zone pourrait alors s'entendre comme une consommation d'énergie réduite qui, à service rendu égal, viserait à diminuer les coûts environnementaux, économiques et sociaux liés à la production et la consommation d'énergie.

7 Il n'est pas aisé de trouver les raisons qui sont à l'origine de ce découpage en sept classes. En effet, si le Journal officiel des Communautés européennes du 10 mars 1998 stipule bien que la classe d'efficacité énergétique se mesure sur « une échelle allant de A (la plus efficace) à G (la moins efficace) » (Annexe 2) et donne des éléments de mise en forme pour le graphisme des étiquettes (Annexe 1), ces choix n'apparaissent justifiés à aucun endroit. On sait toutefois par ailleurs (cf. Cauvin *et al.*, 2008) qu'une discrétisation linéaire en sept classes n'est pas incohérente compte tenu de la problématique traitée.

8 La finalité diffère légèrement avec l'étiquetage énergétique des bâtiments qui est 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 : 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 catégorie de consommation supérieure (de A à G) 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.

9 Bien que de nombreux débats existent sur les définitions, nous employons ici les mots espaces, zones et territoires comme des synonymes.

Toutefois, l'élaboration de telles étiquettes se heurte d'emblée à un problème qui les distingue *a priori* des étiquettes énergétiques établies pour les automobiles ou les appareils électroménagers. En effet, dans les exemples précédents, l'objectif de comparabilité conditionne les valeurs et les bornes de classes énergétiques (de A à G), qui se fonde sur une connaissance exhaustive des parcs existant. Comparativement, les étiquettes énergétiques territoriales trouvent ici leur premier écueil : l'ensemble du « parc » d'espaces, de zones ou de territoires n'est pas connu (ni à l'échelle mondiale, ni même à l'échelle nationale), si bien qu'aucune valeur de référence ne peut être fixée de manière définitive ; il n'y a d'ailleurs peut-être que peu d'intérêt à construire ces indicateurs de cette manière (qui reviendrait à positionner l'étiquette de chaque zone par rapport à ce qui se passe à Rio, à Helsinki, à Pukhet ou ailleurs). *A contrario*, on peut préférer calculer les valeurs et les bornes des classes sur la base d'un espace de référence reconnu pour sa cohérence, sachant qu'il ne pourra de ce fait pas nécessairement être directement comparé à d'autres espaces. Par la cohérence de leur fonctionnement, les Aires urbaines (Le Jeannic, 1996 ; Le Jeannic et Vidalenc, 1997) identifiés par l'INSEE apparaissent typiquement comme des espaces porteurs d'une telle cohérence ; de plus, pour ces unités spatiales, des informations sont disponibles auprès de l'INSEE et de l'IGN de manière exhaustive.

Compte tenu de ce problème, la recherche engagée ici apparaît nécessairement exploratoire, et entend questionner la faisabilité et les modalités de mise en œuvre d'étiquettes énergétiques zonales pertinentes pour des territoires appartenant à une même aire urbaine¹⁰. Cette pertinence doit être mesurée au regard d'une volonté de maîtriser les planifications inscrites dans les documents d'urbanisme à venir, et confère aux étiquettes une dimension intrinsèquement utile à la prospective et à l'aide à la décision. Forte de ces limites, la question peut être posée à nouveau : est-il possible d'établir des étiquettes énergie pour les territoires ? Et plus précisément : comment et à quelle échelle définir ces espaces et ces territoires et comment quantifier leurs consommations énergétiques ? Puis pour finir : comment ces étiquettes peuvent-elles constituer un outil pour l'aménagement du territoire, quels leviers permettraient-elles de mettre en évidence ?

¹⁰ Ici, comme dans la suite du texte, l'expression urbaine est utilisée dans le sens géographique d'espace urbanisé, et non dans le sens statistique de l'INSEE.

3. État de l'art

Pour répondre à ces questions, une revue des méthodes d'évaluation des consommations et/ou des émissions énergétiques portant sur les territoires semble indispensable. Elle montre notamment que quatre types d'approches peuvent actuellement être distingués. Ils sont synthétisés dans le tableau 1.

Type d'approche	Expérience
1) Approches analytiques + analyse des facteurs discriminants, caractère méthodologique - applications non spatialisées	Projet ETHEL (Raux <i>et al.</i> , 2005 ; 2006), DEED
2) Approches technico-économiques + approches économétriques des consommations - espaces non différenciés (échelle)	Grusbin, 2003
3) Approches statistiques spécialisées + facteurs unitaires, entrée territoriale - évaluation a posteriori, spatialisée ou non	Enerter, COPERT-x, Heipleo8, Viejo08, 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

Tableau 1. Les approches relatives à l'évaluation des consommations énergétiques

Approches analytiques

Ce premier type d'approches tente d'analyser et de comprendre les facteurs et les mécanismes en jeu dans la consommation énergétique des territoires. La méthodologie fournie par le projet ETHEL (Raux *et al.*, 2006), par exemple, considère les distances cumulées des déplacements sur un territoire donné, en tenant compte de ses caractéristiques et de celles de la population qui l'habite, afin d'évaluer des consommations globales. Bien que réalisés dans le cadre des enjeux généralement associés à la prospective territoriale, les résultats du projet ETHEL ne sont pas spatialisés et ne considèrent pas les zones appartenant au territoire d'étude de manière différenciée.

Approches technico-économiques

La liste des modèles technico-économiques est relativement longue et leurs finalités générales apparaissent souvent indissociables d'une logique de bilans énergétiques. De nombreux auteurs (tels Gusbin, 2003) proposent en effet une approche économétrique de la consommation d'énergie des ménages et ont recours à des modèles de calcul comme Hermes¹¹ ou Primes¹², utilisés autant dans le

¹¹ Le modèle macro-sectoriel Hermes est issu d'une recherche initiée par la Commission européenne dans les années quatre-vingt dix. Plus de 6000 équations basées sur environ 7000 variables permettent de réaliser des projections concernant 16 branches

domaine des bâtiments que dans celui des transports. Cependant, les espaces n'y sont généralement pas différenciés, ce qui exclut la prise en compte de leurs spécificités fines.

Approches statistiques spécialisées

Cette troisième famille est sans doute celle dont les objectifs et les applications sont les plus proches des préoccupations présentées ici : elle s'appuie sur des modèles statistiques spécifiques aux territoires concernés et déclinés en fonction de thématiques particulières, relatives aux bâtiments ou aux transports. Porté par le bureau d'étude Énergies-Demain, l'outil ENERTER¹³ se présente comme un modèle technico-économique et permet de caractériser les consommations énergétiques des bâtiments à des échelles de territoire opérationnelles. Basé sur un recensement exhaustif et une description précise des surfaces habitées, il permet de mieux comprendre les consommations énergétiques et de construire des bilans territoriaux en fonction des consommations et des émissions afin d'identifier les possibilités de réhabilitation des bâtiments.

