

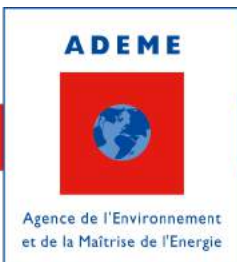


Avril
2019

Évaluation prospective des formes urbaines dans le cadre de la Transition Énergétique et Écologique



Rapport Final
19 avril 2019



En partenariat avec :



REMERCIEMENTS

Yves MOCH, ADEME, SOU
Daniela SANAA, ADEME, SOU
Emmanuel COMBET, ADEME, Service Économie et Prospective
Albane GASPARD, ADEME, Service Bâtiment

CITATION DE CE RAPPORT

ADEME, TRIBU, Institut négaWatt, Solagro, 2019. Evaluation prospective des formes urbaines dans le cadre de la Transition Énergétique et Ecologique. 137 pages

Cet ouvrage est disponible en ligne www.ademe.fr/mediatheque

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Ce document est diffusé par l'ADEME

20, avenue du Grésillé
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de contrat : 18MAR000107

Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par :

Marie LEROY-THOMAS, TRIBU
Héloïse MARIE, TRIBU
Benoit VERZAT, Institut NégaWATT
Florin MALAFOSSE, Solagro

Coordination technique - ADEME : Yves MOCH
Direction/Service : Organisations urbaines

SOMMAIRE

INTRODUCTION	6
PARTIE 1 : Les impacts énergie-carbone des formes urbaines : quels enjeux ?	8
1. Définition du sujet.....	8
2. Formes urbaines : tendances passées et prospective sur le territoire métropolitain	11
PARTIE 2 : Les indicateurs des impacts énergie/carbone des formes urbaines	27
1. Les indicateurs liés aux transports	29
4. Les indicateurs en lien avec les réseaux de chaleur, de froid, électriques et smart grid	49
5. Les indicateurs liés au bâti (énergie d'usage)	51
6. Indicateur lié au potentiel solaire EnR	68
7. Les indicateurs en lien avec la construction, la rénovation des bâtiments et les ouvrages (énergie grise) 70	
8. Les indicateurs des sols vivants : stock carbone, production alimentaire, production de biomasse EnR 75	
Conclusion : une liste limitée d'indicateurs à retenir.....	80
PARTIE 3 : Les outils d'évaluation des impacts énergie-carbone des formes urbaines.....	83
1. Vision synoptique des outils	84
2. Analyse détaillée des outils	86
3. Synthèse sur les outils	99
PARTIE 4 : bases de données existantes à l'échelle nationale	101
1. Analyse synthétique.....	102
2. Analyse détaillée	103
3. Autres bases de données pour information	108
PARTIE 5 : Vers une intégration de la brique « formes urbaines » dans l'outil ADEME	109
1. Réflexions pour une amélioration des analyses sectorielles de l'ADEME.....	110
2. Développer une approche comptable de la structure de la France en termes de formes urbaines (état zéro du territoire).....	116
3. Pistes la quantification des impacts énergie-carbone des formes urbaines à l'échelle France métropolitaine	117
CONCLUSION	122
Bibliographie	123
Index des tableaux et figures.....	130
Sigles et acronymes	132
ANNEXE // Autres outils analysés.....	134

RÉSUMÉ

Le travail de prospective énergétique mené par l'ADEME, appelé « Visions 2035-2050 » a permis d'identifier des scénarios possibles pour la transition énergétique en France et notamment d'alimenter les réflexions relatives aux évolutions réglementaires. Or, ce travail intègre très partiellement la question des formes urbaines du territoire français.

L'objectif de l'étude est d'engager une réflexion sur la manière d'articuler concrètement prospective énergétique et prospective géographique, en proposant des pistes d'intégration de la brique « formes urbaines » dans les scénarios énergie-climat de l'ADEME. Sur la base d'un état de l'art, il s'agit d'identifier et sélectionner les indicateurs d'évaluation énergie-carbone de la forme urbaine les plus influents dans un travail de prospective urbaine et énergétique. L'étude recense et analyse aussi les outils de prospective énergétique existants en vue de sélectionner ceux qui pourraient s'adapter à une scénarisation à l'échelle nationale.

Une sélection d'une dizaine d'indicateurs de forme urbaine est proposée selon des critères d'impact énergie-carbone, selon leur capacité à être leviers de scénarisation d'aménagement urbain et selon leur simplicité de calcul et d'accès aux données géographiques. En parallèle, des outils de prospective urbaine sont identifiés pour leur capacité à prendre en compte ces indicateurs. Ainsi, plusieurs cas de figure d'intégration de la brique « forme urbaine » dans le scénario de l'ADEME sont proposés.

ABSTRACT

The energy foresight studies carried out by ADEME, called "Visions 2035-2050" identify scenarios for energy transition prospect in France to feed reflections about future regulations. However, this work integrates very partially the question of the urban forms of the French territory.

The purpose of the study is to initiate a reflection on how to concretely articulate prospective energy and prospective geographical, by proposing ways of integration of the brick "urban forms" in the energy-climate scenarios of the ADEME. On the basis of a state of the art, it is a question of identifying and selecting the most influential energy-carbon assessment indicators of the urban form in an urban and energy prospective work. The study also identifies and analyzes existing energy foresight tools with a view to selecting those that could be adapted to a scenario at the national level.

A selection of a dozen urban form indicators is proposed according to energy-carbon impact criteria, their ability to be levers for urban planning scenarios and their simplicity of calculation and access to geographic data. In parallel, urban foresight tools are identified for their ability to take into account these indicators. Thus, several cases of integration of the brick "urban form" in the scenario of the ADEME are proposed.

INTRODUCTION

Objectifs de l'étude

L'objectif de la présente étude est d'intégrer les enjeux liés aux formes urbaines dans le scénario énergie-climat de l'ADEME, appelé « Visions 2035-2050 ». Le travail prospectif de scénarisation énergétique mené par l'ADEME depuis 2013 a permis d'identifier une voie possible pour la transition énergétique en France et notamment d'alimenter les réflexions relatives aux évolutions réglementaires. Mais ce travail n'intègre pas, ou très indirectement, l'évolution de la forme urbaine. Par exemple, si le rythme de rénovation et de construction neuve en collectif ou en individuel sont pris en compte (ainsi que l'évolution du nombre de personnes par ménage) **les dimensions suivantes ne sont pas modélisées ou décrites** :

- les **dynamiques de la répartition de la population** entre les différentes typologies de formes urbaines ("types" d'établissements urbains et non urbains : métropoles, centres urbains, périurbains, ...; mais aussi la diversité des "types" de formes urbaines, plus ou moins denses: pavillonnaire, tissu urbain continu, tissu urbain discontinu, ...)
- les **interactions** de ces évolutions avec les consommations énergétiques **pour le transport de personnes et le transport de marchandises**
- l'influence des **enjeux de spatialisation des différentes fonctions** (commerce, santé, etc.) sur le secteur du transport
- les interactions de ces évolutions avec les **enjeux d'occupation du sol** (artificialisation, capacité de production alimentaire, stockage carbone, etc.)
- l'influence des typologies micro urbaines sur les impacts associés aux bâtiments concernant les **matériaux de construction des bâtiments** et les enjeux de chauffage et refroidissement

L'enjeu, pour l'ADEME, est donc bien d'intégrer la brique « forme urbaine » dans l'outil de scénarisation « Vision 2030-2050 » de l'ADEME, ainsi que de mieux articuler la prospective urbanisme et les visions énergie 2035-2050 de l'ADEME. Cela signifie d'une part de préciser les hypothèses concernant l'état actuel, et d'autre part de territorialiser les scénarios prospectifs (autrement dit, de rapprocher prospective énergétique et prospective géographique).

Il s'agit in fine, de :

1. Expliciter les problématiques auxquelles la modélisation actuelle de l'ADEME ne permet pas de répondre
2. Hiérarchiser les problématiques prioritaires
3. Hiérarchiser la facilité de mobiliser des outils existants pour répondre aux problématiques
4. Proposer des développements ultérieurs pour l'ADEME

Cela passe, pour l'ADEME, par le fait d'identifier des indicateurs d'évaluation de la forme urbaine et de ses impacts en termes d'énergie carbone, et d'engager une réflexion sur la manière d'articuler concrètement prospective énergétique et prospective géographique, en pensant notamment l'intégration de la brique « formes urbaines » dans les scénarios énergie/climat du service de prospective énergétique.

Enjeu scientifique et technique n°1 : comment caractériser l'impact énergie-carbone des formes urbaines ?

Enjeu scientifique et technique n°2 : comment prendre en compte l'évolution des formes urbaines dans la prospective énergétique ?

Méthode

Il s'agit d'une étude exploratoire, qui vise à ouvrir des champs de réflexion pour l'ADEME. A des fins de clarté pour le lecteur, il convient de distinguer la méthode d'investigation qui a été déployée et le format de restitution de l'étude.

Méthode d'investigation

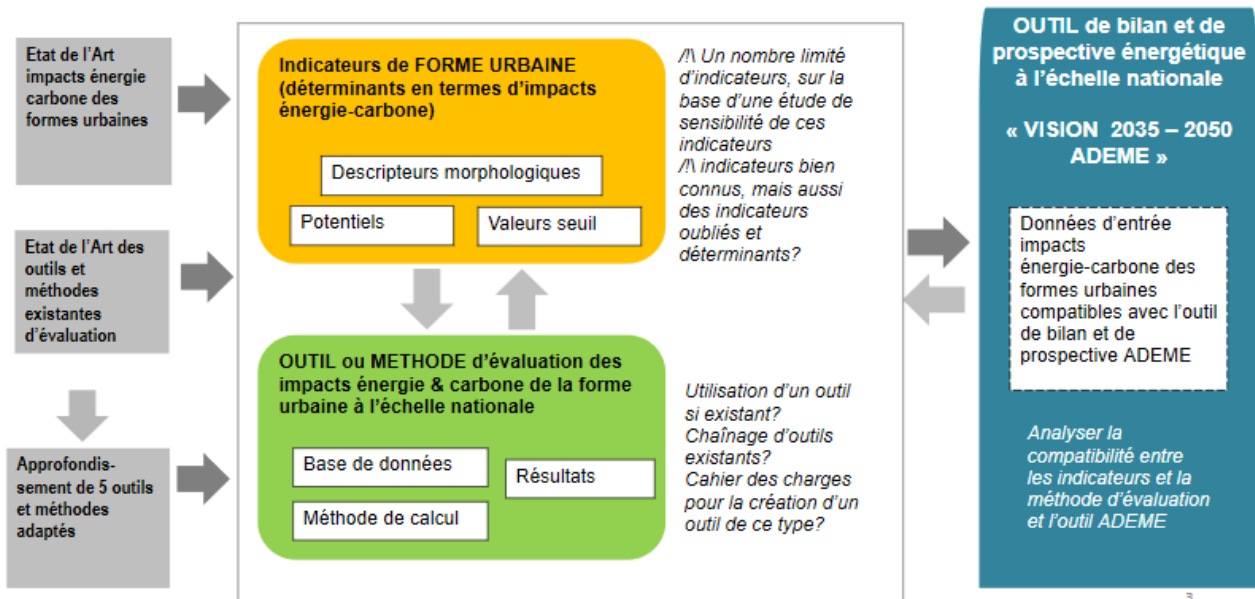


Figure 1 Méthodologie d'investigation de l'étude (TRIBU, Institut NegaWatt, Solagro)

La **première étape** correspond à la réalisation d'un état de l'art des études portant sur les impacts énergie-carbone des formes urbaines. Cet état de l'art permet à la fois de pré-identifier :

- les secteurs énergétiques les plus impactés par la forme urbaine
- les descripteurs (indicateurs) de la forme urbaine les plus déterminants en termes d'énergie-climat
- les outils utilisés par la recherche pour évaluer ces impacts

La **deuxième étape** correspond :

- à une sélection et un approfondissement d'un nombre limité d'indicateurs de forme urbaine, que l'on considère comme les plus déterminants en termes d'impacts énergie-carbone, sur la base d'une liste de critères énoncés plus loin
- à une sélection et un approfondissement d'un nombre limité d'outils d'évaluation prospective des impacts énergie-carbone des formes urbaines. Pour l'analyse de chacun de ces outils, une prise de contact est réalisée avec les développeurs, et lorsque l'outil est libre d'accès, il est testé.

Enfin, en **dernière étape**, sont proposées une ou plusieurs pistes d'intégration des enjeux de forme urbaine dans la prospective énergétique de l'ADEME. La faisabilité de chacune de ces pistes est précisée.

Plan du présent rapport

Le présent rapport se propose de partager les résultats de l'étude sous la forme suivante :

PARTIE 1 : Les impacts énergie-carbone des formes urbaines : quels enjeux ?

PARTIES 2, 3 et 4 : Ces parties présentent chacune des « briques » pouvant permettre l'évaluation des impacts énergie-carbone des formes urbaines

- PARTIE 2 : Les indicateurs des impacts énergie-carbone des formes urbaines
- PARTIE 3 : Les outils d'évaluation des impacts énergie-carbone des formes urbaines
- PARTIE 4 : Quelques bases de données mobilisables pour l'approche comptable des formes urbaines à l'échelle française

PARTIE 5 : Sont évoquées plusieurs pistes d'intégration des enjeux de forme urbaine dans la prospective énergétique de l'ADEME, ainsi que leur faisabilité.

PARTIE 1 : LES IMPACTS ENERGIE-CARBONE DES FORMES URBAINES : QUELS ENJEUX ?

1. Définition du sujet

Cette partie vise à clarifier les termes et concepts du sujet traité :

- qu'entend-on par formes urbaines ?
- quels sont les enjeux énergie-climat des formes urbaines ?

1.1. La notion de forme urbaine

Les formes urbaines, ce sont non seulement les volumes bâtis, mais aussi la voirie, le parcellaire, le découpage du sol, les densités, les usages. Elle recouvre donc à la fois une **dimension morphologique** et une **dimension fonctionnelle**. Elle correspond à l'**analyse des compositions et des organisations urbaines à une échelle plus large que celle du seul bâtiment**.

Si par « analyse de la forme urbaine », on renvoie le plus souvent aux échelles de l'îlot et du quartier (approche typo morphologique des tissus urbains par exemple), la forme de la ville, de l'agglomération et du bassin de vie peuvent également être analysées : on parlera ainsi d'une ville multipolaire, d'une ville fragmentée, d'une ville en étoile, d'un bio-territoire... On distingue alors la **forme « macro-urbaine »** (forme de la ville) de la « **forme micro-urbaine** » (forme de l'îlot, du quartier).

Dans leur étude de 2016 pour l'ADEME, Franck Boutté Consultants et Futuribles définissent formes macro et micro-urbaines ainsi :

- **Echelle macro** : L'échelle "macro" correspond à l'ensemble de la ville ou bien à des groupements de quartier. De manière plus concrète, c'est l'échelle qui est caractérisée par les notions d'*aire urbaine* (selon la définition de l'INSEE). Cette forme urbaine peut être analysée de manière statique (géométrie de la ville, rapport entre le centre et la périphérie, etc.) ou de manière dynamique (caractéristiques de la croissance urbaine).
- **Echelle micro** : Elle correspond plutôt à l'îlot ou bien au quartier présentant des caractéristiques morphologiques singulières. A cette échelle, l'analyse d'une forme urbaine prend en compte les masses bâties mais aussi les réseaux et les espaces vides.

Ces deux échelles interagissent fortement entre elles et composent un spectre dans lequel de multiples nuances s'expriment.

A toutes ces échelles, 4 composantes de la forme urbaine peuvent être analysées, qui sont représentées dans le graphique ci-dessous.

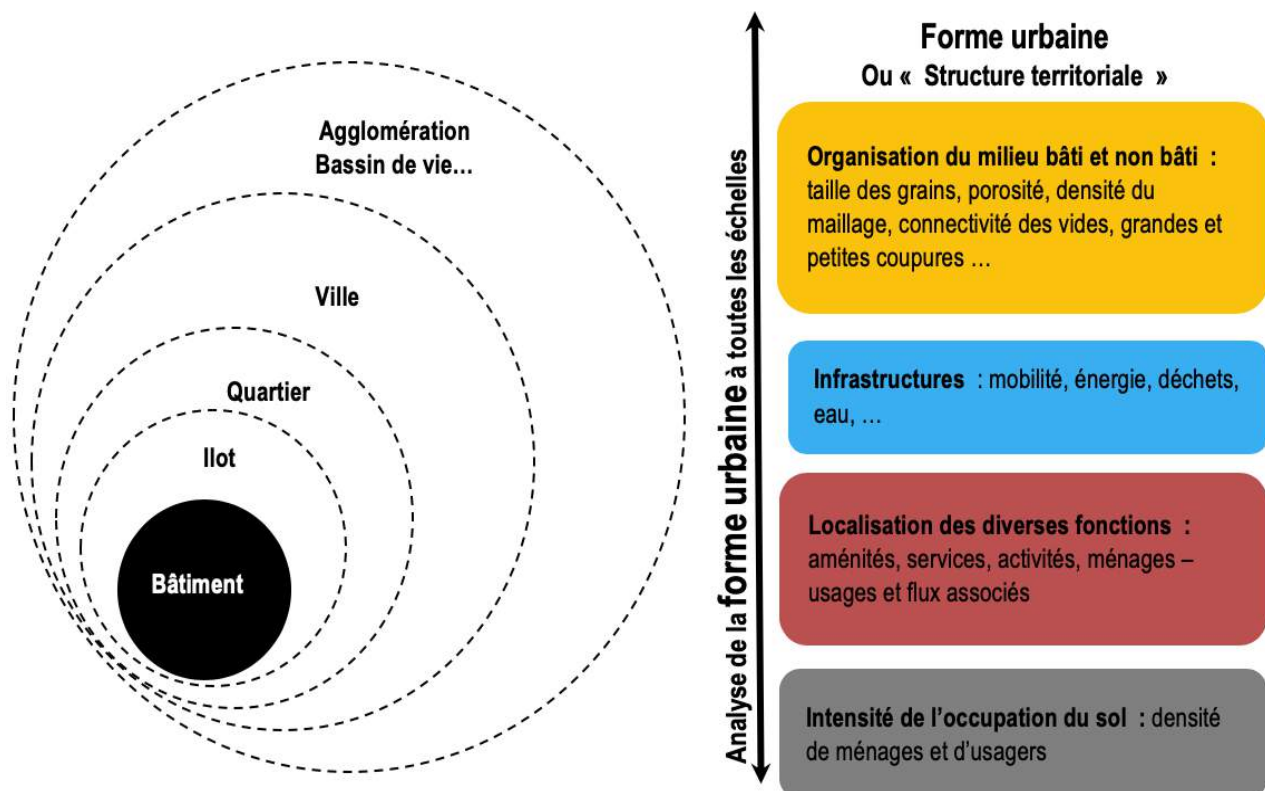


Figure 2 Notion de forme urbaine, TRIBU, à partir de divers travaux (SALAT, 2011; ADEME, 2016; Labeeuw et al, 2011)

Si l'on distingue ces **4 composantes de la forme urbaine** pour les besoins de l'analyse, elles sont **le plus souvent liées** : à titre d'exemple, grandes industries et petits commerces ne génèrent pas les mêmes « tissus urbains », et ne nécessitent pas les mêmes infrastructures et réseaux. Le schéma s'applique à toutes les échelles urbaines, de la métropole au village ou au petit bourg. On remarquera toutefois que dans tous ces cas, on parle bien des **milieux bâtis par l'homme**, et non des espaces forestiers, naturels et agricoles. Ceci nous interrogera pour la suite de l'étude.

