

L'impact des formes urbaines dans la mise en place des politiques de transition énergétique : une approche par la modélisation.

Maud HAFFNER*, Gilles VUIDEL

* maud.haffner@enpc.fr

Mots clefs : Formes urbaines – Villes théoriques – Modélisation urbaine – Mobilités quotidiennes – Transition énergétique

1. Contexte

La forme des villes actuelles est le résultat d'évolutions historiques, liées principalement au contexte socio-économique et aux contraintes géographiques. Nous désignons par la suite sous le terme de forme urbaine la configuration spatiale du contenant des activités humaines, composé de bâtiments, d'équipements, d'espaces non bâti et de réseaux. La notion de forme urbaine revêt un caractère multi-échelle : elle peut être étudiée à un niveau global et caractérise alors l'ensemble de l'agglomération urbaine, ou à un niveau plus local, qui touche à l'organisation intra-urbaine plus fine.

Depuis le 19^{ème} siècle, les villes sont confrontées à une urbanisation sans précédent, traduite par des phénomènes d'étalement et de relocalisation des populations et des activités. A partir des années 1970, les acteurs de l'aménagement prennent conscience des effets néfastes de l'étalement urbain, touchant les trois sphères du développement durable (Fischler, 2002). La volonté de contrôler cet urbanisme expansif et d'en réduire les conséquences négatives va conduire à revisiter la question de la forme urbaine, en cherchant notamment à identifier les formes de développement urbain les plus durables. Si les trois sphères du développement durable sont intégrées à la réflexion sur les formes urbaines, les enjeux environnementaux et plus spécifiquement les questions énergétiques, transverses aux trois principes du développement durable, vont prendre une ampleur nouvelle dans les années 2000. Face à la problématique du réchauffement climatique et aux difficultés croissantes d'approvisionnement en énergie, la sobriété énergétique apparaît en effet comme un élément central de la ville durable. D'après le commissariat général au développement durable (2012), environ 42 % de l'énergie consommée en France est utilisée dans les bâtiments pour les besoins de chauffage, de climatisation, d'éclairage et d'électricité spécifique, et 32 % pour les transports. Ces deux secteurs apparaissent ainsi comme deux champs d'actions majeurs permettant de réduire significativement la consommation globale d'énergie.

Les consommations énergétiques dépendent naturellement de la forme urbaine. Concernant l'énergie consommée dans les transports, deux concepts se sont progressivement imposés comme formes de référence : la ville compacte, et la métropole polycentrique (Le Néchet,

2015). De nombreuses études s'accordent ainsi sur le fait que les consommations énergétiques sont moins élevées dans les villes denses et compactes (Banister, Watson et Wood, 1997 ; Camagni, Gibelli et Rigamonti, 2002 ; Næss, Røe et Larsen, 1995 ; Newman et Kenworthy, 1989). Cependant cette conclusion a été largement remise en question par d'autres auteurs (Breheny, 1995 ; Levinson et Kumar, 1997). L'impact du nombre de centres sur les consommations fait également débat dans la littérature : si certains auteurs affirment que le polycentrisme tend à réduire les distances parcourues (Gordon et Richardson, 1997), d'autres soutiennent qu'il tend à complexifier et à multiplier les flux de déplacements (Aguilera, Madre et Mignot, 2004 ; Schwanen, Dieleman et Dijst, 2001). Enfin d'autres auteurs insistent sur l'importance de caractéristiques plus locales sur la consommation énergétique des transports telles que l'accessibilité aux transports collectifs ou encore la mixité d'usages. Concernant le secteur résidentiel, la compacité apparaît également comme un facteur de réduction de la consommation énergétique (Arantes et al., 2016 ; Ratti, Baker et Steemers, 2005). Cependant ces études sont généralement restreintes à la consommation liée au chauffage ; or la ventilation et l'éclairage ne sont pas favorisés par des formes urbaines denses.