Dans la même famille, le modèle COPERT¹⁴ s'intéresse plus particulièrement à la question de l'évaluation des émissions liées aux mobilités et n'intègre qu'un paramètre unique, la vitesse moyenne, afin de décrire les conditions énergétiques de circulation des automobiles. Il en résulte une prise en compte partielle des émissions « à froid » (dues aux effets des ralentissements et/ou congestion), qui apparaissent pourtant comme les principaux facteurs d'émissions de polluants, limitant l'intérêt de COPERT en milieu urbain.

Si ces deux exemples présentent un intérêt thématique certain, d'autres auteurs (Heiple et Sailor, 2008 ; Viejo-Garcia et Keim, 2008) ont encore tenté d'élaborer des indicateurs énergétiques territoriaux plus spécifiques, qui se situent entre l'échelle régionale de l'analyse technico-économique (dont l'objectif est l'adéquation offre-demande) et

d'activité et 15 postes principaux de consommation énergétique.

(Cf. <http://www.plan.be/desc.php?lang=fr&TM=48&IS=57>)

¹² Le modèle Primes est développé depuis le début des années 1990 par le E3M Lab. de l'Université technique d'Athènes. Il focalise sur les mécanismes économiques qui influencent l'offre et la demande en matière d'énergie, au regard, notamment, de la mise sur le marché de technologies nouvelles.

(<http://www.e3mlab.ntua.gr/manuals/PRIMREFM.pdf>)

¹³ ENERTER est un projet de modélisation énergétique territoriale qui vise à évaluer les consommations d'un parc de bâtiments résidentiels et tertiaires, en fonction des usages et des énergies utilisées. Aucun document scientifique n'étant publié sur ce sujet à notre connaissance (<http://www.energies-demain.com>).

¹⁴ COPERT est un programme de calcul des émissions de polluants et de gaz à effet de serre issues de la circulation routière, financé par l'EEA (European Environment Agency). Il tient compte notamment de la composition du parc des véhicules, de leur démarrage à froid, des émissions dues à l'évaporation du carburant, etc (<http://at.eng.auth.gr/copert>).

l'échelle fine du bâtiment individuel. Ils proposent une entrée territoriale tenant compte des disparités locales de l'espace géographique, mais ne sont souvent que des ébauches appuyées sur une approche strictement statistique de la problématique énergétique.

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

Enfin, le dernier type d'approche relève de l'étude et/ou de la métrologie. Ainsi, les cadastres énergétiques, par exemple, se basent sur des mesures de qualité de l'air, alors que les Diagnostics de performance énergétique (DPE) s'appuient sur la méthode 3CL¹⁵, appliquée au cas par cas par des « diagnostiqueurs ». Les DPE autorisent ainsi une évaluation *a posteriori* des consommations énergétiques à l'échelle de bâtiments individuels et peuvent alimenter la construction d'une typologie de bâtiments. Ils relèvent toutefois du domaine de l'étude technique et outre leur manque potentiel de fiabilité lié aux différentes applications possibles de la méthode par différents diagnostiqueurs, ils ne sont pas disponibles directement, ni librement (ADEME, 2006).

Quoique différentes, ces quatre familles d'approches ont toutes comme point commun de constituer des évaluations *a posteriori* et à échelle fixes des territoires. La plupart sont établies sur des espaces peu ou pas différenciés sur le plan de leurs caractéristiques (et donc peu ou pas spatialisées), 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 pour la mise au point d'étiquettes énergétiques territoriale ne peut donc s'y référer que très partiellement, et demande à ce qu'une méthodologie plus spécifique soit développée.

4. Méthodologie

4.1. Une hypothèse de mobilité

Compte tenu des objectifs fixés dans le point 2.2 et des questions qui en résultent, l'originalité de la méthodologie proposée dans le cadre de cette recherche repose sur le postulat suivant, qui offre un point de départ à la construction d'étiquettes énergétiques territoriales : chacun des espaces que l'on peut différencier au sein d'une aire urbaine, induit nécessairement des consommations énergétiques qui lui sont propres, et qui peuvent également

¹⁵ ADEME 2006,

<http://www2.ademe.fr/servlet/getBin?name=B8B98FD243FF805300E5A37102219B51181040161883.pdf>

être différenciées, de deux manières au minimum : a) par la distance qui sépare cet espace des aménités et des zones d'emploi présentes dans l'aire urbaine ; b) par la densité de son habitat, qui multiplie d'autant les consommations énergétiques. Suivant cette idée, une étiquette énergétique propre à chaque territoire peut être définie comme un indicateur unique, permettant d'associer et de synthétiser deux éléments : a) une évaluation énergétique des mobilités associées à chacune des zones ; b) une pondération de cette évaluation par les densités des ménages qu'elles contiennent.

La considération des consommations générées par un territoire, à l'échelle du bâtiment et de leurs occupants, dépendantes de caractéristiques aussi bien physiques, qu'environnementales (Mitchell, 2005; Sjogren *et al.*, 2007) ou sociales (Santamouris *et al.*, 2007), pourrait être ajoutée afin de compléter le volet « mobilité » de chaque étiquette par un volet « bâti ». Les Français consacrent en effet une part comparable de leur budget pour les dépenses énergétiques relatives à l'énergie domestique (chauffage, éclairage) et au carburant (INSEE, 2006). L'intégration de cette dimension « consommation des bâtiments » se heurte toutefois à plusieurs obstacles qui conduisent à évacuer ce calcul. En effet, 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 leurs surfaces, du profil du ménage occupant, etc. (Plateau, 2006). De plus, ces données socio-économiques sont agrégées à l'échelle de la commune. Aussi, les résultats lissés issus de ces approches ne permettent pas de dégager d'écarts suffisamment fins de consommation entre les communes. De surcroît, ces variables (qui font par exemple intervenir le type de chauffage, le niveau d'isolation des fenêtres, l'état de la toiture, etc.) apparaissent fortement évolutives, et dépendent des rénovations envisagées dans le parc de logements, celles-ci étant souvent initiées à l'échelle individuelle ou de la copropriété, et donc difficile à quantifier.