Une structure territoriale, une fois mise en place, perdure pour un certain nombre d'années (80 ans en moyenne pour le bâtiment, beaucoup plus pour la trame des rues et les quartiers ...) : la localisation, la morphologie des tissus et la qualité des objets bâtis sont donc caractérisés par une certaine inertie. Par ailleurs, les facteurs de structuration territoriale sont caractérisés par un **faible degré de réversibilité et influencent les réponses techniques qui peuvent être proposées pour répondre aux enjeux climatiques** (Susan OWENS, 1986). En matière de vision prospective, on peut donc opposer deux visions : l'une pragmatique, qui considère l'inertie de la structure territoriale, et propose une stratégie et des actions territorialisées et adaptées aux réalités locales, et l'autre, plus théorique, de transformation radicale.

1.2. Les impacts énergie - carbone des formes urbaines

Lorsque l'on parle d'impacts énergie – carbone des formes urbaines, il s'agit d'identifier :

- le carbone émis et l'énergie consommée par combustion de ressources fossiles (gaz, pétrole, charbon, schistes bitumineux...), spécifiquement pour le transport, l'usage des bâtiments ainsi que la construction ;
- le carbone absorbé et stocké par les sols vivants et la biomasse (végétal, bois) ;
- le carbone et l'énergie évités par les énergies renouvelables.

Ces impacts sont en interaction permanente avec d'autres enjeux environnementaux et urbains, nous pouvons en citer quelques-uns :

- l'adaptation au changement climatique : le changement climatique tend à réduire les consommations de chauffage mais il est associé à l'augmentation de vagues de chaleur, faisant émerger des consommations liées au rafraîchissement ;
- l'îlot de chaleur urbain : le phénomène d'îlot de chaleur a des conséquences directes sur les charges climatiques des bâtiments, et sur le confort thermique et sur leur demande énergétique. Si en hiver l'effet peut être positif sur la réduction des consommations dues aux systèmes de chauffage, en été les bâtiments climatisés ont par contre, une consommation énergétique accrue ;
- l'économie des ressources : la consommation énergétique est associée à la question de l'exploitation des combustibles fossiles mais aussi l'énergie grise des matériaux et produits ;
- le confort thermique : le niveau de confort thermique en hiver est un paramètre associé à la performance énergétique des bâtiments
- la qualité de l'air : la qualité de l'air intérieure tend à faire augmenter les consommations de chauffage, en lien avec la nécessité de renouvellement d'air des logements ; par ailleurs, la qualité de l'air extérieur est améliorée par la limitation du trafic routier associé à la réduction des émissions de gaz à effet de serre ;
- la qualité des écosystèmes, la biodiversité, le cycle de l'eau est un enjeu relié au stock carbone de la biomasse vivante ;
- les enjeux socio-économiques : il existe un lien entre performance énergétique et coût des charges. La précarité énergétique associe ainsi l'enjeu de coût et de consommation énergétique ;
- plus largement, les modes de vie ont un impact sur les émissions.

Le tableau ci-dessous identifie les principaux impacts énergie - carbone en lien avec les formes urbaines. Les deux premières colonnes explicitent la concordance entre le langage des acteurs de l'urbanisme/ aménagement du territoire (première colonne), et les secteurs tels qu'identifiés dans la prospective énergétique ADEME (deuxième colonne).

A titre d'exemple, l'énergie grise de la construction, rénovation des bâtiments et ouvrages est prise en compte dans le secteur « industrie » dans l'outil de prospective ADEME.

Secteurs de l'aménagement du territoire	Secteurs identifiés dans le scénario ADEME	Impacts énergie - carbone en lien avec la forme urbaine
Transport de personnes et de marchandises	Transport	- Mobilité individuelle - Trafic logistique - Transports en commun
Consommation et production énergétique des bâtiments	Tertiaire Résidentiel Production énergétique	- Génie climatique : chaud, froid - Appareils électriques - Production EnR
Construction, rénovation des bâtiments et des ouvrages	Industrie	- Chantier, matériaux de construction, installation EnR, infrastructures - Artificialisation des sols
Agriculture	Agriculture	- Production de biomasse, EnR
Espaces naturels, espaces verts intra-urbains	Stockage du carbone	- Stock carbone - Production de biomasse, EnR

Tableau 1 Impacts énergie carbone et formes urbaines, TRIBU

L'enjeu de cette étude est d'identifier des déterminants (indicateurs) de la forme urbaine qui font varier ces différents postes de consommation et d'émission énergie-carbone.

1.3. Les autres variables territoriales

Les impacts énergie-carbone des établissements humains ne sont pas liés à sa seule structuration territoriale. Doivent aussi être pris en compte des variables comportementales, technologiques et socioéconomiques. Si ces autres variables sont indiquées à titre indicatif, elles ne sont pas prises en compte dans l'étude.

Impacts énergie-carbone d'un territoire			
Variable forme urbaine ou "structure territoriale"	Variabes comportementales Liées aux modes de vie de la population qui occupe le territoire: distances parcourues, modes de transport, modes d'occupation des bâtiments ...	Variabes technologiques Techniques disponibles et coûts, performance environnementale ...	Variabes socio-économiques Revenus, structures des ménages, etc...

Tableau 2 Impacts énergie-carbone d'un territoire, TRIBU, Librement inspiré de LABEEUW, DUJARDIN, LAMBOTTE et TELLER, Morphologie urbaine et consommation énergétique du bâti résidentiel pour répondre aux objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre, 2011

2. Formes urbaines : tendances passées et prospective sur le territoire métropolitain

2.1. Bilan des tendances passées

L'explicitation des impacts énergie-carbone des formes urbaines passe par une analyse des grandes tendances du siècle passé, et particulièrement des cinquante dernières années, en matière de grands équilibres et de dynamiques des formes macro-urbaines et micro-urbaines. Mises en regard de leurs impacts énergie-carbone (négatifs ou positifs), ces tendances mettent en valeur les enjeux de demain en termes de formes urbaines.

Ces grandes tendances peuvent être résumées en quatre points :

- Deux dynamiques fortes : Périurbanisation et métropolisation
- Une lente tendance à l'inversion du rapport individuel/ collectif
- Une augmentation continue de l'artificialisation des sols, plus importante que la croissance de la population

2.1.1. Deux dynamiques fortes : Périurbanisation et métropolisation

Après-guerre : l'exode rural

Avant la Seconde Guerre Mondiale en France, les villes et les villages sont encore des lieux relativement denses mais très peu étalés, l'occupation du territoire est assez homogène. Après-guerre, et durant les trente glorieuses, l'exode rural vient alimenter les villes : la **population urbaine s'accroît de 93%** entre 1962 et 1975.

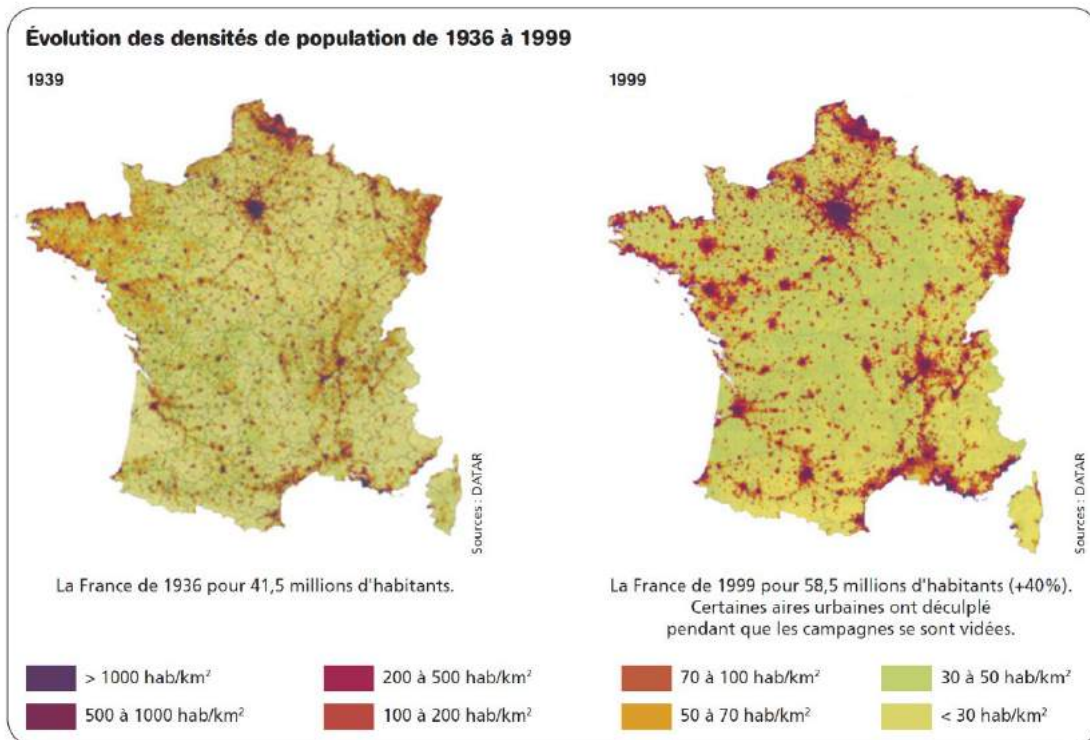


Figure 3 Evolution des densités de population entre 1936 et 1999, DATAR

Une première phase de densification urbaine, puis apparition de la “banlieue” (1970-1990), essentiellement sous forme pavillonnaire

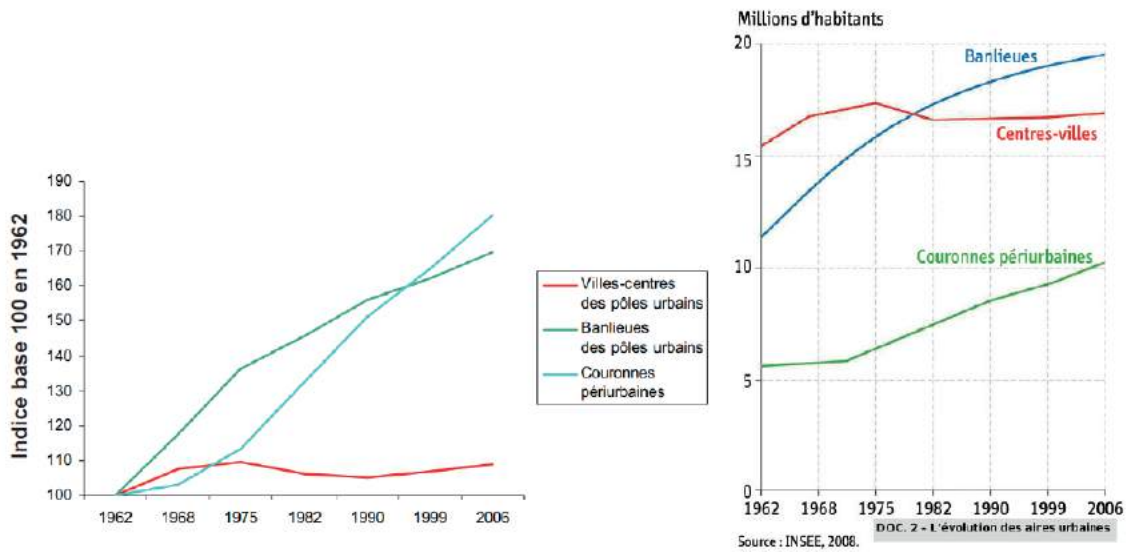
Les villes ont d’abord profité de cet afflux de population pour se densifier, puis la croissance s’est étendue aux périphéries. La notion de « banlieue » apparaît, favorisée par le développement de la voiture particulière et la baisse des coûts de l’énergie entre les années 1970 et 1990. Les distances domicile-travail se desserrent, la dichotomie ville/ campagne s’estompe. A la ville dense, vécue comme un espace pollué, s’oppose alors le modèle du pavillon individuel, proche de la nature. Entre 1975 et 1990, la population métropolitaine française augmente à raison de 250 000 à 300 000 personnes par an. Plus de la moitié de ces personnes ont profité aux communes péri-urbaines.

1990-2000 : poursuite de l’étalement urbain, mais diversification des formes d’habitat

Pendant les années 1990, la croissance des banlieues s’essouffle, au profit de l’accélération de la croissance du périurbain.

- Les communes périurbaines ont connu un taux de croissance annuelle de 1% sur cette période, un chiffre trois fois supérieur à la croissance moyenne de la population métropolitaine.
- La croissance des couronnes périurbaines a dépassé celle des banlieues au milieu des années 1990.

En parallèle, la croissance des centres-villes a globalement tendance à stagner, même si quelques agglomérations ont vu leurs centres retrouver leur attractivité.



Evolution de la population par sous-espaces des aires urbaines entre 1962 et 2006 en France : à gauche de manière proportionnelle (base 100 en 1962) et à droite en millions d'habitants - Source : Synthèse – Etalement urbain et politique climatique, Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement

Figure 4 Formes urbaines en Ile de France et émissions de gaz à effet de serre, APUR, 2009, extrait du rapport ADEME, Formes urbaines et densité, 2016

En 2008, la répartition géographique des français montre une part très importante des français dans des aires urbaines supérieures à 100 000 habitants, et notamment dans les banlieues et couronnes périurbaines de ces aires urbaines.

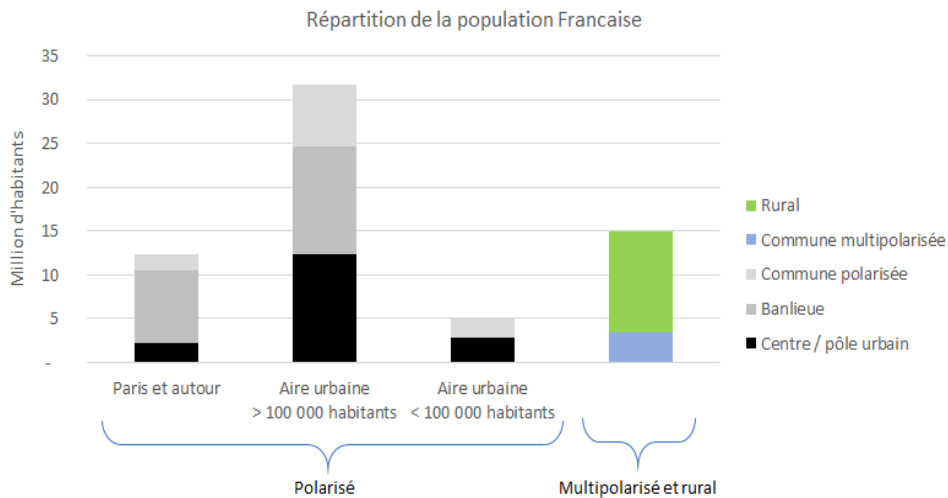


Figure 5 Institut NegaWatt, sur la base de l'enquête nationale transport-déplacements de 2008

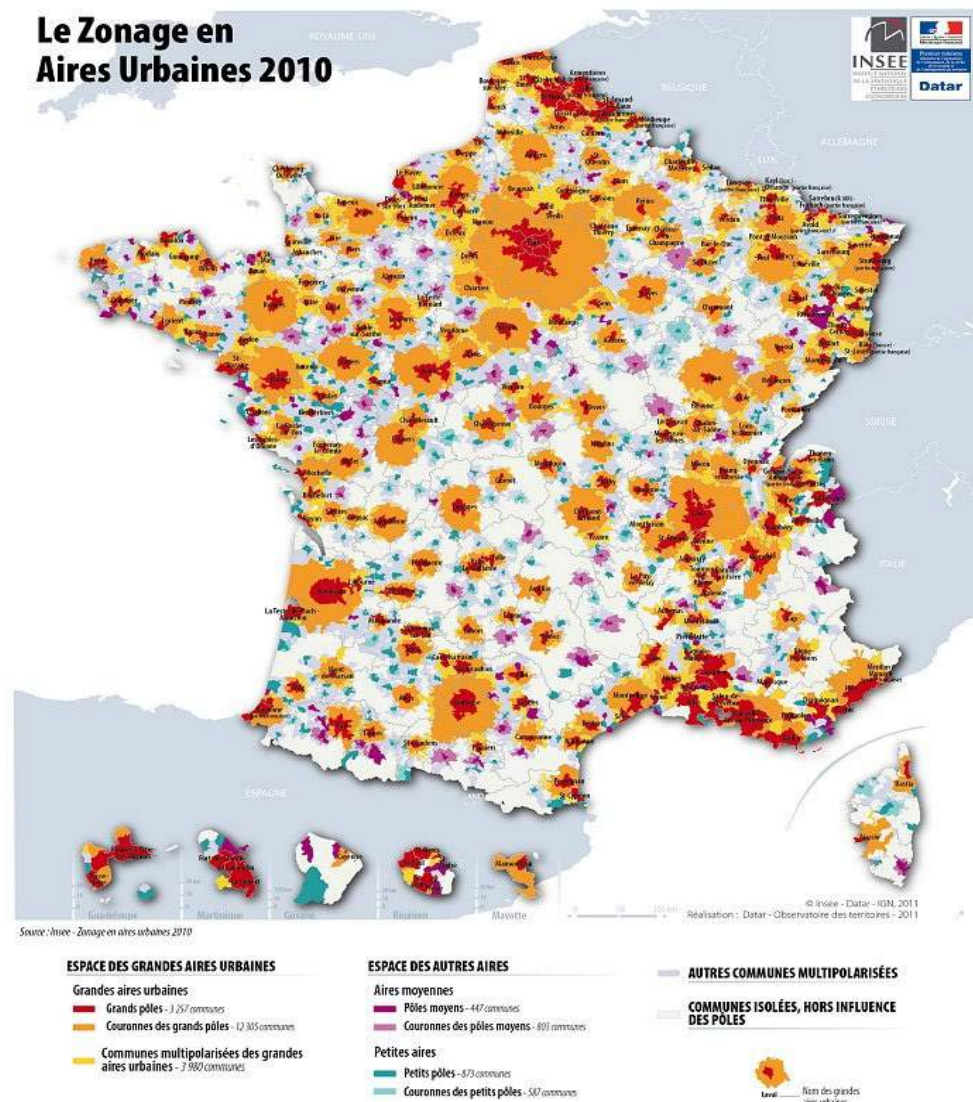


Figure 6 INSEE, Le nouveau zonage en aires urbaines de 2010

Ces dix dernières années, des dynamiques nouvelles sont constatées

Dans son "Rapport sur la cohésion des territoires" de juillet 2018, le Commissariat Général à l'Égalité des territoires (CGET) fait état de quatre dynamiques plus récentes des formes urbaines à l'échelle française, venant infléchir les formes urbaines. Ces quatre dynamiques sont les conséquences de la crise qui a secoué la France ces dix dernières années :

- une tendance à la métropolisation, longtemps peu perceptible, qui a engendré une nouvelle géographie économique : la production du pays s'est concentrée dans quelques grandes aires urbaines, sous l'effet de la concentration des emplois les plus qualifiés et des secteurs les plus innovants.
- la **périurbanisation**, ancienne, a continué de dissocier géographie du peuplement et implantation des emplois. En effet, les prix de l'immobilier ont grimpé en même temps que la croissance des emplois, ce qui contribue à alimenter le solde migratoire négatif au bénéfice des espaces périurbains, et notamment de ce qui est appelé "couronnes périurbaines". La périurbanisation se maintient en intensité et en distance, ce sont les espaces les plus dynamiques en termes de population et d'emploi.
- la **divergence de trajectoires entre les espaces ruraux** s'est accentuée, mettant en évidence les vulnérabilités accumulées de grands espaces ruraux: les territoires ruraux autour des villes, situés près des littoraux océaniques et méditerranéens et des vallées urbaines françaises connaissent une forte croissance des emplois, et une situation proche du périurbain. Les communes plus éloignées des villes sont marquées par les délocalisations et les pertes d'emplois. Les campagnes les moins denses sont marquées par le vieillissement et la perte de population ("diagonale du vide").