2. Problématique et objectifs

Que ce soit pour les mobilités ou les usages résidentiels, les liens entre forme urbaine et consommation énergétique des ménages ne font pas consensus. Plusieurs problèmes se posent en effet :

- le croisement des échelles d'analyse de l'énergie, de l'échelle micro du bâtiment, pertinente pour l'étude des consommations, à celle macro la ville qui est celle des réseaux, en passant par celle meso du quartier où peuvent se déployer des projets de mutualisation ;
- la difficulté d'isoler le facteur forme urbaine des autres facteurs pouvant intervenir sur la consommation des ménages du fait d'une forte imbrication ;
- la difficulté de généraliser des résultats au regard des spécificités propres à chaque terrain d'étude, tant spatiales que culturelles.

Il est donc difficile de conclure sur l'intérêt d'une forme urbaine par rapport à une autre au regard des consommations énergétiques sur la base des études existantes. En complément de ces difficultés, un changement récent en matière d'énergie vient aujourd'hui

complexifier la question énergétique. Désormais les espaces urbains ne sont plus envisagés uniquement comme des consommateurs d'énergie, mais également comme des producteurs potentiels. L'autonomisation des quartiers en matière d'énergie avec le développement croissant des énergies renouvelables locales pose de nouvelles questions et est susceptible de remettre en cause les liens existants entre forme urbaine et énergie.

Au regard de ce contexte, deux objectifs sont identifiés dans ce travail. Le premier vise à réinterroger les liens existants entre la forme urbaine et la consommation énergétique des ménages, en combinant les deux secteurs de consommation que sont les transports et le bâtiment. Le second objectif est d'interroger les liens existants entre la forme urbaine et le potentiel de production d'énergie renouvelable d'une ville. Nous faisons ainsi les hypothèses et sous-hypothèses suivantes :

- La compréhension des liens entre la forme urbaine et la consommation d'énergie globale des ménages ne peut se faire qu'à partir d'une analyse multi-échelle :
 - les effets défavorables de la forme d'un quartier sur la consommation d'énergie liée aux mobilités quotidiennes peuvent être compensés par la forme plus globale de la ville et inversement.
 - une consommation d'énergie liée aux mobilités quotidiennes élevée peut être compensée par une bonne performance thermique des bâtiments, et donc des consommations moindres, et inversement.
- La forme des villes impacte la consommation énergétique mais également le potentiel de production d'énergie locale et ce de manière différenciée.

Si la démarche générale de ce travail intègre l'ensemble de ces hypothèses, seule la première sous-hypothèse, traitant spécifiquement des mobilités quotidiennes, sera abordée dans le cadre de cette communication.

3. Démarche méthodologique

3.1 Construction de villes théoriques

Dans un premier temps, il s'agit de modéliser plusieurs villes théoriques, revêtant différentes formes urbaines aux deux échelles identifiées. Au regard de la littérature existante sur les formes urbaines globales, trois archétypes d'agglomérations urbaines ont été choisis (figure 1), offrant une diversité importante dans leurs caractéristiques.

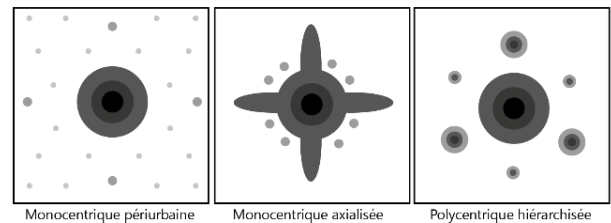


Figure 1 : trois modèles théoriques de formes urbaines globales

Concernant les formes urbaines locales, nous faisons le choix de sélectionner six tissus urbains types, dont des exemples représentatifs sont illustrés dans la figure 2. Chacun de ces tissus est caractérisé par un ensemble de paramètres (densité de population, densité de bâti, accessibilité aux transports collectifs, mixité d'usages).