Dans ce contexte, l'étiquette énergétique d'un territoire peut alors se confondre avec son « potentiel de déplacements », qui peut être généré pour chaque zone en fonction des distances théoriques parcourues par les habitants, et des consommations énergétiques associées. Ce potentiel ne peut toutefois pas être considéré indépendamment du comportement des habitants, que l'on peut, de façon plus ou moins caricaturale prendre en compte à travers trois types de déplacements : les déplacements vers les emplois (groupées en zones d'activités ou diffuses au sein des espaces bâtis),

vers les aménités de type urbaines (essentiellement les services et les commerces), et vers les aménités de type rural (zones de loisirs diverses disséminées dans les espaces « les plus naturels » des aires urbaines). Dans cet ensemble, seules les aménités de type urbain sont considérées pour l'instant, faute de données (figure 2).

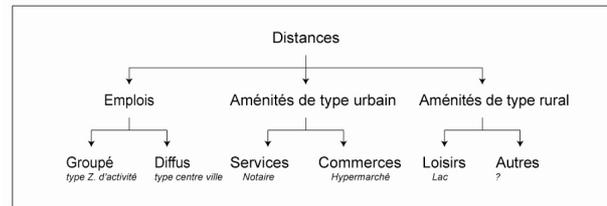


Figure 2. Mobilités urbaines et types de déplacements

Le comportement normé de l'habitant standard qui sert de référence pour le calcul des déplacements potentiels à partir de chaque espace est présenté sur la figure 3 : pour chaque ménage, on considère qu'un individu se déplace cinq jours par semaine vers son lieu d'emploi et vers un commerce ou un service de proximité, et recourt une fois par semaine à un supermarché pour ses courses hebdomadaires.



Figure 3. Un comportement de mobilité normé pour un individu standard

4.2. Intégration de données : vers un espace cellulaire

Suivant le cadre proposé plus haut, la mise en place d'étiquettes énergétiques territoriales peut donc reposer sur le calcul des consommations liées aux mobilités quotidiennes, en tenant compte des distances que la localisation de chaque zone demande de parcourir pour relier : (a) les zones d'emploi ; (b) les aménités urbaines composées des services et des commerces au sein du territoire considéré. Considérer ces informations basiques

nécessite toutefois de manipuler des données diverses et variées, issues de base de données dont les échelles sont très hétérogènes : l'occupation du sol (fournie par la BD Topo de l'IGN) et le contexte socio-démographique des territoires (issu du RGP de l'INSEE), comme les activités économiques (inventoriées dans le répertoire SIRENE) par exemple. Parallèlement, compte tenu des objectifs prospectifs des étiquettes, vues comme un outil possible d'aide à la décision, il apparaît également impératif de considérer les espaces d'habitation à une échelle fine, celle des bâtiments ou des maisons individuelles par exemple. Pour faire face à cet ensemble de contraintes multi-scalaires et, pour intégrer des données fortement hétérogènes, les

géographes ont régulièrement recours à une tessellation spatiale qui produit un découpage régulier de l'espace en une matrice de cellules carrées (Tobler, 1967 ; Couclelis, 1985 ; Andersson *et al.*, 2006). Une approche cellulaire et multi-scalaire de ce type a été retenue ici ; la figure 4 en propose une représentation, selon une résolution spatiale fixée à 100 mètres et visualisée sur le secteur nord-ouest de l'agglomération de Besançon. À l'intérieur de cet espace cellulaire, il convient désormais d'intégrer et de considérer l'ensemble des informations utiles au calcul des mobilités qui constituent la base des étiquettes, à savoir les ménages, les services et les commerces, et l'emploi.

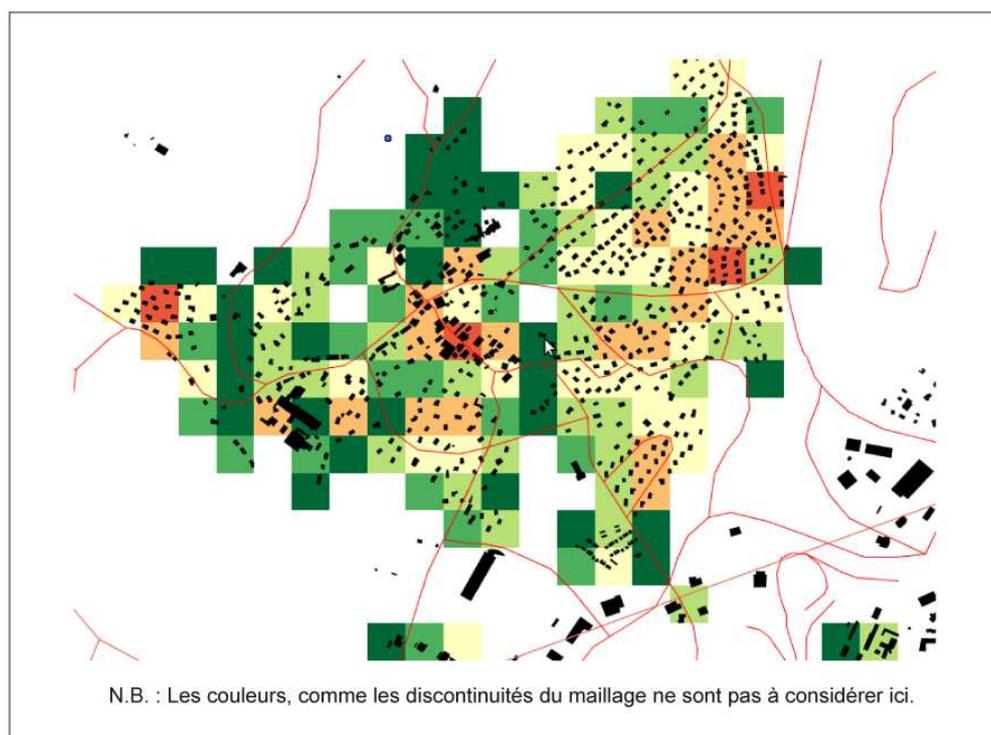


Figure 4. Un espace cellulaire et multi-scalaire

Logements

Le calcul des déplacements réalisés sur une aire urbaine se fait à partir du logement des habitants, qui apparaît comme le point de départ de leurs mobilités quotidiennes. Partant de l'hypothèse qu'un logement n'abrite qu'un seul ménage et que, dans un premier temps, un seul véhicule par ménage se déplace quotidiennement ou hebdomadairement vers les commerces, les services et les zones d'emploi, la répartition du nombre de logements à l'intérieur de chaque cellule doit être connue. Elle peut être obtenue par une opération de ventilation à partir des données recensées au niveau

des IRIS par le RGP de l'INSEE, croisée avec l'occupation du sol détaillée, fournie par la BD Topo de l'IGN qui indique la hauteur de chaque bâtiment.