- L'armature urbaine du pays en **villes petites et moyennes**, qui fut longtemps le support d'un quadrillage équilibré du territoire, a été **pour partie fragilisée**, notamment dans l'arc Nord-Est de la France

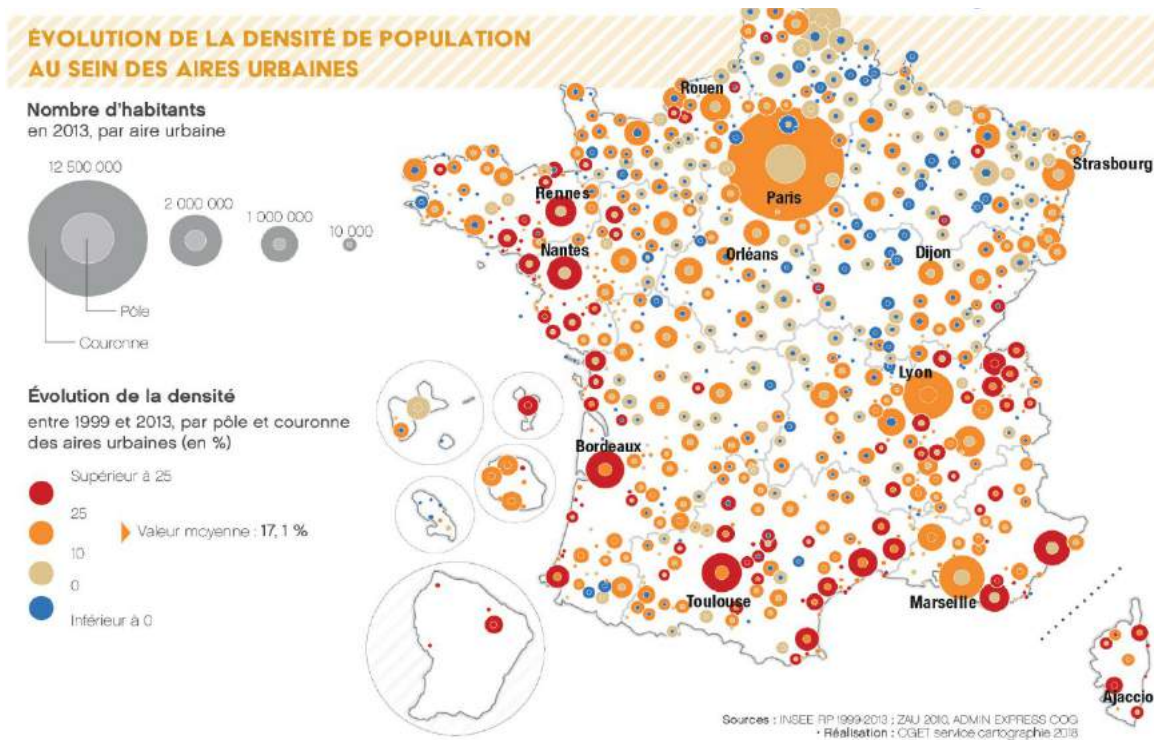


Figure 7 Extrait de CGET, Rapport national sur la cohésion des territoires, juillet 2018

Le croisement des données sur la production de logements neufs et la taille des aires urbaines dans lesquels sont produits ces logements permet de faire état des tendances suivantes :

- la croissance est plus forte dans les aires urbaines (+139% de résidences principales entre 1985 et 2011 pour les unités urbaines de 100 000 habitants et + 140% pour les unités urbaines de moins de 100 000 habitants)
- l'agglomération parisienne croît moins fortement (+126%)
- les communes rurales croissent moins fortement également (+ 121%)

Pour autant, la **distance des logements aux centres-villes** et donc aux équipements et services **stagne** : pour le logement collectif, elle se situe entre 8 et 10km, pour le logement individuel autour de 16 km. Pour les autres programmes (commerces, bureaux, équipements, loisirs), on observe une relative stagnation de la distance au centre-ville entre 12 et 14 km.

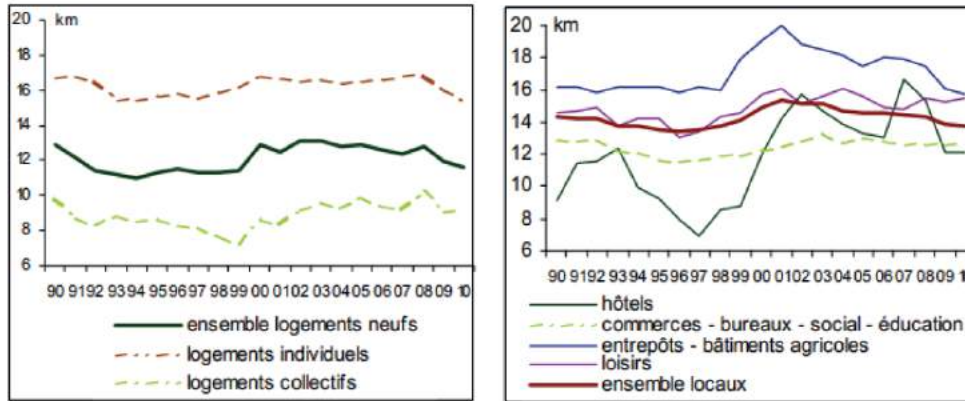


Figure 8 : Evolution de la distance moyenne à la ville-centre de la construction neuve
 Source : MEDDTL/SOeS, Sitadel / Schéma extrait de ADEME, Formes urbaines et densité, 2016

2.1.2. Une lente tendance à l'inversion du rapport logements individuels/ logements collectifs

En 2018, le parc de logements français est réparti comme suit :

- 29 745 logements au total
- 16 894 soit **57% de logements individuels**
- 12 851 soit **43% de logements collectifs**

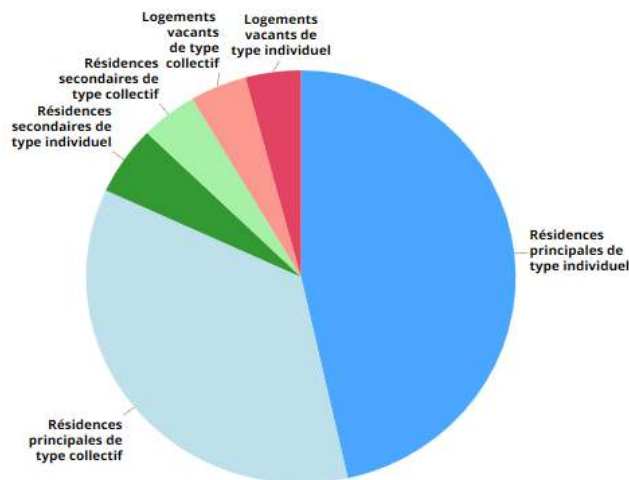


Figure 9 : Parc de résidences en habitat collectif ou individuel en 2018 (en milliers)
 Sources : Insee et SDES, estimation annuelle du parc de logements.

Dans son rapport « Faire la ville dense durable et désirable » de 2018, l'ADEME donne la répartition suivante des logements en France est donnée, plus fine que la seule approche logements individuels/ logements collectifs (données TNS Sofres, 2007).

- Maison individuelle isolée: 20% de l'habitat occupé
- Grands ensembles d'habitat collectif: 9% de l'habitat occupé
- Grands immeubles: 4% de l'habitat occupé
- Habitat haussmanien: 6% de l'habitat occupé
- Maison individuelle: 26% de l'habitat occupé
- Petit habitat individuel en ville: 20% de l'habitat occupé
- Petit/ moyen habitat collectif en ville: 9% de l'habitat occupé

Depuis 2012, la mise en chantier de logements collectifs dépasse la mise en chantier de logements individuels, mais c'est une tendance très lente. La répartition entre logements individuels et collectifs n'a évolué qu'à la marge depuis 2013 (Figure 10).

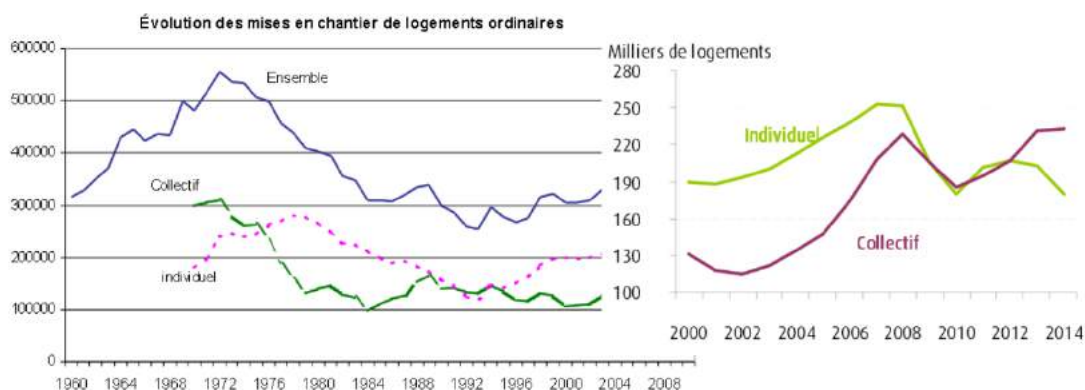


Figure 10 : Evolution des mises en chantier de logements : à gauche en logements entre 1960 et 2008, à droite en milliers de logements entre 2000 et 2014 – sources : SOeS, Sitadel2, MEDDE - Schéma extrait de ADEME, Formes urbaines et densité, 2016

Par ailleurs, la construction de logements neufs est encore clairement influencée par la taille de la ville :

- les pôles urbains (villes centres et hors villes centres) concentrent quasi 80% des logements collectifs et seulement 30% des logements individuels.
- Les pôles urbains hors villes-centres (qu'on peut assimiler aux banlieues) ont dépassé les villes-centres depuis 1990 pour la production de logements collectifs neufs.
- On observe également une augmentation de la répartition des constructions neuves hors des villes-centres et vers la couronne périurbaine (vers les communes monopolarisées, multipolarisées et à dominante rurale).
- La mise en chantier de logements neufs, collectifs et individuels, se localise surtout sur les littoraux et autour des grandes aires urbaines : Paris, Lille, Strasbourg et Lyon/Grenoble.
- Les maisons individuelles se concentrent davantage sur les littoraux et dans les zones rurales.¹

2.1.3. Une augmentation continue de l'artificialisation des sols, plus importante que la croissance de la population

A ce jour, les sols artificialisés représentent 9% du territoire national. Sur ces 9%, on trouve en première place les espaces artificialisés dédiés à l'habitat (42%), puis aux réseaux routiers (24%) (Figure 11).

¹ ADEME, Formes urbaines et densité, 2016

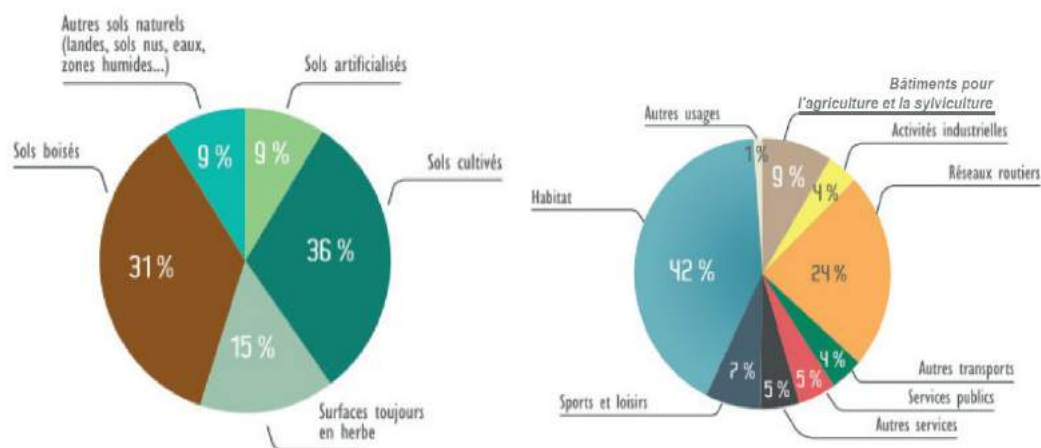


Figure 11 : Occupation des sols en France Métropolitaine en 2014 (à gauche) et répartition des sols artificialisés en France Métropolitaine en 2014 (à droite) – Source : ADEME, d'après AGRESTE/ Teruti-Lucas – Extrait de ADEME, Formes urbaines et densité, 2016

On observe depuis 1993 une augmentation continue de la surface artificialisée, qui continue à être **3 fois plus importante que la croissance de la population** : + 1,5% par an entre 1981 et 2012 contre 0,5% pour la population (Figure 12). En projetant la tendance jusqu'en 2030, la part de ce type de surface artificialisée pourrait passer de 6 à 8% du territoire métropolitain, soit une augmentation d'un tiers de la surface actuellement imperméabilisée (Figure 13). La progression de l'artificialisation a lieu principalement aux alentours des grandes villes, le long des réseaux de transport et des vallées (voir Figure 14), et se fait essentiellement aux dépens des espaces agricoles (Figure 15).

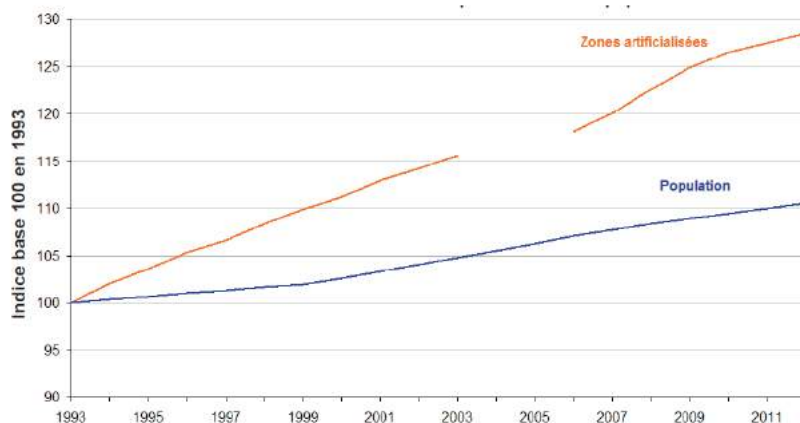


Figure 12 : Evolution des zones artificialisées comparée à celle de la population (absence de données entre 2004 et 2005 pour les zones artificialisées) – Source : Ministère de l'agriculture, Teruti-Lucas et INSEE- Extrait de ADEME, Formes urbaines et densité, 2016

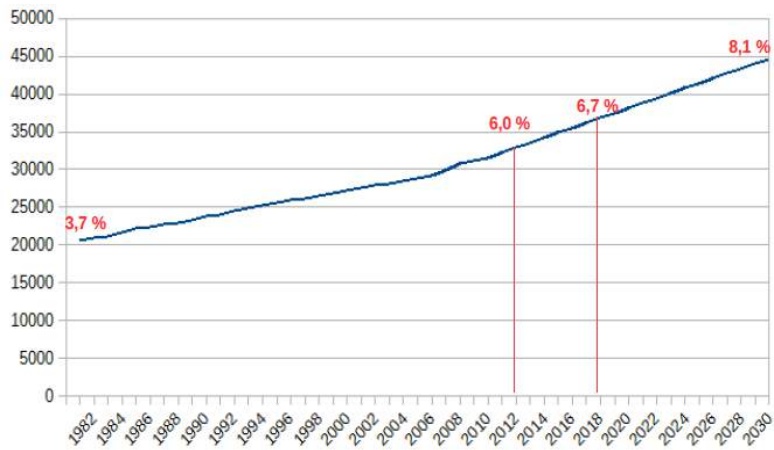
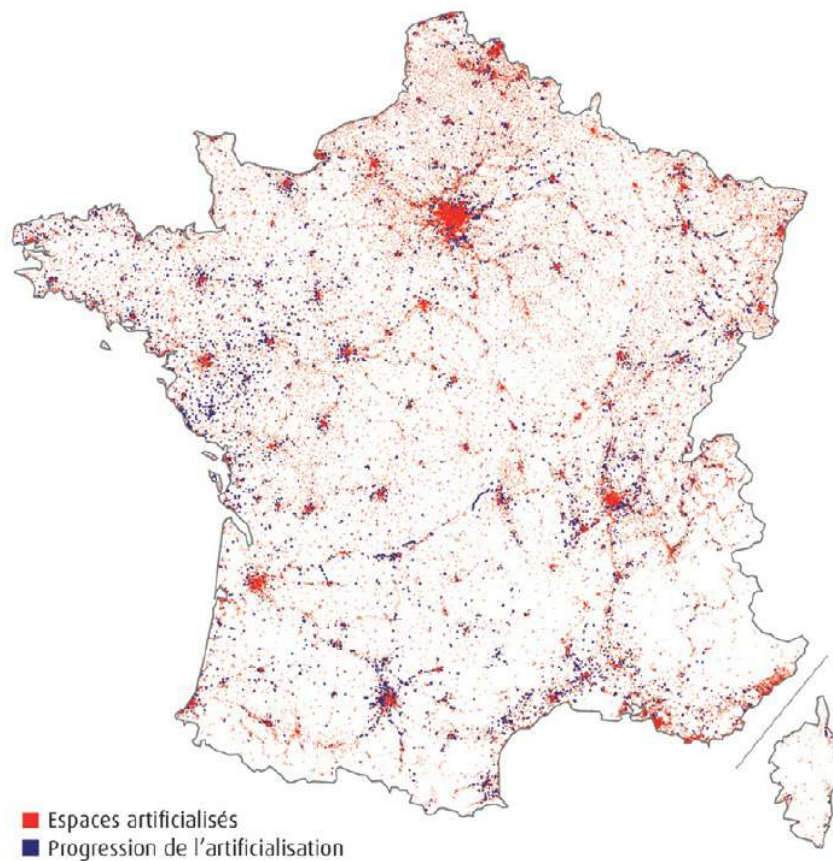


Figure 13 : Surfaces imperméabilisées en métropole de 1981 à 2030 (km² bâtis et revêtus, % de la surface métropolitaine) – source : calculs CGDD d'après Teruti-Lucas 1981-2012 (séries raccordées), projection 2012-2030 en fonction des tendances démographiques et économiques – Extrait de Commissariat Général au Développement durable, Objectif « zéro artificialisation nette », 2018



Note : Les polygones de changement ont été épaissis par souci de lecture.