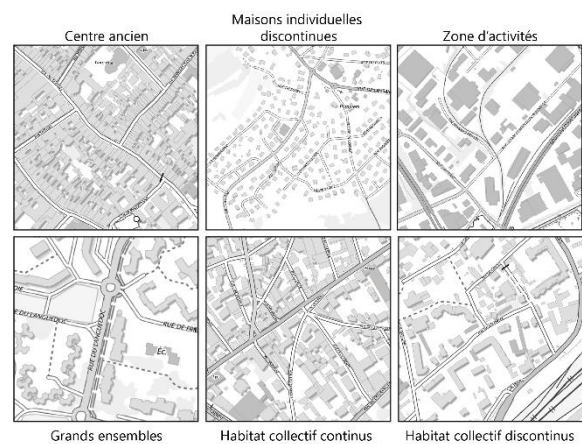


Figure 2 : six exemples représentatifs des tissus urbains sélectionnés

Des techniques de modélisation procédurale (Parish et Müller, 2001) sont utilisées pour automatiser la génération de ces formes urbaines, afin de produire un contenu numérique à partir d'un ensemble relativement simple de paramètres et de règles. Bâtiments, réseaux de transports, espaces non bâti sont ainsi créés par le biais de ces méthodes. Des activités et des services sont également positionnés au sein de ces villes théoriques au regard des caractéristiques des tissus urbains et de leur localisation dans l'agglomération globale.

Il est ainsi possible de travailler sur plusieurs territoires urbains théoriques, qui ne sont pas soumis aux variabilités historiques et économiques et sont donc affranchis des spécificités territoriales propres à chaque cas d'étude. Cela permet de dépasser certaines limites liées à la comparabilité des territoires et à la généralisation des résultats. Le recours à des archétypes d'agglomérations plutôt qu'à des villes réelles permet également d'isoler le facteur forme urbaine des autres facteurs pouvant intervenir sur la consommation des ménages.

3.2 Modélisation de la consommation énergétique des ménages

Deux approches méthodologiques majeures ont été choisies pour la modélisation de la consommation énergétique des ménages :

- une approche individu-centrée, qui permet de connecter les différentes échelles qui interviennent dans la mesure de la consommation énergétique.
- une approche par les pratiques : les consommations énergétiques étant directement liées aux activités des individus, qu'elles soient réalisées au domicile où à l'extérieur.

La première étape pour modéliser la consommation énergétique consiste à « peupler » les cadres urbains théoriques construits. Le choix est fait de constituer une population synthétique composée de plusieurs ménages types, eux même constitués d'individus types. Ces individus sont caractérisés par un ensemble d'attributs influençant leur comportement de consommation énergétique tels que l'âge, le genre, le niveau de revenu, etc.

La modélisation de la mobilité quotidienne des individus est réalisée par la biais du module « mobilités quotidiennes » du modèle Mobisim (Antoni et Vuidel, 2010), développé au laboratoire THÉMA. Ce modèle de transport propose en effet une modélisation par agent, basée principalement sur les activités et répond donc à notre demande. Un « programme d'activités hors domicile » d'un jour ouvré standard est d'abord construit pour chaque individu. Chaque activité possède une probabilité d'être accomplie en fonction des caractéristiques de l'individu. Les déplacements associés à ces activités vont ensuite être simulés par un modèle à quatre étapes (figure 3).

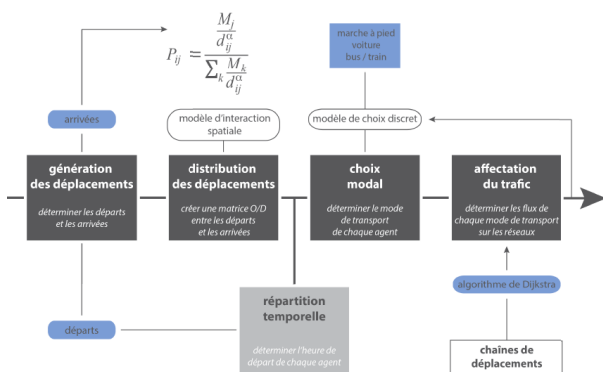


Figure 3 : Fonctionnement du modèle de simulation des mobilités quotidiennes de MobiSim (Frémond, 2015)

Les consommations d'énergie sont ensuite calculées pour chaque individu au regard des distances parcourues et du mode de transport utilisé.