L'occupation du sol est considérée à partir des couches « bâtiment », « zone_arborée », « surface_eau », et « surface_activité » de la BD Topo de l'IGN. Toutefois, afin de pallier le manque de précision de cette typologie, un premier traitement peut être effectué sur les données de base pour distinguer les bâtiments qui accueillent des logements (bâtiments résidentiels) de ceux qui n'en accueillent pas (bâtiments non résidentiels). L'opération consiste à croiser la couche « surface_activité » avec la couche « bâtiment », ce

qui revient concrètement à créer une nouvelle table (« bâtiment_non_résidentiel »), qui discrimine les bâtiments dont plus de 50% de la surface intersecte une zone d'activités, et permet de les distinguer de ceux qui n'accueillent que des logements. 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 sachant que :

Z_i : la surface de la zone i (ici la commune ou l'IRIS)

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, il s'agit de déterminer à quel commune ou IRIS appartient chaque bâtiment résidentiel de la couche « bâtiment » de la BD Topo IGN :

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

Le volume total de bâtiments résidentiels dans chaque commune ou IRIS (ce qui nécessite de tenir

compte de la hauteur des bâtiments) peut alors être déterminé comme suit :

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

À partir du volume de bâtiments dans chaque zone, il devient possible de calculer la densité volumique de logements de chaque bâtiment :

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

$$\rho B_j = \sum_i p_{ij} \cdot \rho Z_i$$

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

$$N_{ck} = \sum_j a(B_j \cap C_k) \cdot h_j \cdot \rho B_j$$

Le résultat peut être représenté cartographiquement par le nombre de logements dans chaque cellule contenant des bâtiments majoritairement résidentiels. Ainsi la figure 5 propose une représentation de cette qualification du bâti résidentiel avec une résolution de 100m.

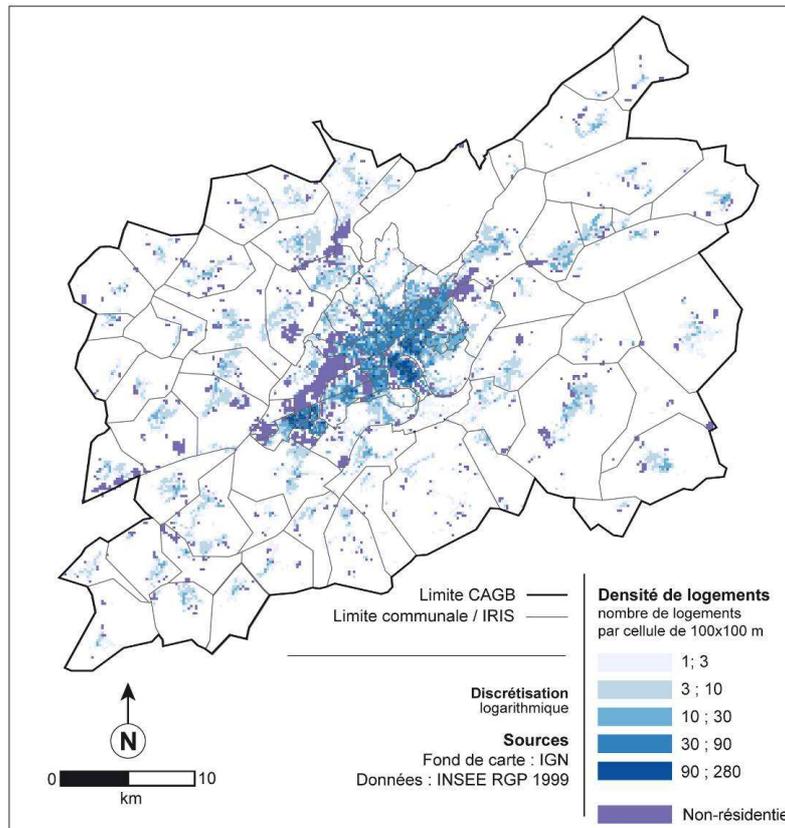


Figure 5. Ventilation des logements

Services et commerces

Concernant les aménités que constituent les commerces et les services, il convient de les distinguer par rapport à leur fréquence de recours par les habitants, celle-ci influençant le nombre de déplacements hebdomadaires. La considération des services et des commerces peut donc se limiter : (a) à la géolocalisation des commerces et des services présentés dans la BD SIRENE, et (b) à leur distinction par niveau de recours.

Concernant la géolocalisation, une liaison de la BD SIRENE et de la BD Adresses¹⁶ permet de localiser 70% des établissements à l'échelle du bâtiment et 23% à l'échelle de la rue ; les 7% restants ne sont par contre localisés qu'à l'échelle de la commune (tableau 2).

Concernant la distinction des niveaux de recours, la classification proposée ici se fonde sur les quatre niveaux de fréquentation définis par Frankhauser *et al.* (2007). Le niveau 1 regroupe les commerces et les services de recours quotidiens ou pluri-hebdomadaires, les niveaux 2 et 3 s'associent respectivement à une fréquentation hebdomadaire et mensuelle, alors que le niveau 4 distingue un recours de fréquence nettement plus rare (tableau 3). Cette classification peut être reproduite sur

¹⁶ Les fichiers source utilisés sont la BD SIRENE de 2003 qui recense les entreprises et leurs établissements, accompagnés de leurs adresses, et la BD-Adresse IGN de 2006 qui permet de localiser ponctuellement ces adresses.

l'ensemble de l'aire urbaine de Besançon à partir de la Nomenclature d'Activités Française (NAF) présentée pour chaque établissement dans la BD SIRENE. La figure 6 montre le résultat et permet d'identifier finement les cellules contenant des commerces et de services de niveau de recours quotidien ou hebdomadaire.

Liaison	Nombre d'entreprises	Part (%)
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

Tableau 2. Résultats de la géolocalisation des commerces et des services

Liaison BD Adresse / BD SIRENE (Vuidel *et al.*, 2009)

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

Tableau 3. Fréquences de recours des commerces et des services (Frankhauser *et al.*, 2007)