Figure 14 : : Extension forte et contrastée de l'artificialisation des sols entre 2000 et 2006 – Source : UE-SOeS, CORINE Land COVER, 2006 – Extrait de CGDD, La France vue par CORINE Land Cover

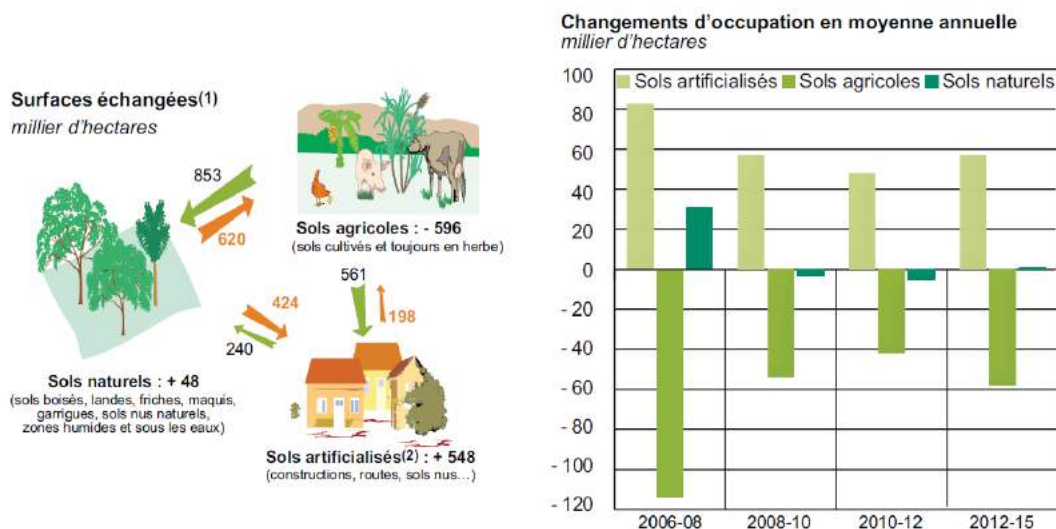


Figure 15 : Changements d'occupation des sols entre 2006 et 2015
- Source Enquête TERUTI-LUCAS 2015, Agreste, 2017

Près de 60 % des territoires artificialisés se situent dans les villes-centres ou les villes de banlieue, mais l'artificialisation entre 2006 et 2012 concerne davantage les **communes rurales et les villes isolées, ainsi que les espaces périurbains** (sources : Atlas de l'occupation des sols en France, 2016, Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer et CGET, Rapport sur la cohésion des territoires, juillet 2018).

Le tissu urbain continu² ne couvre que 1,6 % des sols artificialisés. Il est resté stable depuis 1990. Le **tissu urbain discontinu** est beaucoup plus consommateur d'espace que le tissu urbain continu, plus dense. Il occupe les trois quarts des espaces artificialisés (21 000 km²), son extension se poursuit (+ 56 km²/an) dans toutes les régions. Au total, le tissu urbain discontinu, les zones industrielles et commerciales et les grandes infrastructures de transport représentent 90 % des surfaces artificialisées.

L'habitat n'est pas seul en cause : l'évolution de la consommation d'espace entre 2006 et 2014 plus importante pour les secteurs du **commerce, de la finance et des services** et pour les **transports** que pour le secteur de l'habitat. Les zones industrielles et commerciales continuent de s'étendre dans toutes les régions (+ 38 km²/an entre 2000 et 2006). Les réseaux routiers et ferroviaires de large emprise progressent de + 13 km²/an; Rapporté à leur surface totale, ce type d'occupation des sols présente la plus forte progression relative (+ 19 %) (Figure 16).

Au sein de l'habitat, 46 % des sols artificialisés sur la période 2006-2014 servent aux **logements individuels** (dont plus de la moitié pour les pelouses et jardins).

Les enjeux de ces grandes tendances sont environnementaux, économiques et sociaux: l'étalement urbain pose la question de l'accessibilité aux emplois, commerces et services, de l'allongement des distances de transport, et de l'usage généralisé de la voiture individuelle.

² Le tissu urbain est dit continu quand la végétation non linéaire et le sol nu sont rares, et discontinu lorsqu'ils occupent des surfaces non négligeables.

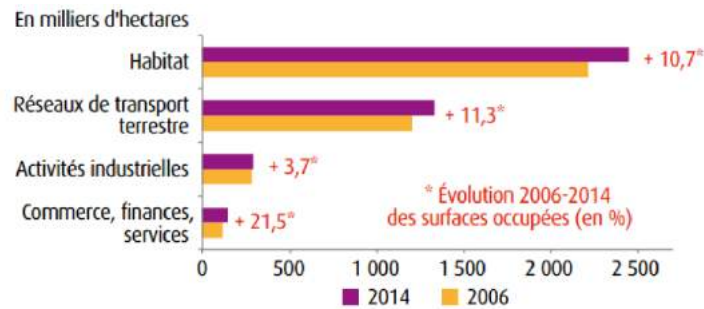


Figure 16 : Progression de l'artificialisation des sols en France métropolitaine par type d'usage (source: SSP, enquêtes Teruti-Lucas 2006 et 2014), Schéma extrait de ADEME, Densité et formes urbaines, 2016

2.1.4. L'urbanisme commercial : des tendances continues à la périurbanisation

Le commerce nous semble devoir faire l'objet d'un développement à part. En effet, il induit des pratiques sociales non seulement en termes de mode de vie et de consommation mais aussi en termes de déplacements. L'évolution du commerce et des loisirs aura donc des impacts sur la mobilité urbaine dans le futur. En 2003, 93% des Français fréquentaient un hypermarché et 88% d'entre eux utilisaient leur voiture pour faire leurs courses, alors qu'ils n'étaient que 50% dix ans auparavant.

Jusqu'en 2008, on constate un **fort accroissement des surfaces commerciales en périphérie** comme le montre le rapport du GART (Groupement des Autorités Responsables des Transport) de 2008 : « 7,1 millions de m² sont actuellement en projets, dont 6 millions en périphérie contre 1,1 millions en centre-ville. C'est en effet le nombre de projets en périphérie qui contribue à cette très forte accélération (une centaine de nouveaux projets répertoriés cette année). Cette inflation est essentiellement due aux projets de parcs d'activités commerciales de type « retail park » : ces derniers représentent maintenant 50 % du total des projets, contre moins de 30 % il y a seulement deux ans... et 8 % en 2001 ». ³

A noter que **cette tendance semble s'inverser** ces dernières années avec un développement conséquent des enseignes de la grande distribution dans les centres urbains⁴.

Néanmoins, selon des statistiques publiées en 2018 par la Direction Générale des Entreprises environ 70 % des établissements de commerce d'alimentation font plus de 700 m² ⁵. Les surfaces de plus de 700 m², généralement implantées en périphérie, semblent encore constituer l'essentiel des sites d'achats réguliers.

³ GART, Urbanisme commercial et politiques de déplacements. Jalons pour un aménagement économique durable, 2008

⁴ <https://www.lsa-conso.fr/les-magasins-de-proximite-avancent-a-pas-de-geant,208315>

⁵ <https://www.entreprises.gouv.fr/etudes-et-statistiques/chiffres-cles-du-commerce> "Chiffres clés du commerce, édition 2018

Types d'implantations et de demandes

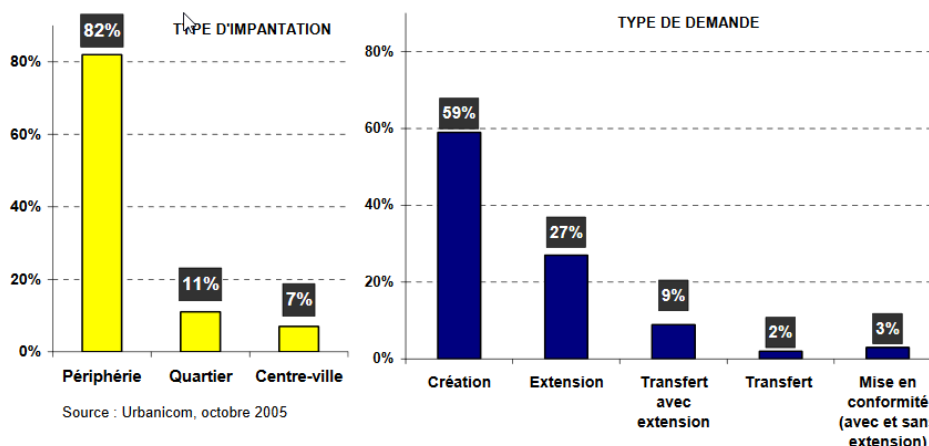


Figure 17 : Types d'implantations et de demandes pour le développement d'espaces commerciaux – Source : Urbanicom, octobre 2005 – Extrait de GART, Urbanisme commercial et politiques de déplacements. Jalons pour un aménagement économique durable, 2008

La plupart des réseaux de transports collectifs sont des liaisons centre-périphérie qui constituaient au moment de leur création, la plus grande part des déplacements domicile-travail. La ville s'est étendue, l'implantation des entreprises et du logement a évolué, et les réseaux ne correspondent plus à la nouvelle géographie des déplacements urbains : la différenciation des stratégies résidentielles des ménages, l'individualisation croissante des rythmes de vie et l'explosion des déplacements de loisirs qui l'accompagnent viennent bouleverser les approches classiques. De plus en plus d'agglomérations se posent la question de la création de lignes tangentielles en complément de l'offre des lignes radiales existantes.

Existence de lignes tangentielles selon la taille démographique de l'agglomération

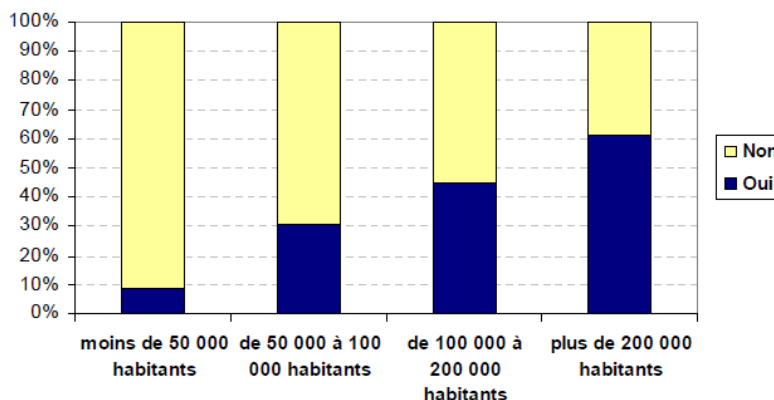


Figure 18 : Existence de lignes de Transport collectif qui, sans passer par le centre de l'agglomération, relient zones commerciales et zones d'habitats – Extrait de GART, Urbanisme commercial et politiques de déplacements. Jalons pour un aménagement économique durable, 2008

L'INSEE analyse qu'entre 2004 et 2009, la surface de vente du commerce de détail a gagné 7,6 millions de m² pour atteindre 77 millions de m². Les hypermarchés et le secteur de l'habillement-chaussures sont les deux principaux moteurs de cette expansion. Si le nombre de points de vente est en légère baisse de 1 %, la surface moyenne a augmenté de 12 %, toujours portée par la progression des grandes surfaces. Le développement important du drive est notamment en cause dans cette analyse. (source : URBA, L'urbanisme commercial en Rhône-Alpes, 2014)

2.2. Prospective

D'ici 2050 l'INSEE prévoit une augmentation de population de 8,2 millions de personnes (2013-2050). Le Commissariat Général au Développement Durable prévoit que d'ici à 2040, la population continuera de croître fortement en Ile de France, le long des façades atlantique et méditerranéenne et autour des agglomérations toulousaine et lyonnaise (Figure 19). Dès lors, comment accueillir ces nouvelles populations, dans un contexte de desserrement des ménages, et pour un impact énergie-carbone moindre ?

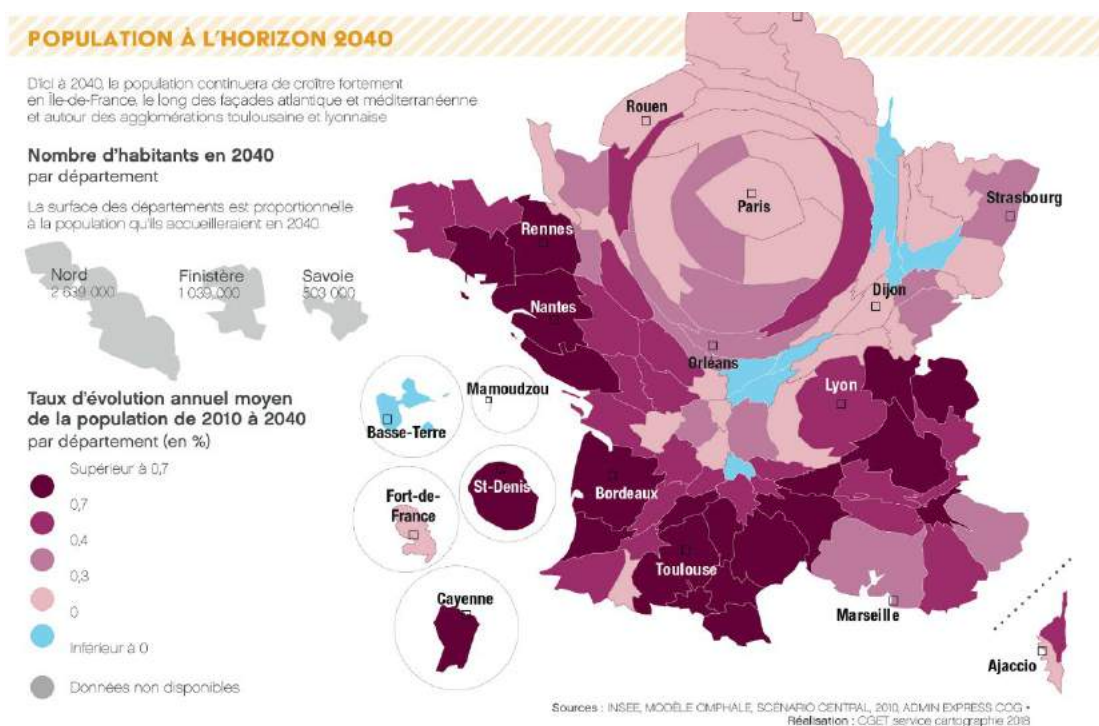


Figure 19 : Population à l'horizon 2040, Extrait de CGET, Rapport national sur la cohésion des territoires, juillet 2018

2.2.1. L'enjeu de limitation de l'artificialisation des sols

Les pouvoirs publics se saisissent des enjeux de l'artificialisation, en raison de ses conséquences négatives, qui sont de plus en plus tangibles et documentées :

- La Commission européenne a fixé un objectif d'arrêt d'ici 2050 de « toute augmentation nette de la surface de terre occupée »
- Le Stratégie Nationale Bas Carbone a confirmé cet objectif de "0 artificialisation nette" sans toutefois préciser d'échéance.
- La loi de modernisation de l'agriculture et de la pêche (2010) fixe un objectif de réduction de moitié à l'horizon 2020 du rythme d'artificialisation des terres agricoles : 75 000 ha /an en 2010 ; 37 000 ha / an en 2020.

Ces grands objectifs interrogent directement les travaux de scénarisation énergie-climat de l'ADEME : Les cibles de l'ADEME en termes de construction neuve et de typologie de bâtis sont-elles compatibles avec les objectifs de limitation d'artificialisation des sols ?

2.2.2. Un enjeu fort : concilier les aspirations des français et les enjeux énergie-carbone en matière de construction neuve

Scénario ADEME

Le poids de la construction neuve d'ici 2050

- 5,6 millions de logements entre 2020 et 2050.

- 23 % des logements en 2050 sont construits entre 2010 et 2050 (soit environ 8 millions de logements).

- Réduction de la part de la maison individuelle dans la construction neuve (de 58 % en 2010 à 40% en 2050)

Deux études ADEME récentes font le parallèle entre les typologies de formes micro-urbaines, macro-urbaines, la densité, et les aspirations de la population en termes de souhaits résidentiels. Elles permettent d'identifier que les Français aspirent à vivre plutôt dans les grandes métropoles ou bien aux alentours (Figure 20). Les français aspirent par ailleurs, en majorité, à vivre dans une maison (Figure 21).

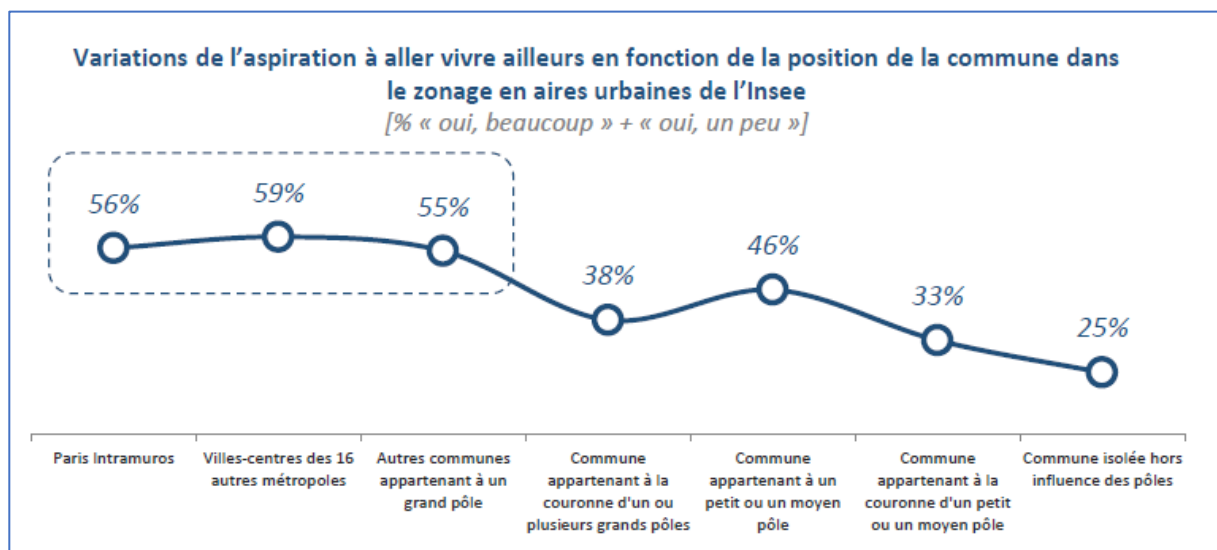


Figure 20 : Aspiration des Français à vivre ailleurs, Source : ADEME - Faire la ville dense durable et désirable, 2018, données TNS Sofres, 2007

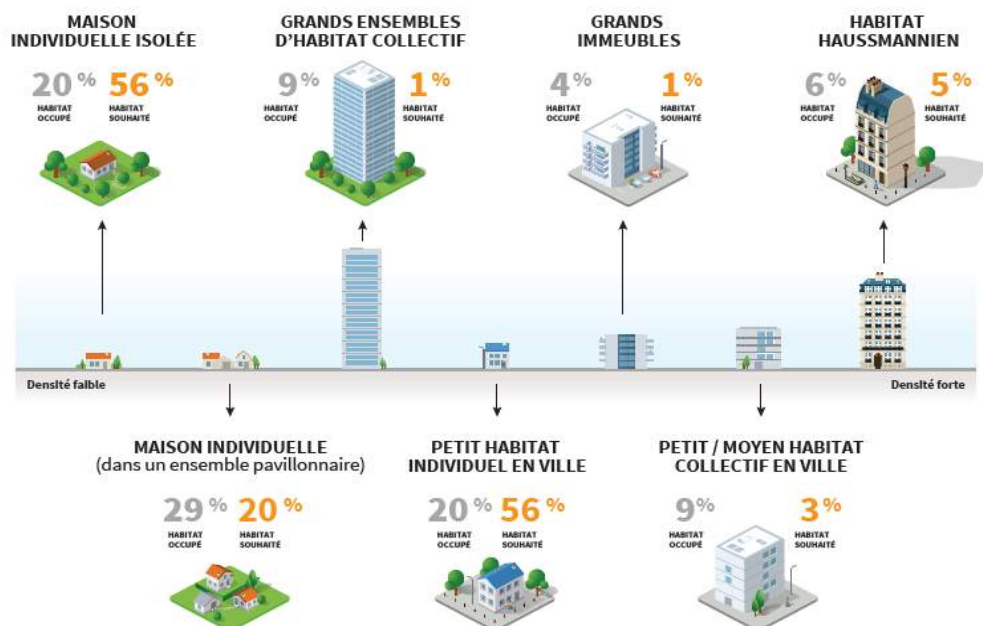


Figure 21 : Aspiration des Français en termes de logement / Source : ADEME - Faire la ville dense durable et désirable, 2018, données TNS Sofres, 2007

La question de l'impact énergie-carbone de ces constructions neuves est donc déterminante, et pose différentes questions :

- Où construire ces logements ? (Centres, communes rurales, périurbains ?)
- Quelles formes micro-urbaines privilégier pour ces logements supplémentaires ?
- A quelles conditions ces orientations sont-elles valables ? (Transports en commun, nature, production agricole, architecture et urbanisme, offre de service, cohésion sociale, ...)
- Les cibles de l'ADEME en termes de construction neuve et de typologie de bâtis sont-elles compatibles avec les objectifs de limitation d'artificialisation des sols ?
- Un fort développement du petit habitat individuel en ville à la hauteur des besoins de logements supplémentaires d'ici 2050 est-il compatible avec les objectifs climatiques & d'arrêt de l'artificialisation des sols ?