3. Résultats

Ce travail permet de mettre en évidence les liens existants entre la forme urbaine et la consommation d'énergie liées aux mobilités quotidiennes. La méthodologie déployée permet également de tester de nombreuses combinaisons et hypothèses, y compris peu réalistes, de manière à dégager des pistes d'action pour faire évoluer les villes vers une plus grande sobriété énergétique en coordonnant mieux énergie, transport et urbanisme.

4. Références bibliographiques

Aguilera A., Madre J.-L. et Mignot D. (2004), « Métropolisation, formes urbaines et mobilité. Présentation du dossier », *Les Cahiers scientifiques du transport*, n°45, pp. 5-14.

Antoni J.-P. et Vuidel G. (2010), « MobiSim : un modèle multi-agents et multi-scalaire pour simuler les mobilités urbaines », in Jean-Philippe Antoni (dir.), *Modéliser la ville. Forme urbaine et politiques de transport*, Economica, Méthodes et approches, pp. 50-77.

Arantes L., Marry S., Baverel O. et Quenard D. (2016), « Efficacité énergétique et formes urbaines : élaboration d'un outil d'optimisation morpho-énergétique », *Cybergeo : European Journal of Geography*.

Banister D., Watson S. et Wood C. (1997), « Sustainable Cities: Transport, Energy, and Urban Form », *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol. 24, n°1, pp. 125-143.

Brehehy M. (1995), « The Compact City and Transport Energy Consumption », *Transactions of the Institute of British Geographers*, vol. 20, n°1, pp. 81-101.

Camagni R., Gibelli M.C. et Rigamonti P. (2002), « Urban mobility and urban form: the social and environmental costs of different patterns of urban expansion », *Ecological Economics*, vol. 40, n°2, pp. 199-216.

Fischler R. (2002), *Forme urbaine, développement métropolitain et mobilité des personnes: rapport final soumis à la Commission de consultation sur l'amélioration de la mobilité entre Montréal et la Rive-Sud le 29 mai 2002*, R. Fischler, 149 p.

Frémond M. (2015), *Une approche normative de l'aménagement au Luxembourg. Évaluation par la simulation*.

Gordon P. et Richardson H.W. (1997), « Are Compact Cities a Desirable Planning Goal? », *Journal of the American Planning Association*, vol. 63, n°1, pp. 95-106.

Le Néchet F. (2015), « De la forme urbaine à la structure métropolitaine : une typologie de la configuration interne des densités pour les principales métropoles européennes de l'Audit Urbain », *Cybergeo : European Journal of Geography*.

Levinson D.M. et Kumar A. (1997), « Density and the journey to work », *Growth and Change*, vol. 28, n°2, pp. 147-172.

Næss P., Røe P.G. et Larsen S. (1995), « Travelling Distances, Modal Split and Transportation Energy in Thirty Residential Areas in Oslo », *Journal of Environmental Planning and Management*, vol. 38, n°3, pp. 349-370.

Newman P.W. et Kenworthy J.R. (1989), *Cities and automobile dependence: a sourcebook*, Aldershot, Gower Technical, 388 p.

Parish Y.I.H. et Müller P. (2001), « Procedural modeling of cities », *Proceedings of the 28th annual conference on Computer graphics and interactive techniques - SIGGRAPH '01*, pp. 301-308.

Ratti C., Baker N. et Steemers K. (2005), « Energy consumption and urban texture », *Energy and Buildings*, vol. 37, n°7, pp. 762-776.

Schwanen T., Dieleman F.M. et Dijst M. (2001), « Travel behaviour in Dutch monocentric and policentric urban systems », *Journal of Transport Geography*, vol. 9, n°3, pp. 173-186.