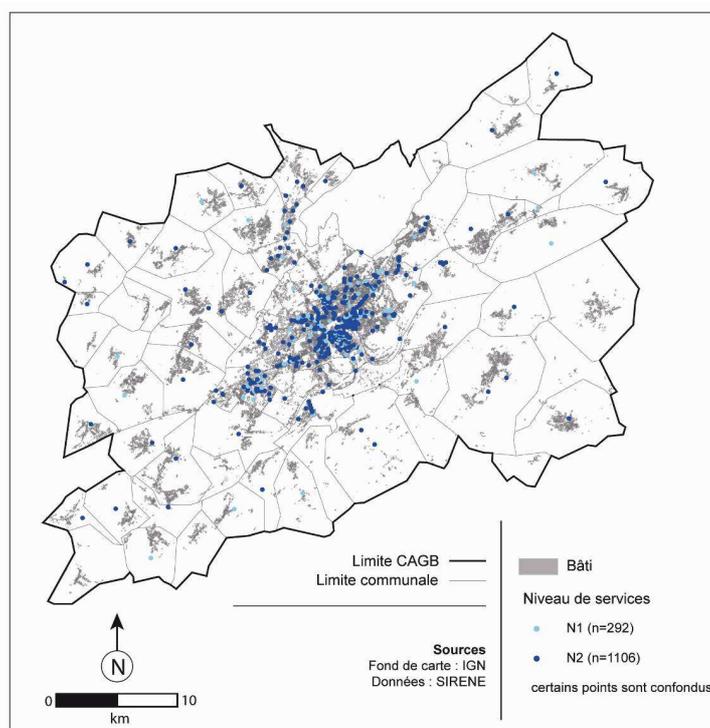


Figure 6. Commerces et services de niveau 1 et 2

Emplois

Le calcul du nombre d'emplois par cellule est réalisé de manière strictement analogue à celle des logements, à partir de la couche « activités », qui se substitue à la couche « logements » utilisée précédemment (cf. 4.2.1). Le nombre d'emploi calculé pour chaque IRIS à partir des informations du répertoire SIRENE sert alors de base à une opération de ventilation, qui permet de déterminer un nombre d'emplois contenu dans chaque cellule considérée comme non-résidentielle dans la BD Topo.

4.3. Calcul des étiquettes

À partir de la base de données cellulaire constituée au point 4.2., il s'agit désormais d'évaluer les distances qui séparent chaque ménage (contenu dans une cellule) des aménités (commerces et services) et des zones d'emplois (également contenues dans des cellules), celle-ci étant la base fondamentale du calcul des étiquettes énergétiques territoriales. Cette distance est calculée en deux temps : (a) vers les commerces et les services, puis (b) vers les emplois.

Distances aux commerces et aux services

Le calcul des distances de chaque logement vers les commerces et les services est réalisée de la façon suivante : pour une cellule de centroïde p contenant un logement, la distance minimale à une aménité (commerce ou service de niveau 1 ou 2) est calculée en trois étapes, distinguant :

(a) un cheminement à vol d'oiseau entre le logement et le réseau routier (issu de la BD Topo de l'IGN) le plus proche ;

(b) un parcours sur le réseau routier (plus court chemin obtenu par l'algorithme de Dijkstra (Dijkstra, 1971) ;

(c) un cheminement final (à nouveau à vol d'oiseau) du réseau routier le plus proche vers le commerce ou le service (figure 7).

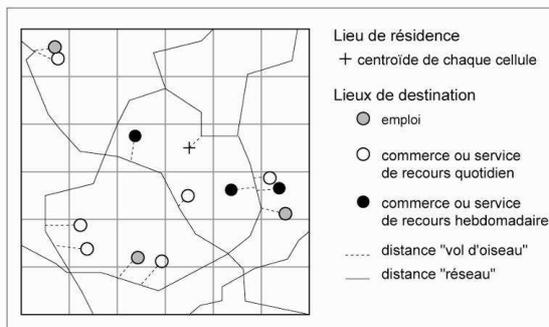


Figure 7. Principe du calcul des distances

Toutefois, afin d'offrir un choix relatif aux habitants et de prendre en compte des types de commerces et de services différents, ce calcul n'est pas réalisé pour une seule aménité de niveau n (cas auquel un habitant ne se déplacerait quotidiennement que vers la boulangerie la plus proche de chez lui), mais pour les x aménités de niveau n les plus proches, dont la moyenne des distances est ensuite pondérée par les fréquences de recours f correspondantes, ce qui peut se formaliser comme suit :

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

avec $dn1_i$ distance au $i^{\text{ème}}$ service le plus proche de niveau 1.

Distances aux emplois

Le calcul des distances de chaque logement vers les emplois nécessite d'associer chaque cellule contenant des logements à une cellule contenant de l'emploi, ce qui revient à créer une matrice origines-destinations des premières vers les secondes. Pour ce faire, une approche gravitaire est souvent retenue (Abler *et al.*, 1972), et on peut proposer ici de la construire autour de trois variables qui nous intéressent directement :

(a) le nombre de logements, variable de génération des mobilités, permettant de déterminer le nombre de personnes qui vont se déplacer ;

(b) le nombre d'emplois, variable d'attraction permettant de déterminer vers quelles destinations ces déplacements vont s'effectuer ;

(c) la distance qui sépare les premiers des seconds, variable de résistance au déplacement permettant de tenir compte du coût de la mobilité.

Le modèle gravitaire peut ainsi se formaliser de la manière suivante :

Soit E_j le nombre d'emploi de la cellule j et d_{ij} la distance entre la cellule i et la cellule j . L'attractivité I d'une cellule j par rapport à une cellule i est estimée comme suit :

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

Le flux F_{ij} de la cellule i allant travailler dans la cellule j est ensuite exprimé par la relation suivante :

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

avec N_i le nombre de logements dans la zone i et k cellule(s).

Enfin, nous obtenons la distance moyenne Domicile-Travail d'une cellule i :

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

Bien que discutable, le recours à un modèle gravitaire offre une première approximation relativement réaliste des distances à parcourir pour relier les zones d'emploi en fonction de la localisation des logements.

Ainsi, en associant les distances parcourues vers les commerces et les services d'une part, et les emplois d'autres part, il devient possible de calculer une distance théorique (ou potentielle) standard pour chaque cellule. La cartographie de ces distances, dont les valeurs peuvent être discrétisées en sept classes, apparaît alors comme la base des Étiquettes énergétiques territoriale. Ces dernières peuvent toutefois être améliorées et mieux correspondre à la réalité des mobilités urbaines si l'on y intègre une possibilité de choix modal.

Choix modaux et parc automobile

Deux précautions doivent être prises avant de calculer les distances séparant les logements des aménités et des zones d'emplois. Premièrement il convient de déterminer avec quel mode de déplacement ces distances seront parcourues. En effet, si le mode n'influence évidemment pas les distances, il impacte considérablement la consommation énergétique associé à chaque territoire : une cellule au sein de laquelle tout le monde se déplace à pied peut prétendre à une meilleure étiquette qu'une cellule dans laquelle les personnes circulent en automobile. Deuxièmement, les caractéristiques du parc automobile doivent également être prises en compte pour évaluer les consommations d'énergie associées à chaque territoire et les émissions de polluants qui en découlent.