A quelles conditions ces orientations sont-ils valables ?

- Offre de transport en commun et modes doux adaptés ?
- Préservation, aménagement de zones naturelles à proximité ?
- Architecture bioclimatique des bâtiments ?
- Préservation des terres agricoles en périphérie urbaine ?
- Assurer une offre de service de qualité à proximité des logements (santé, écoles, commerces, loisirs) ?
- Assurer une mixité sociale et réduire la précarité énergétique ?

2.2.3. Renouveler la ville sur elle-même, réhabiliter le bâti existant

Scénario ADEME

En 2050, tous les logements construits avant 2010 (soit 77% des logements à cette date, soit 27 millions de logements) auront été rénovés de façon performante.

La volonté de limitation de l'artificialisation des sols implique une stratégie forte de régénération urbaine, autrement dit de reconfiguration de la ville sur elle-même. Se pose alors la question : quelles formes urbaines pour le renouvellement de la ville sur la ville ?

L'enjeu de la réhabilitation du bâti stricto sensu questionne peu les formes urbaines de demain, sauf dans les cas où la réhabilitation est l'occasion de reconfigurer / densifier les tissus urbains (opération bimby, surélévation, ...) ; où la réhabilitation est l'occasion de maximiser les potentiels des formes urbaines existantes en matière de réduction des impacts énergie/climat des établissements urbains déjà constitués. On pense notamment aux potentiels des tissus pavillonnaires (production énergétique en toiture? production alimentaire dans les jardins?), du petit collectif et des grands ensembles (stockage carbone, production alimentaire en pied d'immeuble ...).

Se posent alors les questions suivantes :

- Quelle capacité à renouveler la ville? Quelle part du territoire pourrait être concernée?
- Quelles formes urbaines pour le renouvellement de la ville sur la ville?

2.2.4. Réduire les impacts des déplacements des personnes et transport de marchandises

Scénario ADEME

Division par 2,5 de la consommation énergétique du secteur du transport entre 2050 et 2010 : -24% de la mobilité des personnes sur la route (pas de distinction en fonction des formes urbaines)

La réduction des impacts du secteur des transports est étroitement liée à la planification urbaine. Dès lors, se posent les questions suivantes :

- Quelle organisation urbaine favorable à la limitation des déplacements motorisés?
- Quelles densités urbaines et quels types d'organisations urbaines favorables au développement d'offres alternatives à la voiture individuelle ou au camion?

2.2.5. Penser l'occupation des sols de manière cohérente (produire des EnR, stocker du carbone, limiter l'effondrement de la biodiversité, etc.)

Scénario ADEME

Le PV passe d'une puissance installée de 1 à 60 - 90 GW en 2050 dont 40% installés en toiture (pas de précisions sur les typologies de toiture)

Le scénario de l'ADEME n'évalue la capacité à stocker du carbone que dans les espaces forestiers et agricoles, alors que les espaces urbains peuvent y contribuer ou a minima réduire leurs impacts.

Concernant les ressources de biomasse-énergie pour combustion, donc de bois énergie principalement, l'ADEME identifie un gisement de "plaquettes hors forêts" aujourd'hui majoritairement issues de l'agriculture. L'arbre urbain peut contribuer à ce gisement même si cette production est aujourd'hui marginale.

L'impact énergie-carbone est moins prégnant concernant la production de denrées alimentaires, mais la production de biomasse dans l'espace urbain peut parallèlement contribuer à la production alimentaire par les moyens suivants :

- La massification de la production d'énergie photovoltaïque en ville, en toiture ou par le développement d'ombrières sur les espaces de stationnement par exemple
- Le développement de l'agriculture urbaine et péri-urbaine, déjà bien documenté, dont le potentiel pourrait être à terme de produire 10 % des besoins alimentaires des espaces urbains (figure 22).
- Le développement de prairies naturelles en zone urbaine, permettant de favoriser la biodiversité tout en développant la capacité de séquestration de carbone et en réduisant les coûts et les impacts de l'entretien du patrimoine naturel urbain, comme le décrit le protocole « Florilèges prairies urbaines », disposant des formations pour le suivi biologique des prairies urbaines.
- Les plantations d'arbres en ville participent à la lutte contre l'îlot de chaleur urbains, séquestrent du carbone, et dans le cadre de la gestion globale d'un parc arboré, produisent du bois énergie ou du bois raméal fragmenté. Notons la démarche associée à l'outil ArboClimat à destination des élus et des gestionnaires de patrimoine arboré.

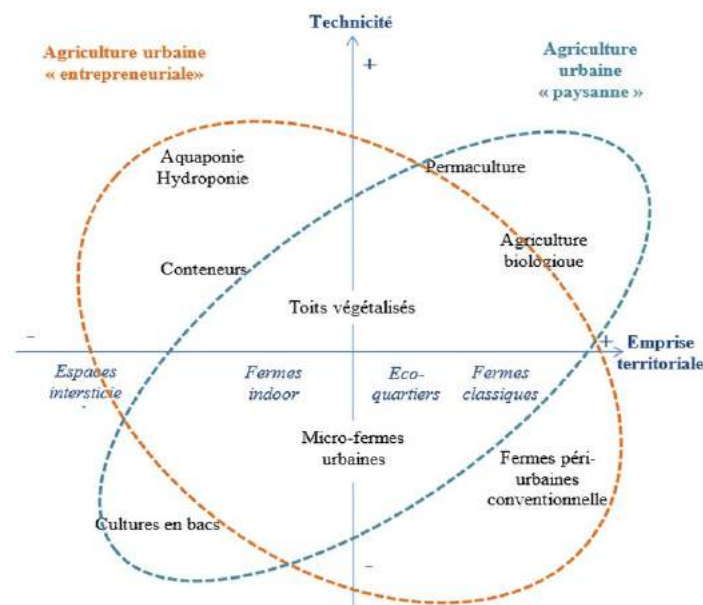


Figure 22 : Une typologie des différents modes d'agriculture urbaine / Source : Julien FOSSE, "Décryptage n°18, La Fabrique écologique, Septembre 2018

PARTIE 2 : LES INDICATEURS DES IMPACTS ENERGIE/CARBONE DES FORMES URBAINES

Objectif et méthode de cette partie

La morphologie urbaine peut à elle seule influencer la performance énergétique d'un facteur de 2. (SALAT, S. 2010), c'est-à-dire diviser par deux ou doubler l'empreinte carbone d'une ville. Face à ce constat, cette partie se propose d'identifier d'un nombre limité d'indicateurs de forme urbaine, que l'on considère comme les plus déterminants en termes d'impacts énergie-carbone.

La littérature propose un très grand nombre d'indicateurs. Pour opérer un choix parmi ces derniers, on propose de retenir les critères suivants :

- Choix des descripteurs de la forme urbaine les plus déterminants en termes d'impact énergie/carbone (% des consos ; nombre de "secteurs" impactés)
- Convergence des études et recherches sur cet indicateur
- Possibilité de calcul de l'indicateur avec des outils existants (voir PARTIE 3 OUTILS)
- Facilité de calcul de l'indicateur
- Accès aux données sources nécessaires pour calculer l'indicateur
- Prise en compte d'impacts peu ou mal pris en compte jusqu'ici (stock carbone ; énergie grise)
- Indicateurs renvoyant à des paramètres de formes urbaines qui sont des leviers de scénarisation pour les villes de demain (potentiels EnR, actions de sobriété, et d'efficacité énergétique...)

La sensibilité des indicateurs est décrite, leur impact énergie/carbone quantifié lorsque la donnée est disponible. A l'issue d'une première sélection, 26 indicateurs sont retenus et analysés ci-dessous. En conclusion de cette partie, nous proposons de n'en retenir que 14, sur les mêmes critères énoncés ci-dessus.

Retour critique la recherche portant sur les impacts énergie/carbone des formes urbaines

On constate que du fait de la complexité de l'analyse de l'écosystème ville, la plupart des études se concentrent sur une échelle d'analyse, sans analyse des rétroactions sur les autres échelles. Les études énergétiques de la ville se sont d'abord intéressées soit au bâtiment (le lien entre compacité du bâtiment et performance énergétique est bien montré), soit à la ville dans son ensemble dans les années 1980-1990 (comparaison des consommations énergétiques et des émissions de CO₂ des villes les unes par rapport aux autres). Depuis le début des années 2000, l'approche par la seule densité et compacité s'élargit à une approche plus fine des « formes urbaines », permettant de prendre en compte d'autres facteurs comme l'accès au soleil, la ventilation des tissus, le positionnement des bâtiments les uns par rapport aux autres, les possibilités de mutualisation énergétique... Cette approche est toujours en construction.

Le tableau ci-dessous (Tableau 3) se propose de qualifier l'état d'avancement de la recherche en matière d'analyse des impacts énergie-carbone des formes macro-urbaines d'une part, micro-urbaines d'autre part. On observe que deux thématiques surtout sont bien explorées : les formes macro-urbaines et la mobilité individuelle ; et la forme micro-urbaine et les besoins énergétiques liés au bâti. En dehors de ces deux thématiques, de nombreux champs restent à approfondir. Par ailleurs, rares sont les études qui étudient l'ensemble de ces paramètres. Par ailleurs, il faut noter la rareté des approches prenant en compte les enjeux de la surchauffe urbaine en 2050 en France métropolitaine. Les études sont essentiellement orientées sur les enjeux d'hiver (chauffage, éclairage). Enfin, la grande majorité des études micro-urbaines sont centrées sur la question du logement : la question du tertiaire est rarement prise en compte (et notamment le sujet du commerce et de sa localisation), comme celui du fret urbain.

	Liens formes urbaines/ énergie-carbone explorés par la recherche	Etat de développement des recherches	
Impacts énergie carbone des formes macro-urbaines:	densité d'occupation des sols, échelle de ville et consommations d'énergie pour la logistique		<i>peu exploré</i>
	densité d'occupation des sols, échelle de ville et consommations d'énergie pour la mobilité individuelle		<i>bien exploré, à l'échelle internationale comme à l'échelle de villes françaises</i>
Impacts énergie carbone des formes micro-urbaines	besoins énergétiques liées au bâti (besoins de chaud, de froid, d'éclairage) et production d'énergies renouvelables		<i>très bien exploré, mais plus à l'échelle du bâtiment qu'à l'échelle micro-urbaine</i>
	liens entre la densité et la limitation de l'artificialisation des sols		<i>assez bien exploré, notamment sur le sujet de l'optimum de densité</i>
	besoins de mobilité		<i>peu exploré</i>
	planification énergétique (densité énergétique, réseaux, smart grid...)		<i>peu exploré</i>
	énergie grise des matériaux, bâtiments et infrastructures		<i>peu exploré</i>
	stockage carbone		<i>peu exploré</i>
	résilience et potentiels des formes urbaines ex: capacité à planter; adaptativité des systèmes		<i>peu exploré</i>

Tableau 3 : Etat de la recherche sur les impacts énergie-carbone des formes urbaines, TRIBU

1. Les indicateurs liés aux transports

Quelques ordres de grandeur :

- Mobilité régulière et locale = 10% de la consommation énergétique totale aujourd'hui
- Mobilité domicile-travail = 57% des émissions de CO2 de la mobilité régulière et locale - Longuar et al, 2010
- Transport de marchandises = 10 % de la consommation énergétique totale (hors transport maritime international)

Quelques informations sur la recherche sur le sujet :

Les études et recherches sur l'impact énergie/carbone des formes macro-urbaines sont peu nombreuses. A cette échelle, les trois paramètres les plus étudiés sont la densité d'occupation des sols, le type d'occupation des sols ("land-use pattern") et la nature et la densité des réseaux de transport. Beaucoup sont des études internationales, permettant de comparer l'efficacité énergétique de différents modèles urbains très contrastés (modèle urbain étalé "à l'américaine"; modèle asiatique d'urbanisme de tours; modèle européen de la ville dense et basse...). Ces études s'accordent à identifier l'impact majeur de la taille et de la compacité de l'agglomération sur les besoins en mobilité quotidienne.

Les indicateurs pour parler des transports peuvent être répartis en 3 catégories :

1/ D'une part, les indicateurs relatifs à la taille de la ville, la densité habitée, et au type d'établissement urbain (indicateurs "macro-urbains") :

- Densité humaine
- Echelle et type de l'établissement urbain

2/ D'autre part, les indicateurs qui font le lien entre les fonctions urbaines et les besoins et les types de déplacements. Ces indicateurs sont la plupart du temps issus des travaux sur la mobilité qui utilisent des modèles de simulation des liens entre usage et sols et déplacements, modèles dit « LUTI » (Land Use Transport Interaction).

- Indicateur de répartition uniforme des activités, commerces et services sur le territoire de la ville
- Type, taille et localisation des entreprises

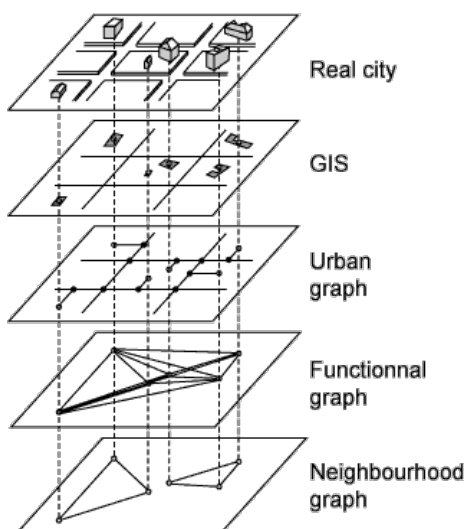


Figure 23 : Exemple de modèle LUTI: le modèle REMUS (voir PARTIE 4)

3/ Enfin, les indicateurs qui font le lien entre la morphologie micro-urbaine (densité construite du quartier, nature et géométrie des réseaux de rue et des espaces publics) et les pratiques de mobilité.

- Densité bâtie
- Diversité d'usage des parcelles
- Complexité du tissu d'activités
- Connectivité des réseaux de rues
- Nombre cyclomatique de la trame

1.1. Densité humaine

Définition de l'indicateur	nombre d'habitants + emplois / ha																																																																																																						
Illustration	<p style="text-align: center;">La corrélation consommation énergétique pour les transports et densité dans les grandes métropoles mondiales</p> <p style="text-align: right; font-size: small;">Source : Newman and Kenworthy, 1989</p> <table border="1" style="margin-top: 10px;"> <caption>Données estimées du graphique Newman et Kenworthy (1989)</caption> <thead> <tr> <th>Ville</th> <th>Densité (hab/ha)</th> <th>Consommation énergétique (MJ/hab/an)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Houston</td><td>~10</td><td>~75000</td></tr> <tr><td>Phoenix</td><td>~15</td><td>~70000</td></tr> <tr><td>Detroit</td><td>~20</td><td>~65000</td></tr> <tr><td>Denvers</td><td>~25</td><td>~60000</td></tr> <tr><td>Los Angeles</td><td>~30</td><td>~55000</td></tr> <tr><td>San Francisco</td><td>~35</td><td>~50000</td></tr> <tr><td>Boston</td><td>~40</td><td>~45000</td></tr> <tr><td>Washington DC</td><td>~45</td><td>~40000</td></tr> <tr><td>Chicago</td><td>~50</td><td>~35000</td></tr> <tr><td>New-York</td><td>~55</td><td>~30000</td></tr> <tr><td>Toronto</td><td>~60</td><td>~25000</td></tr> <tr><td>Perth</td><td>~65</td><td>~20000</td></tr> <tr><td>Brisbane</td><td>~70</td><td>~18000</td></tr> <tr><td>Melbourne</td><td>~75</td><td>~16000</td></tr> <tr><td>Sydney</td><td>~80</td><td>~14000</td></tr> <tr><td>Adelaide</td><td>~85</td><td>~12000</td></tr> <tr><td>Hambourg</td><td>~90</td><td>~10000</td></tr> <tr><td>Francfort</td><td>~95</td><td>~9000</td></tr> <tr><td>Zürich</td><td>~100</td><td>~8000</td></tr> <tr><td>Stockholm</td><td>~105</td><td>~7000</td></tr> <tr><td>Paris (agglomération)</td><td>~110</td><td>~6000</td></tr> <tr><td>Bruxelles</td><td>~115</td><td>~5000</td></tr> <tr><td>Londres</td><td>~120</td><td>~4500</td></tr> <tr><td>Berlin-Ouest</td><td>~125</td><td>~4000</td></tr> <tr><td>Copenhague</td><td>~130</td><td>~3500</td></tr> <tr><td>Amsterdam</td><td>~135</td><td>~3000</td></tr> <tr><td>Munich</td><td>~140</td><td>~2500</td></tr> <tr><td>Vienne</td><td>~145</td><td>~2000</td></tr> <tr><td>Tokyo</td><td>~150</td><td>~1500</td></tr> <tr><td>Singapour</td><td>~155</td><td>~1000</td></tr> <tr><td>Moscou</td><td>~160</td><td>~500</td></tr> <tr><td>ville de Paris</td><td>~200</td><td>~500</td></tr> <tr><td>Hong-Kong</td><td>~280</td><td>~500</td></tr> </tbody> </table> <p>Newman et Kenworthyet, 1989</p>	Ville	Densité (hab/ha)	Consommation énergétique (MJ/hab/an)	Houston	~10	~75000	Phoenix	~15	~70000	Detroit	~20	~65000	Denvers	~25	~60000	Los Angeles	~30	~55000	San Francisco	~35	~50000	Boston	~40	~45000	Washington DC	~45	~40000	Chicago	~50	~35000	New-York	~55	~30000	Toronto	~60	~25000	Perth	~65	~20000	Brisbane	~70	~18000	Melbourne	~75	~16000	Sydney	~80	~14000	Adelaide	~85	~12000	Hambourg	~90	~10000	Francfort	~95	~9000	Zürich	~100	~8000	Stockholm	~105	~7000	Paris (agglomération)	~110	~6000	Bruxelles	~115	~5000	Londres	~120	~4500	Berlin-Ouest	~125	~4000	Copenhague	~130	~3500	Amsterdam	~135	~3000	Munich	~140	~2500	Vienne	~145	~2000	Tokyo	~150	~1500	Singapour	~155	~1000	Moscou	~160	~500	ville de Paris	~200	~500	Hong-Kong	~280	~500
Ville	Densité (hab/ha)	Consommation énergétique (MJ/hab/an)																																																																																																					
Houston	~10	~75000																																																																																																					
Phoenix	~15	~70000																																																																																																					
Detroit	~20	~65000																																																																																																					
Denvers	~25	~60000																																																																																																					
Los Angeles	~30	~55000																																																																																																					
San Francisco	~35	~50000																																																																																																					
Boston	~40	~45000																																																																																																					
Washington DC	~45	~40000																																																																																																					
Chicago	~50	~35000																																																																																																					
New-York	~55	~30000																																																																																																					
Toronto	~60	~25000																																																																																																					
Perth	~65	~20000																																																																																																					
Brisbane	~70	~18000																																																																																																					
Melbourne	~75	~16000																																																																																																					
Sydney	~80	~14000																																																																																																					
Adelaide	~85	~12000																																																																																																					
Hambourg	~90	~10000																																																																																																					
Francfort	~95	~9000																																																																																																					
Zürich	~100	~8000																																																																																																					
Stockholm	~105	~7000																																																																																																					
Paris (agglomération)	~110	~6000																																																																																																					
Bruxelles	~115	~5000																																																																																																					
Londres	~120	~4500																																																																																																					
Berlin-Ouest	~125	~4000																																																																																																					
Copenhague	~130	~3500																																																																																																					
Amsterdam	~135	~3000																																																																																																					
Munich	~140	~2500																																																																																																					
Vienne	~145	~2000																																																																																																					
Tokyo	~150	~1500																																																																																																					
Singapour	~155	~1000																																																																																																					
Moscou	~160	~500																																																																																																					
ville de Paris	~200	~500																																																																																																					
Hong-Kong	~280	~500																																																																																																					
Sources	Newman et Kenworthyet, 1988; Fouchier, 1998; APUR, 2009; Fouchier, 1998																																																																																																						
Echelle	Indicateur macro-urbain, s'analyse à l'échelle de l'agglomération dans son ensemble																																																																																																						
Explicitation de l'impact	> A des effets significatifs sur les distances de déplacement et les parts modales de la mobilité régulière et locale . La relation densité/ consommation d'énergie pour le transport évolue de manière logarithmique.																																																																																																						
Quantification de l'impact	Newman et Kenworthyet 1989 - Au niveau grandes villes du monde:																																																																																																						

	<p>Les densités humaines E peuvent faire varier de 1 à 8 les consommations énergétiques pour le secteur de la mobilité régulière et locale.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Poids du secteur aujourd'hui : Mobilité régulière et locale : 10% de la consommation totale - Score (produit de la variation max et de la part de la consommation totale actuelle) : 80
Analyse critique de l'indicateur	<p>Quels impacts de la densité sur la mobilité longue distance? (impacts non quantifiés à ce jour)</p> <p>Pourquoi uniquement les habitants et non les travailleurs et les visiteurs?</p>
Outil permettant de calculer l'indicateur <i>[PARTIE 3 OUTILS]</i>	Pas de données
Bases de données utilisables pour obtenir les données nécessaires au calcul de l'indicateur <i>[PARTIE 4 BASES DE DONNES]</i>	INSEE

Eléments complémentaires pour l'analyse de cet indicateur :

Les études et recherches scientifiques montrent le **lien notable entre la consommation de carburant et la densité urbaine ou "compacité d'agglomération"**, exprimée en habitants par hectare, en montrant que cette consommation est inversement proportionnelle à la densité. Le principe est le suivant :

- Dans les villes les plus denses, les lieux de départ et de destination sont plus rapprochés (maison, travail, commerces) ;
- les transports collectifs sont plus rentables, plus accessibles et plus efficaces dans des villes compactes et particulièrement dans les tissus denses, ce qui explique qu'ils soient plus présents et utilisés que dans les villes étalées et de faible densité humaine;
- dans les villes denses, les facteurs dissuadant l'usage de la voiture individuelle sont plus forts (embouteillages, coût du stationnement ...) et les modes doux sont encouragés (marche, vélo, ...) ⁶

En 1988, NEWMAN et KENWORTHYET analysent le rapport "densité habitée" et consommations énergétique pour les transports à l'échelle mondiale. Leur analyse permet de distinguer 3 "groupes" de villes : Hong Kong et Paris, à un bout de l'échelle, les villes européennes dans le groupe central, et les villes américaines moins denses et compactes, dans lesquelles les déplacements se font essentiellement par la voiture individuelle. Cette étude de Newman et Kenworthyert fait référence en la matière, bien qu'elle ait été fortement discutée depuis : elle ne parle que de densité d'habitants (et pas de formes urbaines), et ne prend en compte que les mobilités intra-urbaines (et non les déplacements de loisirs au-delà, qui peuvent représenter des déplacements importants).

⁶ Source: MARSHALL, 2008. (voir bibliographie en fin de rapport)

La corrélation consommation énergétique pour les transports et densité dans les grandes métropoles mondiales

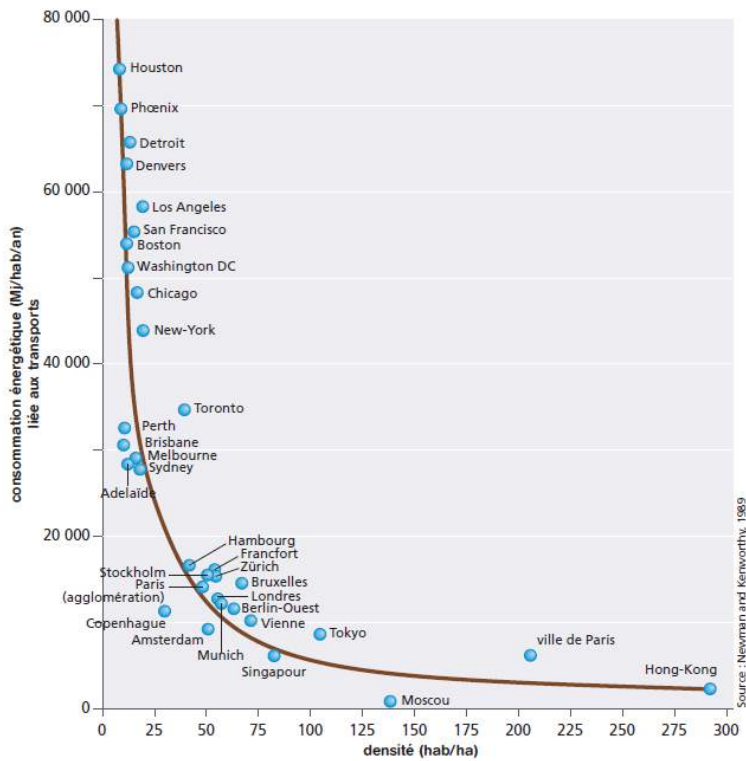
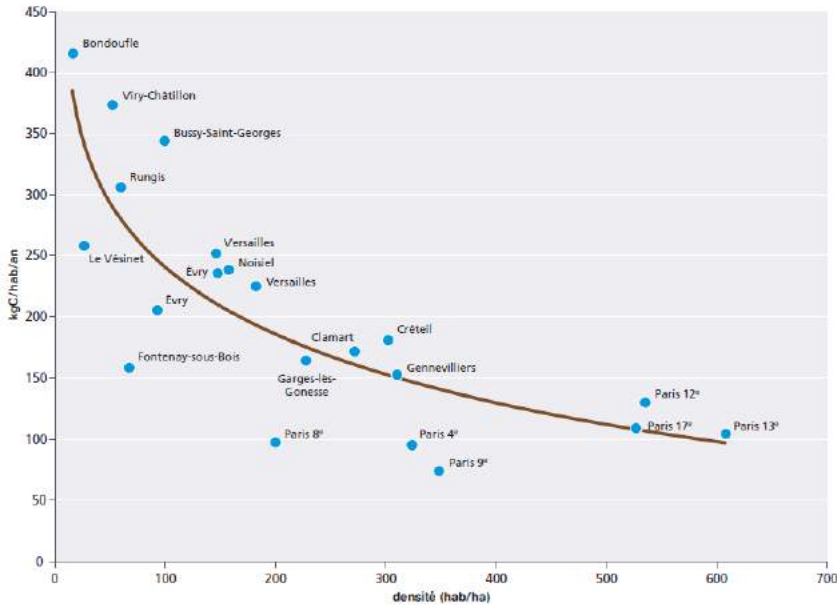


Figure 24 : source du schéma: APUR, Formes urbaines en Ile de France et émissions de gaz à effet de serre, juin 2009 à partir des travaux de Newman et Kenworthy, 1989

Émission de carbone pour les transports selon la densité du lieu de résidence



Distance « autres motifs » en voiture particulière (VP) selon la densité communale

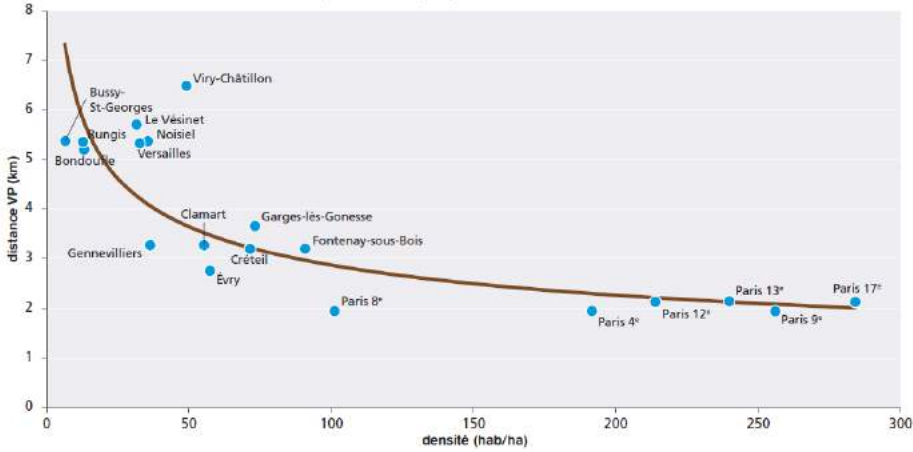


Figure 25 : source des schémas: APUR, *Formes urbaines en Ile de France et émissions de gaz à effet de serre*, juin 2009

En 2009, L'APUR s'est intéressée aux déplacements quotidiens pour des motifs autres que les déplacements domicile-travail (courses, médecin, école, loisirs, etc.) dans l'agglomération parisienne. Ce sont des déplacements de grande proximité. Leur étude montre que la distance parcourue et les émissions de carbone pour ces déplacements dépendent fortement de la densité de sa commune de résidence. Dans les communes denses, la desserte en transport en commun est également meilleure : les émissions de carbone pour les déplacements quotidiens sont donc étroitement liées elles aussi à la densité habitée.

L'analyse de l'enquête nationale transport déplacements de 2008 et des comptes de transport de la nation permet également de mettre en lumière l'influence de la structuration territoriale sur les consommations d'énergie pour la mobilité régulière et locale. Comme illustré dans le graphique ci-dessous, la morphologie macro-urbaine influence notablement les consommations énergétiques pour la mobilité régulière et locale (incluant les consommations des voitures, bus, tramways, trains). Un facteur 7 est observé entre la consommation moyenne d'un habitant de Paris intra muros et un habitant d'un pôle urbain⁷ de moins de 100 000 habitants⁸.

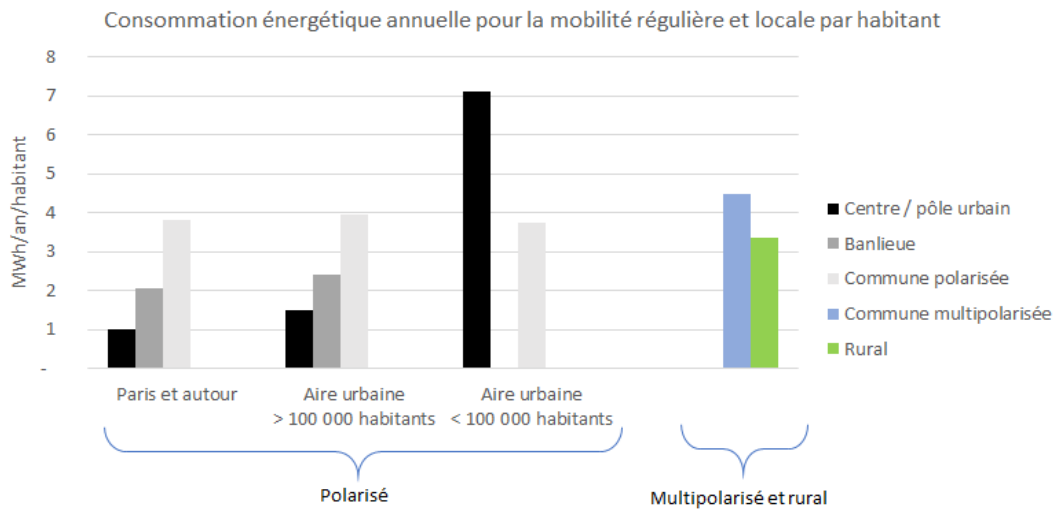


Figure 26 : Données sources : *Enquête nationale transport-déplacements de 2008 et Comptes de transport de la nation*

⁷ Un pôle urbain est défini comme une unité urbaine offrant au moins 5000 emplois et qui n'est pas située dans la couronne périurbaine d'un autre pôle urbain.

⁸ A titre de comparaison, la consommation énergétique moyenne par habitant pour les autres mobilités (transit et longue distance) est d'environ 3,3 MWh/an/hab et celle liée au transport de marchandises de 2,9 MWh/an/hab.

En multipliant ces consommations par habitant par la population de ces typologies macro-urbaines on obtient le graphique ci-dessous.

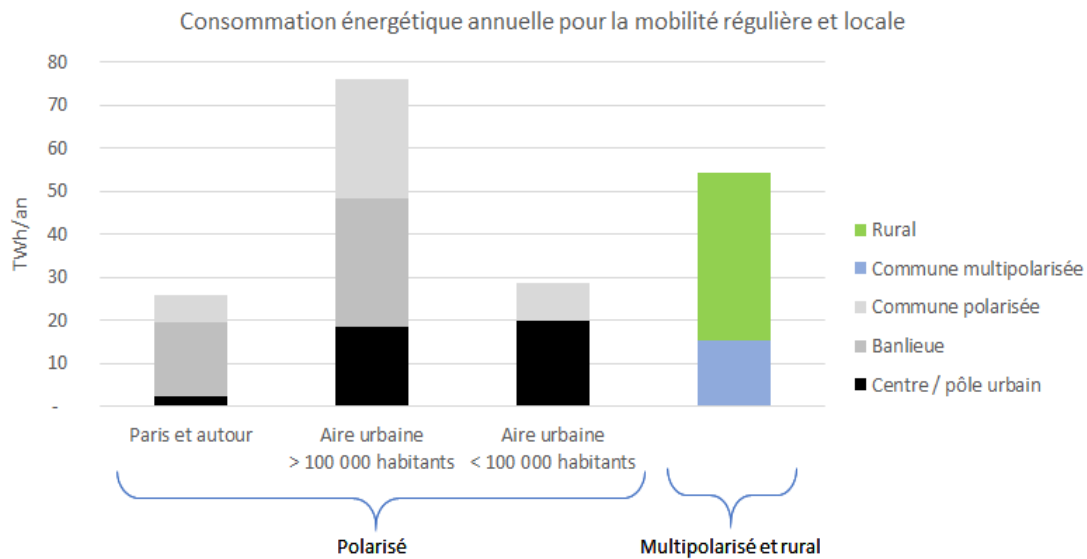


Figure 27 : Données sources : Enquête nationale transport-déplacements de 2008 et Comptes de transport de la nation

Dans le cadre du projet ANR TransEnergy, les émissions de CO₂ associées aux déplacements domicile-travail ont été calculées pour les agglomérations de Lyon et de Lille. Les résultats confirment le modèle classique d'opposition centre-périphérie. Bien que le niveau d'émission kilométrique des centres soit plus élevé du fait de la congestion et de la faible vitesse, les distances et l'usage de la voiture sont plus faibles ; ce qui peut être expliqué par l'appariement lieu de résidence/ lieu de travail et la densité de l'offre en transports collectifs. Il existe, d'après cette étude et sur ces deux agglomérations, un facteur 5 entre les émissions des secteurs du centre et de la périphérie. Au sein de la périphérie toutefois, l'analyse du CO₂ au lieu de l'emploi met en avant des secteurs fortement émetteurs de CO₂ : cela tient à la concentration de grandes entreprises appartenant à des secteurs économiques fortement générateurs de déplacements et de logistique (transport, logistique, commerce de gros, industrie de biens intermédiaires), dans des communes où la part de logements est plus réduite.