1) un seuillage Marche / Voiture

Deux modes de transport sont actuellement pris en compte dans le calcul des étiquettes énergétiques : la marche à pied (MAP) et la voiture particulière (VP)¹⁷. Connaissant les distances théoriques que doit parcourir chaque individu pour relier quotidiennement ou hebdomadairement son emploi et les x services et commerces de proximité les plus proches, il convient de déterminer s'il le fera à pied ou en automobile. Cette détermination se fonde sur un ensemble de probabilités (figure 8). Ainsi, pour une distance courte ($0 < d < j$), tous les individus

privilégient la marche à pied alors que pour une distance longue ($d > j'$) ils recourent tous à l'automobile. Entre j et j' , la probabilité d'utiliser l'automobile augmente progressivement selon une fonction logistique (dans notre exemple, $\beta=10000$ et $\mu=0,012$).

La fonction de probabilités se définit en deux parties, une constante et une logistique :

$$p(d) = \begin{cases} d < j' : \frac{1 + \beta e^{-\mu d}}{1 + \beta e^{-\mu d}} \\ d \geq j' : 1 \end{cases}$$

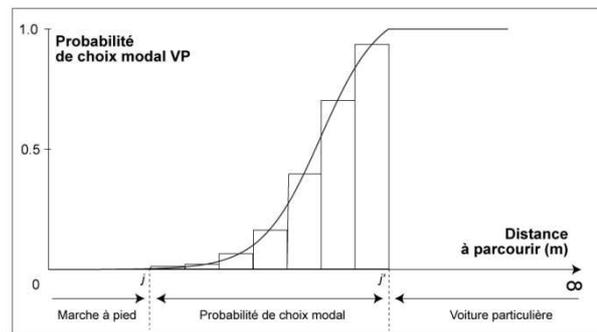


Figure 8. Probabilité de choix modal entre VP et MAP

2) l'intégration du parc automobile

Pour convertir les distances parcourues en véhicules particuliers en consommation énergétique, le parc automobile doit également être considéré, afin que des catégories de véhicules puissent être distinguées en fonction de leur consommation unitaire, et que l'évolution du parc (proportion de VP gasoil, de véhicules électriques, etc.) puisse être prise en compte. La consommation d'énergie liée aux déplacements en fonction du parc d'automobiles peut alors se formaliser ainsi :

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

avec C_n : consommation (L/km) des véhicules de catégorie n
 N_n : nombre de véhicules de catégorie n (normes Euro)

Concrètement, les calculs ne sont toutefois pas à la hauteur de la formalisation : par manque de données, nous ne considérons qu'un véhicule essence « moyen » par ménage, consommant 7 litres de carburant pour 100 kilomètres (ADEME, 2005). 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

¹⁷ La prise en compte des transports en commun est certes fondamentale dans l'évaluation des déplacements urbains. Cela étant, elle relève d'une logique réticulée qui lui est propre et ne peut être modélisée selon les mêmes modalités que la VP ou les modes doux, qui empruntent tous deux le réseau routier. Les modes doux sont quant à eux assimilés à la marche à pied.

simplement à multiplier les premières par une constante. Le fait que le réseau routier retenu pour les calculs de distances soit vectorisé et renseigné par des vitesses affectées à chaque tronçon, pourrait ici constituer une piste à suivre pour affiner le modèle.

5. Des possibilités pour les étiquettes

À partir de la méthodologie développée ici, de nombreuses simulations sont désormais possibles sur différents territoires, sous réserve de disposer pour chacun d'entre eux des données adéquates. Parmi ces simulations, nous avons ici retenu trois possibilités d'étiquettes énergétiques (figures 9 à 12) qui montrent chacune des aspects différents des mobilités urbaines et des consommations d'énergie qui leur sont associées. Chacune d'entre elles 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 fonctionne-

ment du territoire dont il a la charge ou de l'aménageur qui questionne de manière prospective les développements possibles d'une agglomération. Dans ces exemples, deux modes de simulation sont distingués : le premier, dit « prospectif », calcule une étiquette énergétique pour les espaces bâtis et pour les espaces non bâtis situés à moins de 200 mètres des premiers, afin d'offrir à l'outil une dimension prospective permettant de maîtriser l'urbanisation à venir (figure 11) ; le second mode, dit « normal », effectue les calculs uniquement pour les cellules déjà construites, ce qui permet de pondérer les résultats par le nombre de logements construits (figure 12). Sauf précision dans la légende des cartes suivantes, les paramètres sont communs à toutes les simulations : les cinq services de chaque niveau (N1, N2) les plus proches ont été retenus avec des fréquences de recours quotidiennes et hebdomadaire respectivement fixées à 0,8 et 0,2 ; un seuillage de marche à pied a été fixé à 1000 m, une consommation moyenne pour un véhicule essence standard de 7l/100km et un Pouvoir calorifique inférieur (PCI) de l'essence de 33kJ/l ont été retenus pour les conversions de consommations.

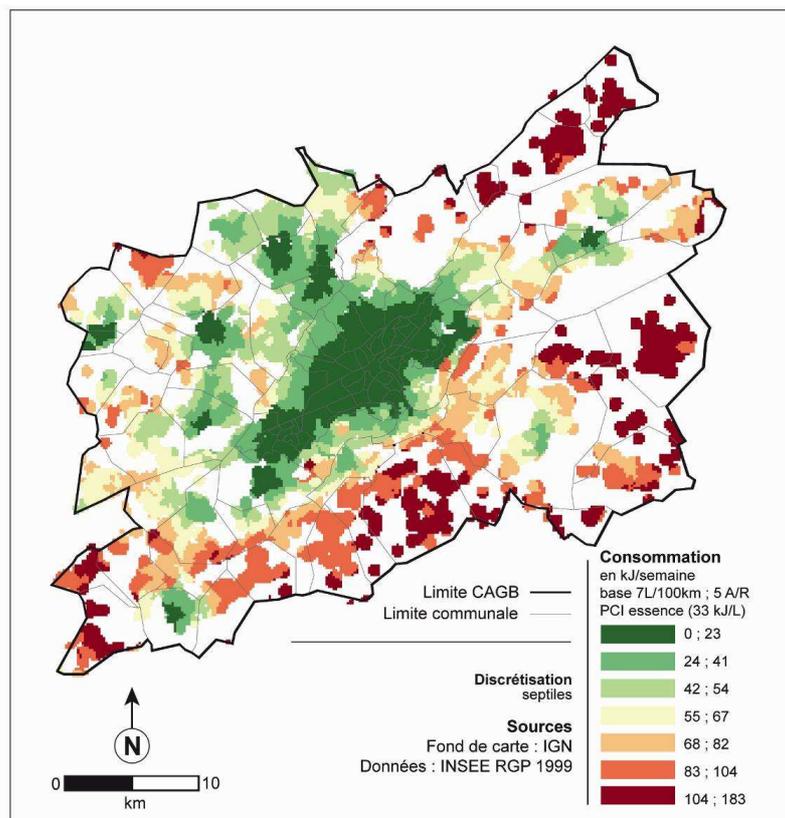


Figure 9. Consommations énergétiques potentielles aux aménités de recours quotidien et hebdomadaire pour chaque ménage (mode prospectif)

5.1. Étiquette « Services et commerces »

La première proposition d'étiquette (figure 9) ne tient compte que des services et commerces. Le calcul des distances moyennes générées par les déplacements vers ces aménités est pondéré par une fréquence de recours théorique : par exemple, un habitant va 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) plus proches de ces aménités. Ce type d'étiquettes pourrait se destiner à un public d'aménageurs ou de décideurs qui chercherait à implanter une nouvelle offre de commerces ou de services.