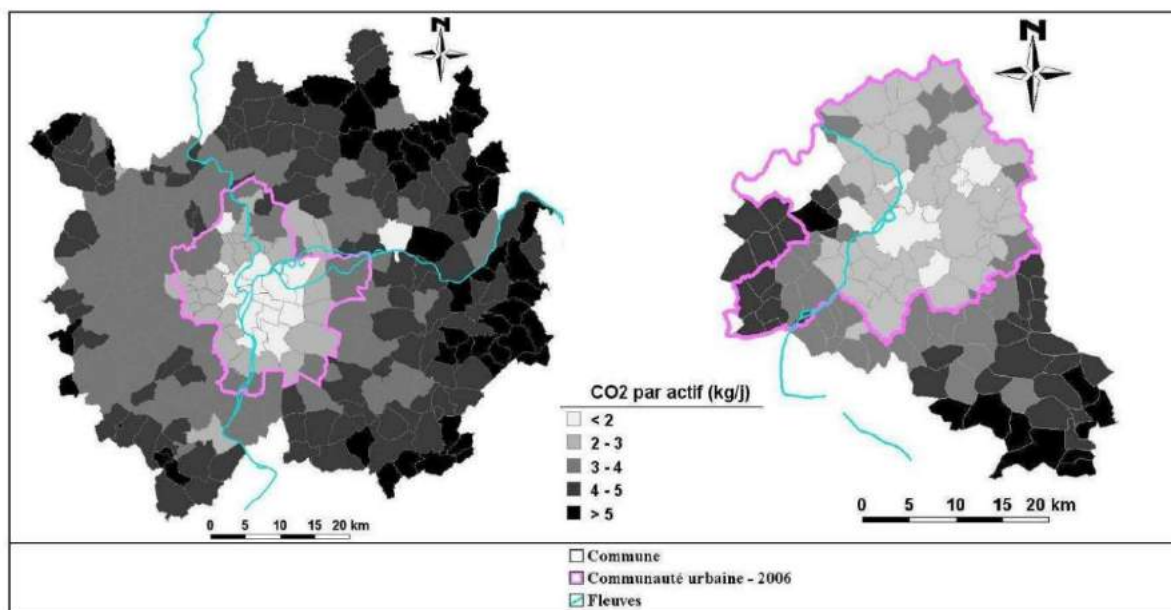


Figure 28 : Emission moyenne de CO₂ à la commune de résidence (source: Bouzina, Quetelard et Toillier, 2013)

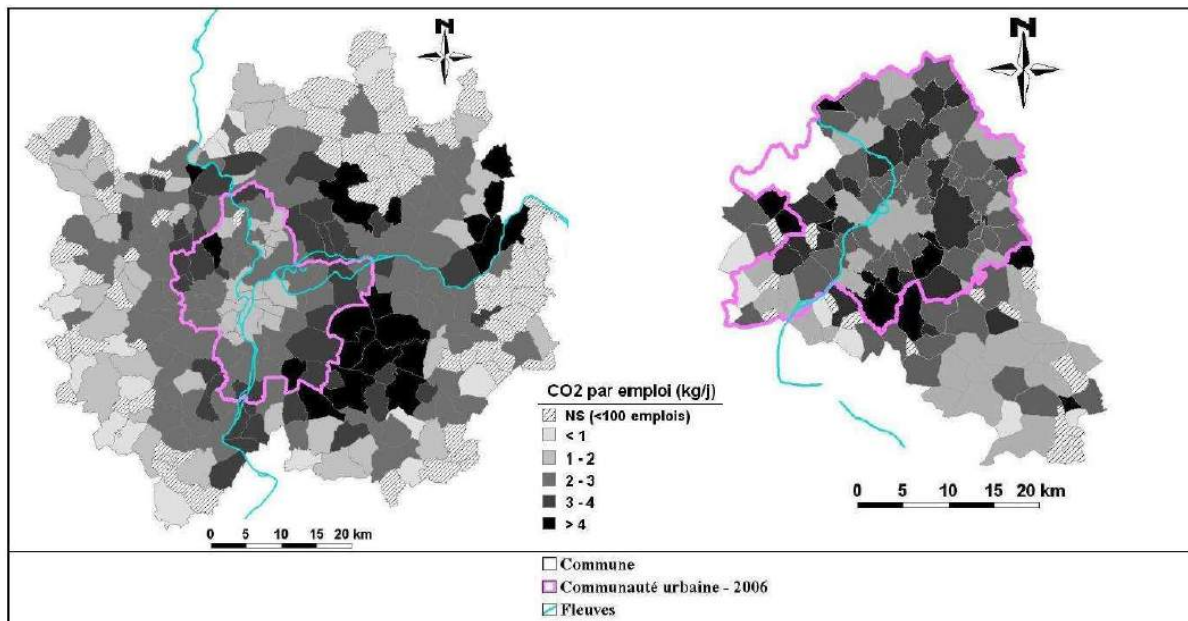
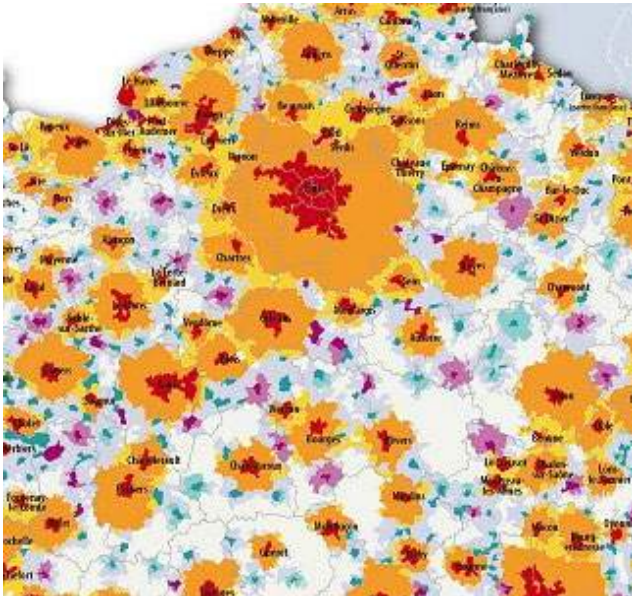


Figure 29 : Emission moyenne de CO2 à la commune de travail (source: Bouzina, Quetelard et Toilier, 2013)

1.2. Echelle et type de l'établissement urbain [indicateur agrégé]

<p>Définition de l'indicateur</p>	<p>Typologie de territoire INSEE (type d'organisation territoriale + densité habitée)</p> <p>Typologies: Espace à dominante rurale; Commune polarisée d'une aire urbaine jusqu'à 99 999 habitants; Pôle urbain d'une aire urbaine jusqu'à 99 999 habitants; Commune multipolarisée; Commune polarisée d'une aire urbaine de 100 000 à 10 M d'habitants; Banlieue du pôle urbain d'une aire urbaine de 100 000 à 10 M d'habitants; Centre du pôle urbain d'une aire urbaine de 100 000 à 10 M d'habitants; Commune polarisée aire urbaine de Paris; Banlieue de Paris; Paris</p>
<p>Illustration</p>	 <p>source: INSEE, RGP 2015</p>

Sources	Enquête nationale transport & logement, 2008; Comptes de transport de la Nation; INSEE; CEREMA; Bouzina, Quetelard et Toilier, 2013
Echelle	Indicateur macro-urbain
Explicitation de l'impact	> Corrélée avec les répartitions de parts modales des transports (actuelles et potentielles) pour la mobilité régulière et locale (+ transit et longue distance + transport des marchandises...)
Quantification de l'impact	D'après l'analyse faite par Institut négaWatt sur l'Enquête nationale transport-déplacements de 2008 et les Comptes de transport de la nation : Les typologies macro-urbaines de l'INSEE peuvent faire varier de 1 à 7 les consommations énergétiques pour le secteur de la mobilité régulière et locale. <ul style="list-style-type: none"> - Poids du secteur aujourd'hui : Mobilité régulière et locale : 10% de la consommation totale - Score (produit de la variation max et de la part de la consommation totale actuelle) : 70
Analyse critique de l'indicateur	La corrélation est bien montrée pour la mobilité individuelle quotidienne, rarement pour la mobilité longue distance et le fret
Outil permettant de calculer l'indicateur <i>[PARTIE 3 OUTILS]</i>	Pour le fret : modèle FRET URB/ http://freturb.laet.science/ Pléïades ACV, GES-URBA
Bases de données utilisables pour obtenir les données nécessaires au calcul de l'indicateur <i>[PARTIE 4 BASES DE DONNES]</i>	<ul style="list-style-type: none"> • INSEE: répartition du territoire en typologies macro-urbaines • Base enquêtes EMD unifiée du CEREMA de l'Ouest, permettant de corréler typologies INSEE et pratiques des ménages en termes de mobilité. Cette base de données n'étant pas libre aujourd'hui : il n'a pas été possible d'analyser précisément sa pertinence + les pratiques de mobilité ne sont pas traduites en carbone

Eléments complémentaires pour l'analyse de cet indicateur :

Dans les outils et travaux de prospective énergétique existants à l'échelle de la France, seul le Scénario NégaWatt semble considérer l'influence des formes macro-urbaines sur les potentiels d'économie d'énergie pour la mobilité. Cela est fait à travers la classification des typologies de communes au sens de l'INSEE (voir PARTIE 4).

Le graphique ci-dessous montre l'évolution des consommations par habitant entre 2000 et 2050.

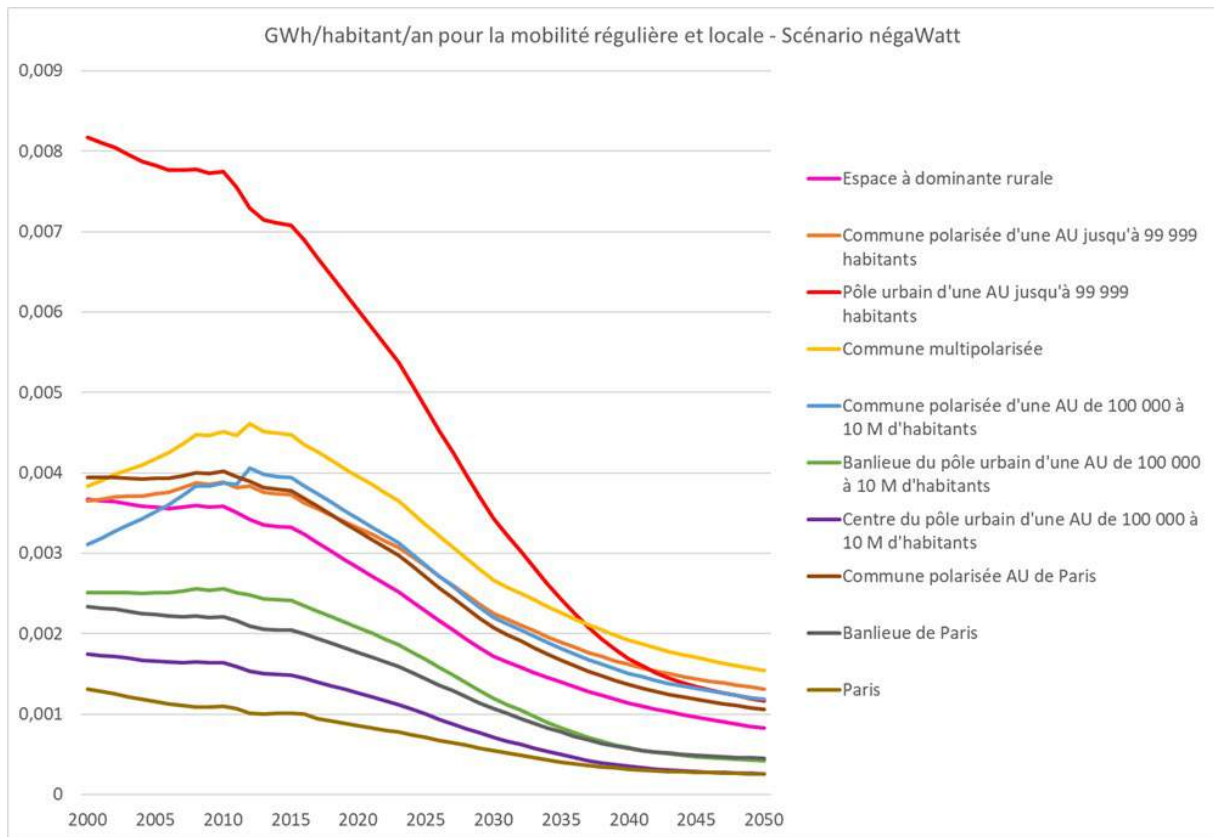


Figure 30 : L'évolution de la consommation d'énergie par habitant pour la mobilité régulière et locale - analyse des données du scénario Négawatt 2017 source : Institut Négawatt 2019

A noter que cette modélisation n'intègre pas de modifications dans la répartition de la population entre ces typologies macro urbaines. Le graphique ci-après traduit cette évolution en consommation totale pour le territoire français en considérant :

- une augmentation de la population Française de 12% entre 2014 et 2050
- une répartition homogène de cette population supplémentaire entre les différentes catégories de formes macro-urbaines

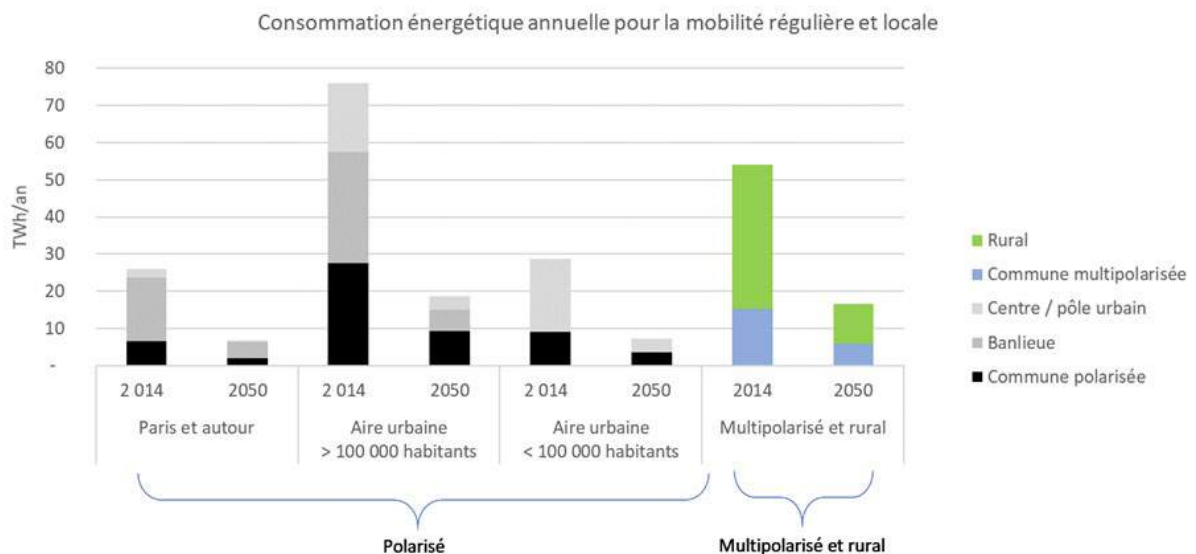


Figure 31 : Evolution des consommations énergétiques de la mobilité régulière et locale en France - analyse des données du scénario Négawatt 2017 - source Institut Négawatt 2019

D'après cette analyse, la part des communes rurales et multipolarisées dans la consommation énergétique pour la mobilité régulière et locale augmente légèrement en passant de 29 % en 2014 à 34 % en 2050.

Les impacts de la forme macro-urbaine sur les autres besoins de mobilité sont rarement étudiés. Alors que la mobilité régulière et locale représente environ 10 % des consommations énergétiques nationales, les autres déplacements (loisirs, professionnels, longues distances, transits) représentent plus de 11 % des consommations totales. Ces autres besoins de déplacements sont donc loin d'être négligeables.

A noter que le modèle de l'ADEME n'intègre pas les vols internationaux avions alors que l'aviation représente plus de 2% des émissions de gaz à effet de serre au niveau planétaire.

Il n'existe pas de consensus scientifique sur l'influence de la densité urbaine sur d'éventuelles consommations énergétiques supplémentaires associées liées à "l'effet barbecue".

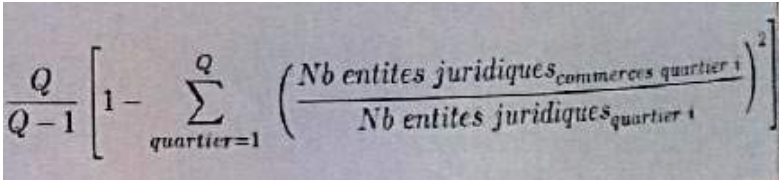
"Effet barbecue"

Les habitants du périurbain, souvent propriétaires de maisons individuelles, bénéficieraient de meilleures possibilités de profiter de leur temps libre dans un environnement résidentiel calme et verdoyant, par exemple dans leur jardin, autour d'un barbecue. À l'inverse, les habitants des centres-villes devraient se déplacer davantage pour profiter du calme et de la détente durant leurs loisirs. Très favorable pour les déplacements du quotidien, la ville dense perdrait, selon les tenants de cette hypothèse, ses avantages lorsqu'il s'agit du temps libre, victime d'un «effet de compensation» ou de l'«effet barbecue».

Ville Compacte remise en cause ? - Sébastien Munafo 2016

Le transport de marchandises est également susceptible d'être affecté par les formes macro-urbaines. A ce stade, aucune étude quantifiant cette corrélation à l'échelle nationale n'a été identifiée.

1.3. Indicateur de répartition uniforme des activités, commerces et services sur le territoire de la ville

Définition de l'indicateur	Mesure l'écart entre la répartition des activités d'une catégorie dans chaque quartier (par exemple les logements, les commerces ou les hôpitaux) par rapport à une iso distribution. L'objectif est de vérifier la répartition uniforme des activités sur le territoire de la ville et donc le degré de mixité atteint.
Illustration	 <p>source: SALAT, 2011</p>
Sources	SALAT, 2011; Gonzales et al. 2014 sur les activités commerciales
Echelle	Du micro au macro-urbain, s'analyse plutôt à l'échelle du quartier toutefois
Explication de l'impact	> Corrélié au fait de permettre à tous les habitants un accès égal aux commerces, services, emplois, et donc réduire les besoins de mobilité

	régulière et locale.
Quantification de l'impact	Pas de donnée
Analyse critique de l'indicateur	Les pratiques spatiales des aires urbaines concernant la mobilité domicile – travail n'est pas systématiquement corrélé avec la mixité fonctionnelle des territoires, les paramètres socio-économiques sont à prendre en compte.
Outil permettant de calculer l'indicateur <i>[PARTIE 3 OUTILS]</i>	Pas de données
Bases de données utilisables pour obtenir les données nécessaires au calcul de l'indicateur <i>[PARTIE 4 BASES DE DONNES]</i>	Pas de données

Eléments complémentaires pour l'analyse de cet indicateur :

Privilégier l'implantation de zones commerciales en périphérie, plutôt qu'en centre urbain, structure les déplacements de mobilité régulière et locale au profit des véhicules particuliers induisant théoriquement des consommations énergétiques plus importantes.

Dans l'étude une étude publiée en 2014 Gonzalez-Feliu et. al (2014) analysent les déplacements générés pour 4 scénarios extrêmes relatifs à l'urbanisme commercial et l'approvisionnement des ménages :

- scénario 1a « tout en hypermarché » : toute l'offre commerciale initiale (petits commerces, supermarchés et moyennes surfaces de quartier) est transférée dans uniquement des hypermarchés, centraux ou périphériques
- scénario 1b « tout en petit commerce » : remplacement des grands centres commerciaux (hypermarchés, grandes surfaces spécialisées) par des catégories d'aménagement commercial inférieures (c'est-à-dire la création de petites zones commerciales de quartier et en commerces de proximité)
- scénario 2a : livraison à domicile
- scénario 2b : généralisation des points relais

L'analyse porte sur l'ensemble de la chaîne de distribution finale, c'est à dire "le dernier maillon logistique en ville, additionné du déplacement des biens de consommation entre le lieu d'achat et le domicile du consommateur".