5.2. Étiquette « Emplois »

La deuxième proposition d'étiquette (figure 10) 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 (cf. 4.3.2.), classique pour ce type d'opérations. 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'étiquettes pourrait se destiner à un public de ménages cherchant à optimiser la localisation de leur résidence principale ou 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.

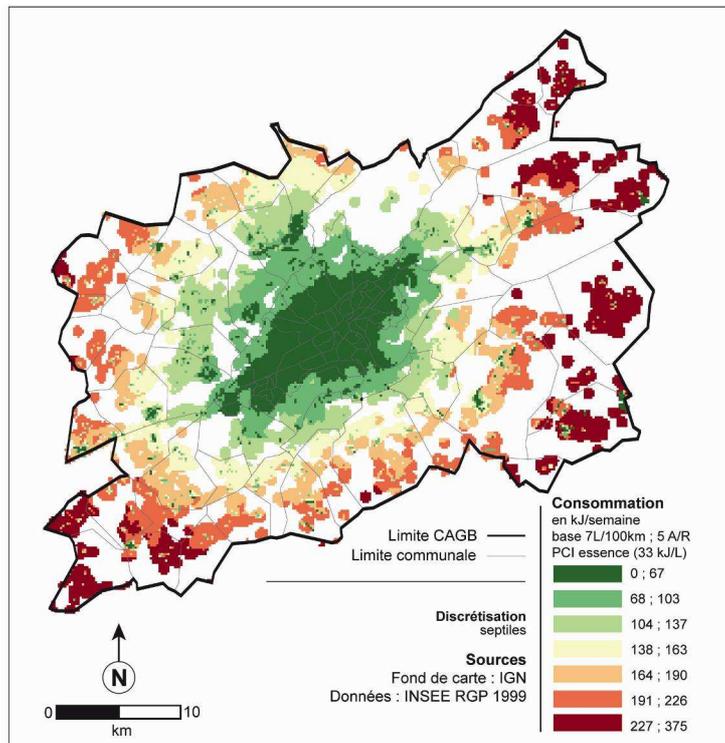


Figure 10. Consommations énergétiques potentielles aux emplois pour chaque ménage (mode prospectif)

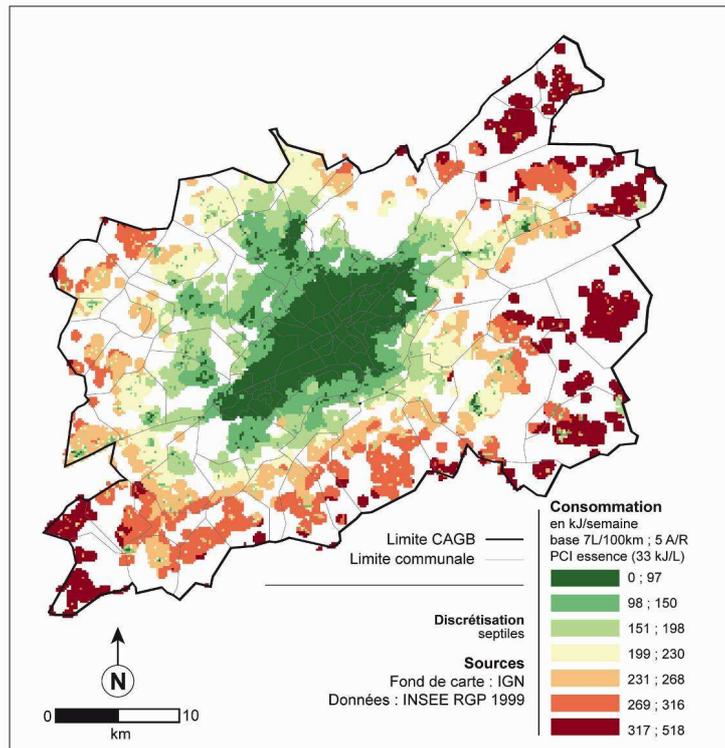


Figure 11. Consommations énergétiques potentielles aux aménités de recours quotidien et hebdomadaire et aux emplois pour chaque ménage (mode prospectif)

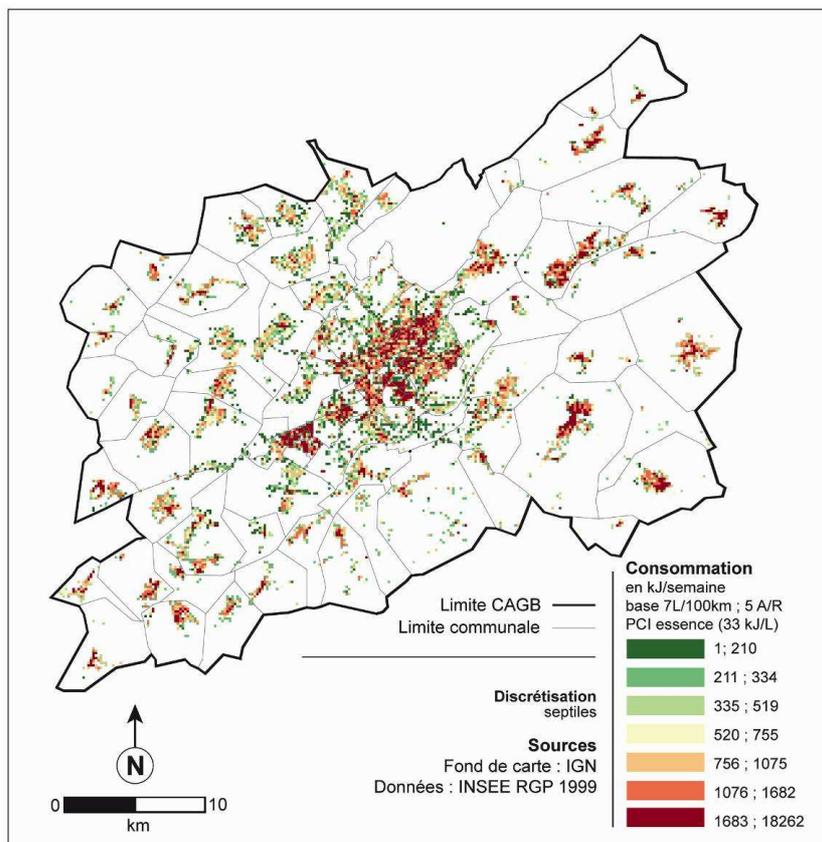


Figure 12. Consommations énergétiques potentielles aux aménités de recours quotidien et hebdomadaire, et aux emplois, pondérées par la nombre de ménage (mode normal).

5.3. Étiquette de synthèse mobilités/habitat

La troisième proposition d'étiquette additionne les distances moyennes parcourues vers les commerces et les services (figure 9) et les distances domicile-travail parcourues quotidiennement (figure 10). Toutefois, ce résultat peut se décliner en deux versions : dans la première, les distances sont considérées de manière brute dans un *buffer* de 200 m autour du bâti existant (volonté prospective de maîtrise de l'urbanisation à venir (figure 11), alors que dans la seconde, les calculs ne sont effectués que pour les cellules déjà bâties et les consommations sont pondérées par le nombre de logements présents dans la cellule (figure 12). La première de ces étiquettes précédentes (figure 11) pourrait ainsi 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.

6. Conclusion et perspectives

Quoiqu'encore incomplets, les résultats présentés ici apparaissent plus ou moins opérationnels et fortement prometteurs. En effet, les étiquettes énergétiques territoriales 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 socio-démographique et de leur taille. Elles apparaissent donc successivement 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 agglomération, ce qui permet de gommer des différences de configurations ou de spécialisation 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 appareils électroménagers.

Dans un tel contexte, les étiquettes semblent donc tout à fait compatibles avec les préoccupations de l'urbanisme réglementaire 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. Parallèlement, 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 du développement urbain. Trois leviers, parmi d'autres, sont ici identifiés et 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 projets d'architecture et d'urbanisme, en utilisant les étiquettes comme autant d'indicateurs pertinents pour une simulation ;

- proposer des degrés de densité de logements permettant d'optimiser le couple « localisation/densité » : ce qui, comme précédemment, revient à influencer localement le programme 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.

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 : quel est le niveau de recours des activités *i.e.* quelles aménités relèvent d'un recours quotidien, hebdomadaire, etc. ? 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 ? Quel seuil de distance de marche à pied faut-il retenir ? Parallèlement, seuls les déplacements concernant l'emploi et le recours aux commerces et aux services ont été considérés pour l'instant. La prise en compte d'autres types de mobilités

permettrait évidemment de mieux qualifier les déplacements urbains. Dans ce contexte, quid par exemple des mobilités liées au sport, aux loisirs, aux aménités rurales ? 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 recherches à venir.

Remerciements

S'appuyant sur les acquis du projet de recherche OPTTEER (Observation et prospective territoriale énergétique à l'échelle régionale) visant à promouvoir les approches territoriales de l'énergie, et intégré au projet MobiSim (Modélisation des mobilités ; www.mobisim.org), tous deux portés par le laboratoire ThéMA, ce travail a bénéficié du soutien financier de l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la maîtrise de l'énergie).

7. Références

- Abler R., Adams J. S, Gould P., 1972, *Spatial Organization. The Geographer's View of the World*, Prentice/Hall International, London.
- ADEME, 2008, *Le poids des dépenses énergétiques dans le budget des ménages en France*, Lettre Étude et Stratégie n°11 du 3 avril 2008, Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie, en ligne le 29/07/2008. <http://www2.ademe.fr/servlet/list?catid=17390>.
- ADEME, 2006, La méthode de Calcul des Consommations Conventiionnelles dans les Logements -3CL, note justificative, ADEME.
- ADEME, 2005, Les véhicules particuliers en France, données et références, Note de synthèse ADEME du Département Technologies des transports.
- Andersson C., Frenken K., Hellervik A., 2006, A complex network approach to urban growth, *Environment and Planning A*, 38, 1941-1964.
- CAGB 2005, Enquête ménages-déplacements de la Communauté d'Agglomération du Grand Besançon (CAGB), 24 p.
- 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/>
- Coucleis H., 1985, Cellular World: a framework for modelling micro-macro dynamics, *Environment and Planning A*, 17, 585-596.
- Dijkstra E. W., 1971, A short introduction to the art of programming, EWD316, <http://www.cs.utexas.edu/users/EWD/transcriptions/EWD03xx/EWD316.html>
- 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'Énergie 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'Énergie, MEEDDAT, Direction Générale de l'Énergie et des Matières Premières
- 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>
- Frankhauser P. et al., 2007, Vers des déplacements périurbains plus durables: proposition de modèles fractals opérationnels d'urbanisation, Rapport de recherche PREDIT.
- Grenier A., 2007, Ville et Énergie, spécificité et complexité de la question en France, *Les annales de la recherche urbaine*, 103, 129-136.
- 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
- Heiple S., Sailor D. J., 2008, Using building energy simulation and geospatial modeling techniques to determine high resolution building sector energy consumption profiles, *Energy and Buildings*, 40, 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>
- Le Jeannic T., 1996, Une nouvelle approche territoriale de la ville, *Economie et statistique*, 294-295, 25-44.
- Le Jeannic T., Vidalenc J., 1997, Pôles urbains et périurbanisation. Le zonage en aires urbaines, *INSEE Première*, 516, avril 1997.
- MEDD, 2004, Plan Climat 2004, face au changement climatique agissons ensemble, Rapport de la Mission Interministérielle sur l'Effet de Serre, Ministère de l'Écologie et du Développement Durable,
- MEEDDAT, 2008, Synthèse des principales mesures de la loi d'orientation Grenelle de l'environnement. 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.
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.
- 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.
- Plateau C., 2006, Les émissions de gaz à effet de serre des ménages selon les localisations résidentielles, Notes de synthèse du SESP, 163.
- 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.
- Raux C., *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.
- 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., Kapsisa K., Korresa D., Livadaa I., Pavloua C., Assimakopoulo M.N., 2007, On the relation between the energy and social characteristics of the residential sector, *Energy and Buildings*, 39, 893-905.
- Sjogren J., Andersson S., Olofsson T., 2007, An approach to evaluate the energy performance of buildings based on incomplete monthly data, *Energy and Buildings*, 39, 945-953.
- Tobler W. R., 1967, Of maps and matrices, *Journal of regional Sciences*, 7(2), 275-280.
- 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 Timmermans H. J. P., de Vries B. (eds.), *Architecture and Urban Planning*, University of Technology Eindhoven, Eindhoven.