Les résultats, basés sur l'analyse de l'aire urbaine de Lyon sont les suivants :

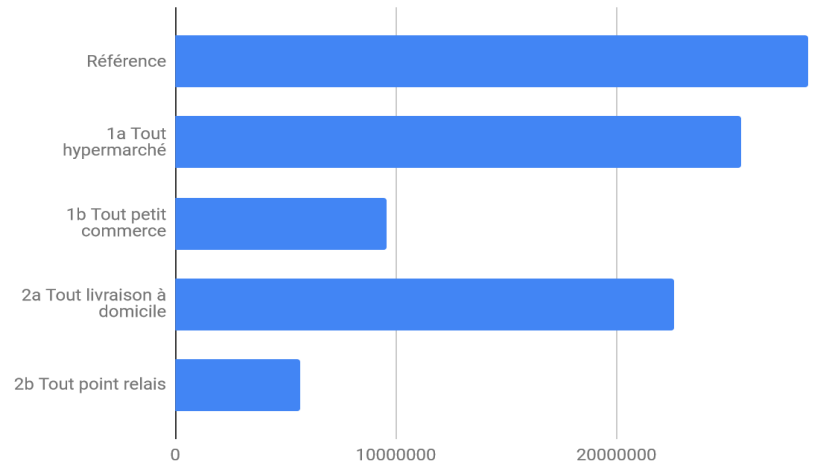


Figure 32 : Comparaisons de scénarios extrêmes relatif à l'urbanisme commercial exprimés en km hebdomadaires

Bien que ces résultats ne soient pas traduits en termes de consommation énergétique les auteurs en déduisent les enseignements suivants :

- la livraison à domicile, en plein essor ces dernières années, n'est pas la solution la plus durable
- le tout hypermarché est le pire scénario
- il convient d'encourager le développement du petit commerce dans toutes les parties de la ville, et à favoriser l'émergence des solutions de livraison optimales comme le dépôt des marchandises en points-relais

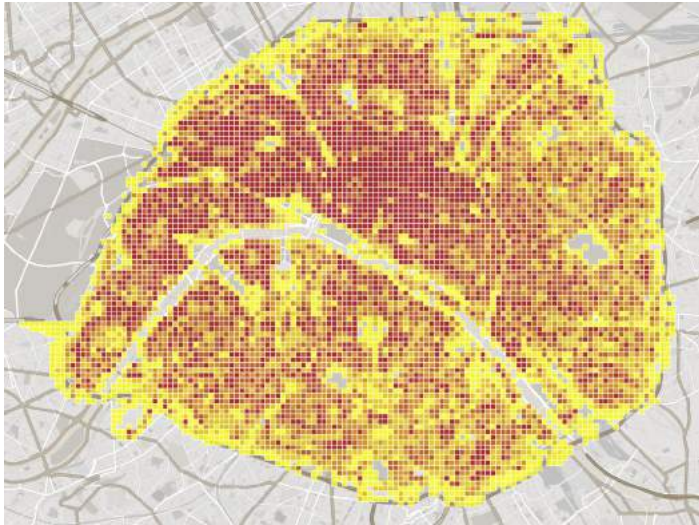
A noter qu'aujourd'hui les groupes de distribution réalisent 84 % de l'ensemble des ventes du commerce de détail, alors que le commerce traditionnel n'en réalise plus que 16 % (MADRY 2012).

1.4. Type, taille et localisation des entreprises

Définition de l'indicateur	Localisation des entreprises au sein de l'agglomération, nombre d'emplois et type d'entreprise.
Illustration	<p>LET - modèle FRET URB</p>

Sources	Laboratoire d'Economie des Transports (LET), modèle FRET URB
Echelle	Indicateur macro-urbain
Explication de l'impact	> Les emplois dans les secteurs de la logistique, des transports, du commerce de gros sont par exemple plus générateurs de transport de marchandises que les autres emplois. Les types de commerce et leur localisation au regard des logements déterminent des flux d'achat (mobilité régulière et locale).
Quantification de l'impact	<i>Pas d'éléments quantifiés de l'impact</i>
Analyse critique de l'indicateur	La question du transport logistique est rarement prise en compte dans les stratégies énergétiques à l'échelles des territoires.
Outil permettant de calculer l'indicateur [PARTIE 3 OUTILS]	FRET URB (Laboratoire d'Economie des Transports)
Bases de données utilisables pour obtenir les données nécessaires au calcul de l'indicateur [PARTIE 4 BASES DE DONNES]	INSEE, base de données des entreprises

1.5. Densité bâtie

Définition de l'indicateur	Surface de plancher (m ²) rapportée à la surface du quartier
Illustration	 <p>Paris, Intermezzo</p>

Sources	Aguiléra et Proulhac, 2006 ; Cervero et Kockelman, 1997 ; Frank et Pivo, 1994 ; Kitamura et al., 1997 ; Naess, 2003 ; Schwanen, 2002 ; Schwanen et al., 2004
Echelle	Indicateur micro-urbain
Explicitation de l'impact	> Favorise l'usage des modes doux et collectifs, réduit la distance et le budget-temps de déplacements et diminue le taux de motorisation (mobilités régulières et locales, fret)
Quantification de l'impact	<i>Pas d'éléments quantifiés de l'impact</i> <ul style="list-style-type: none"> - Poids du secteur aujourd'hui : Mobilité régulière et locale : 10% de la consommation totale - Score (produit de la variation max et de la part de la consommation totale actuelle) : <i>non connu</i>
Analyse critique de l'indicateur	Le lien entre les besoins en mobilité et la densité bâtie, prépondérant dans le langage commun des praticiens de l'urbanisme, est à moduler avec la question de la mixité fonctionnelle et les déplacements de loisir (l'effet barbecue).
Outil permettant de calculer l'indicateur [PARTIE 3 OUTILS]	<i>Pas d'outils recensés</i>
Bases de données utilisables pour obtenir les données nécessaires au calcul de l'indicateur [PARTIE 4 BASES DE DONNES]	Cadastre, BD Topo

Éléments complémentaires pour l'analyse de cet indicateur :

A partir de l'étude ADEME, "Densité et formes urbaines", 2016, réalisation Franck Boutté & Futuribles

- la densité de logements: rapport entre le nombre de logements et la surface d'études hors voiries publiques.
- la densité humaine: à l'échelle macro, elle correspond au nombre d'habitants par km²; à l'échelle micro, elle donne le rapport entre le nombre d'habitants occupant une parcelle et la surface de celle-ci
- la densité d'emplois: nombre d'emplois de la surface d'étude
- la densité bâtie: mesure l'emprise au sol des bâtiments par rapport à la surface de la parcelle, en multipliant par le nombre d'étages du bâtiment

La notion de "densité" participe aujourd'hui fortement à l'ambition de réduire l'artificialisation des sols. Ces questionnements sur la densité interrogent les tissus d'habitat, mais également les tissus tertiaires, et surtout commerciaux, industriels, et même agricoles, souvent développés sur un modèle extensif. Ces tissus autres que résidentiels font l'objet de moins d'études, et de moins d'expérimentations que les tissus résidentiels.

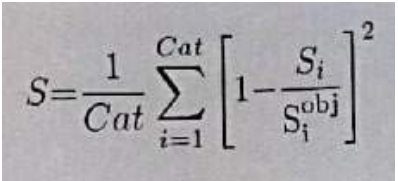
Selon S. Salat et C Nowacki du Laboratoire de Morphologie urbaine du CSTB, les transports collectifs sont plus rentables, plus accessibles et plus efficaces dans un tissu dense, ce qui explique qu'ils soient plus présents et utilisés dans un tissu de bâtiments contigus de taille moyenne. A l'inverse, les transports sont majoritairement individuels pour les habitants des pavillons et grands ensembles éloignés des centres-villes. De ce fait, le

transport compte pour 25% de l'énergie totale utilisée par les habitants d'immeubles européens traditionnels contre 50% pour les pavillons et grands ensembles.⁹

Le laboratoire de morphologie urbaine du CSTB montre ainsi que :

1. Les transports collectifs sont plus rentables, plus accessibles et plus efficaces dans un tissu dense, ce qui explique qu'ils soient plus présents et utilisés dans un tissu de bâtiments contigus de taille moyenne.
2. Au contraire, les transports sont majoritairement individuels pour les habitants des pavillons et des grands ensembles éloignés des centres-villes, et dans les villes étendues.
3. De ce fait, le transport compte pour 25 % de l'énergie totale utilisée par les habitants d'immeubles européens traditionnels contre 50 % pour les pavillons et grands ensembles. L'énergie utilisée pour le chauffage et les transports pour un bâtiment neuf de centre-ville de type traditionnel est de 800 MJ/km²/an, contre 1 300 MJ/km²/an (60 % de plus) pour un pavillon neuf en banlieue, plus de 2 000 MJ/km²/an pour un pavillon ancien en banlieue et 1 100 MJ/km²/an pour un grand ensemble de banlieue

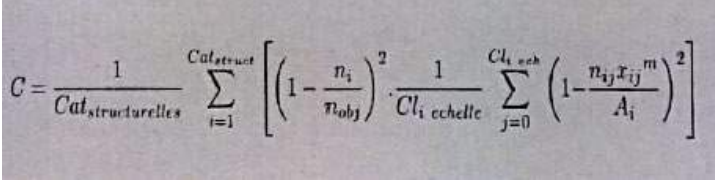
3.1. Diversité d'usage des parcelles

Définition de l'indicateur	Logements, bureaux, commerces, public, industries, ... On quantifie l'écart à un objectif structurel de distribution. L'indicateur traduit la moyenne des écarts relatifs au sein de chaque catégorie entre la cible et la valeur actuelle. Il doit se rapprocher de zéro.
Illustration	 <p>source: SALAT, 2011</p>
Sources	Salat, 2011; Erwing et Cervero, 2001
Echelle	Indicateur micro-urbain Se calcule à l'échelle du quartier, plus difficilement à l'échelle de la ville
Explicitation de l'impact	> La diversité se rapporte à la mixité fonctionnelle, essentielle pour limiter les distances à parcourir par personne quotidiennement (mobilités régulières et locales, fret)
Quantification de l'impact	- Poids du secteur aujourd'hui : Mobilité domicile travail = 57% des émissions de CO2 de la mobilité régulière et locale (Longuar et al, 2010) - entre 350 et 2000 kgC/ hab.an) - L'étude de Gonzales et al. 2014 indique que l'influence de la localisation des zones de commerces est d'un ordre de grandeur de 5 pour la mobilité sur les lieux de commerces et le dernier transport de marchandises sur le lieu de vente
Analyse critique de l'indicateur	Les pratiques spatiales des aires urbaines concernant la mobilité domicile – travail n'est pas systématiquement corrélé avec la mixité fonctionnelle des territoires, les paramètres socio-économiques sont à prendre en compte.

⁹ SALAT, NOWACKI, " De l'importance de la morphologie dans l'efficacité énergétique des villes", 2010

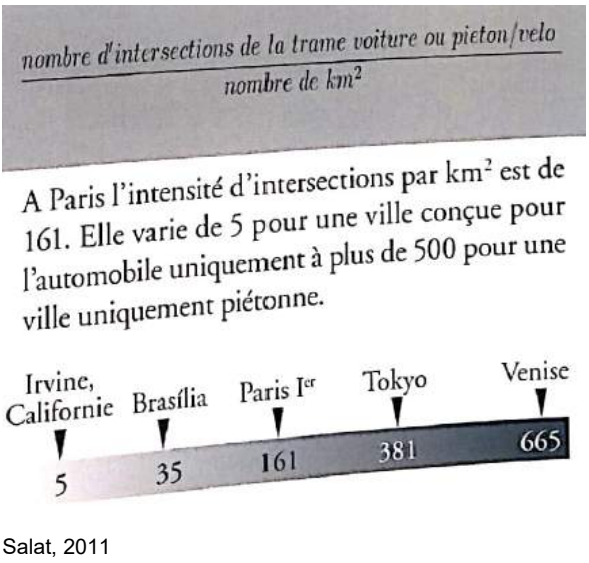
Outil permettant de calculer l'indicateur [PARTIE 3 OUTILS]	Pas de données
Bases de données utilisables pour obtenir les données nécessaires au calcul de l'indicateur [PARTIE 4 BASES DE DONNEES]	INSEE, BD Topo (base de données SIG) pour l'analyse de la diversité des parcelles. Puis nécessité de post-traitement de la donnée INSEE pour qu'elle soit exploitable à l'échelle de l'agglomération, et de développer un outil de calcul simple (type excel) pour calculer l'indicateur. Enquête Ménages Déplacements (EMD) ou base de données unifiée EMD du CEREMA pour corréliser la mixité fonctionnelle à des pratiques en matière de mobilité régulière et locale des ménages, et donc <i>in fine</i> des impacts énergie/carbone.

3.2. Complexité du tissu d'activités

Définition de l'indicateur	Il s'agit d'affiner la division de la diversité du tissu économique en prenant en compte une catégorie et sa distribution dans la ville ou le quartier, ainsi que les caractéristiques des éléments qui la composent. On mesure la complexité de la distribution des activités, en précisant l'indicateur d'écart à la diversité structurelle ; en mesurant la complexité à l'intérieur de la catégorie.
Illustration	 $C = \frac{1}{Cat_{structurelles}} \sum_{i=1}^{Cat_{structurelles}} \left[\left(1 - \frac{n_i}{n_{obj}} \right)^2 \cdot \frac{1}{Cl_{i\ echelle}} \sum_{j=0}^{Cl_{i\ echelle}} \left(1 - \frac{n_{ij} x_{ij}^m}{A_i} \right)^2 \right]$ <p>source: SALAT, 2011</p>
Sources	Salat, Les Villes et les Formes, 2011; approché dans Bouzouina et al, 2013
Echelle	Indicateur micro-urbain
Explicitation de l'impact	> Pour que tous les habitants aient accès à des commerces ou à des services de proximité, il est souhaitable qu'il y ait un très grand nombre de petites entités proches des consommateurs, un nombre moyen de plus grandes entités, et un petit nombre de très grandes entités. (mobilités régulières et locales, fret)
Quantification de l'impact	<p><i>Pas d'étude sur le sujet à ce jour, à notre connaissance</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Poids du secteur aujourd'hui : Mobilité domicile travail = 57% des émissions de CO2 de la mobilité régulière et locale (Longuar et al, 2010) - entre 350 et 2000 kgC/ hab.an) • Score (produit de la variation max et de la part de la consommation totale actuelle) : <i>non connu</i>
Analyse critique de l'indicateur	Il s'agit d'un paramètre complémentaire d'analyse des besoins en mobilité dans le but d'accès aux commerces et services.

Outil permettant de calculer l'indicateur [PARTIE 3 OUTILS]	Modèles LUTI, indirectement UrbanSim, ForCity utilisent cet indicateur
Bases de données utilisables pour obtenir les données nécessaires au calcul de l'indicateur [PARTIE 4 BASES DE DONNEES]	INSEE, BD Topo (base de données SIG) pour l'analyse de la diversité des parcelles. Enquête Ménages Déplacements (EMD) ou base de données unifiée EMD du CEREMA pour corrélérer la mixité fonctionnelle à des pratiques en matière de mobilité régulière et locale des ménages, et donc <i>in fine</i> des impacts énergie/carbone.

3.3. Connectivité des réseaux de rues

Définition de l'indicateur	Distance moyenne entre deux intersections, qu'il s'agisse des trames voiture ou vélo/piéton, ou nombre d'intersections de la trame voiture ou piéton-vélo / nombre de km ²
Illustration	 <p>The illustration shows the formula for the connectivity indicator: $\frac{\text{nombre d'intersections de la trame voiture ou piéton/velo}}{\text{nombre de km}^2}$. Below the formula, a text box explains that in Paris, the intensity of intersections per km² is 161, ranging from 5 for a car-centric city to over 500 for a pedestrian city. A bar chart compares five cities: Irvine, California (5), Brasília (35), Paris 1^{er} (161), Tokyo (381), and Venise (665).</p> <p>Salat, 2011</p>
Sources	Salat, Les Villes et les Formes, 2011 ; testé dans BADARIOTTI, 2011 , sur l'agglomération de Strasbourg
Echelle	Indicateur micro-urbain, s'analyse à l'échelle du quartier
Explicitation de l'impact	> Obtenir suffisamment d'interconnexions pour multiplier les chemins possibles, réduire les distances et les embouteillages, et rendre davantage de lieux accessibles facilement aux piétons (mobilités régulières et locales).
Quantification de l'impact	<p><i>Pas d'informations sur la quantification de l'impact.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Poids du secteur aujourd'hui : Mobilité régulière et locale : 10% de la consommation totale • Score (produit de la variation max et de la part de la consommation totale actuelle) : <i>non connu</i>

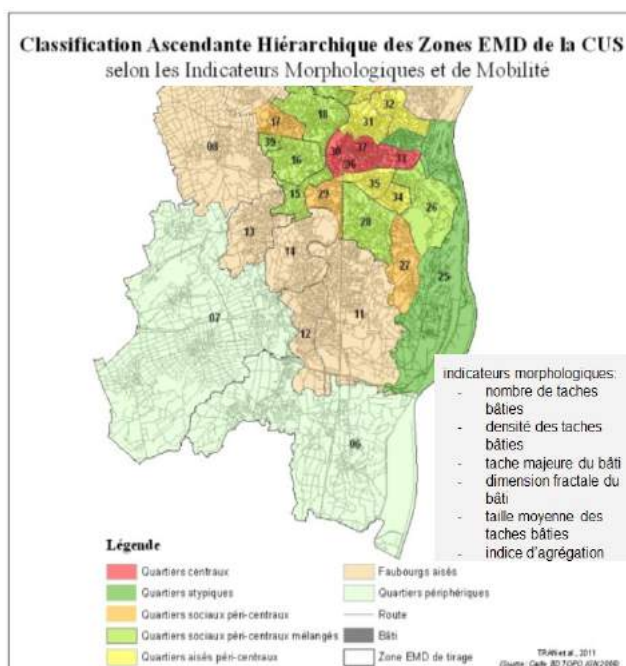
Analyse critique de l'indicateur	Indicateur difficile à calculer sur une échelle large
Outil permettant de calculer l'indicateur [PARTIE 3 OUTILS]	REMUS
Bases de données utilisables pour obtenir les données nécessaires au calcul de l'indicateur [PARTIE 4 BASES DE DONNEES]	INSEE, BD Topo

Éléments complémentaires pour l'analyse de cet indicateur :

Parmi les études opérant le croisement entre usages et des sols et mobilité, une étude menée en 2014 sur la communauté urbaine de Strasbourg identifie les rapports entre des typo-morphologies de formes micro-urbaines et les déplacements, autour du concept de "morpho-mobilité". Cette étude montre la corrélation entre les indicateurs morphologiques (fragmentation des éléments bâtis dans l'espace et connectivité entre ces éléments), les indicateurs réticulaires (longueur des routes, nombre d'intersections, part des routes par rapport à la surface totale de la zone, etc...) et les pratiques de mobilité (enquêtes ménages déplacements). Cette étude est basée sur l'outil REMUS (Reticular model for urban simulation) qui modélise la contribution des typo-morphologies urbaines aux mobilités et aux transports urbains

Cette étude identifie 2 indicateurs morphologiques particulièrement impactants pour les pratiques de mobilité :

- la connectivité des bâtiments et du réseau routier (qui influence la vitesse de la mobilité et le choix modal)
- la fragmentation (qui influence la distance de déplacement)



Source : BADARIOTTI, Morphologie urbaine et mobilité: outils et méthodes d'analyse conjointe des bases de données morphologiques et de mobilité, nov 2011

Le laboratoire des morphologies urbaines au CSTB effectue des analyses des formes urbaines, de leurs réseaux de rues et de la façon dont ces derniers influencent les pratiques de mobilités. L'efficacité des réseaux de rue est analysée grâce à une théorie mathématique, la théorie des graphes, et un outil mathématique, les nombres cyclomatiques. Ces derniers indiquent combien de chemins différents sont possibles pour aller d'un point à un autre en utilisant un réseau de rues donné. Plus ce nombre est élevé et plus le trafic sera réparti entre les voies, diminuant ainsi les embouteillages et améliorant la fluidité du trafic. Ce nombre cyclomatique est élevé dans le centre de Paris, à Hong Kong, Kyoto, Tokyo et dans les parties anciennes des villes chinoises mais est divisé par 15 dans les nouveaux développements urbains chinois, induisant une réduction des chemins possibles. Un autre indicateur est analysé : celui du nombre de mètres séparant deux intersections. Il représente en effet l'étalement de la ville et la possibilité ou non de se déplacer à pied ou en vélo. A ce titre, le CSTB distingue trois typologies urbaines :

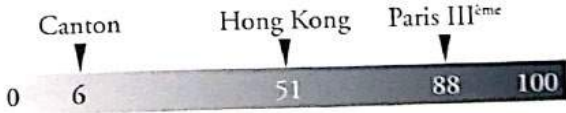
1. réseau de rues complexe et dense, distance moyenne de 50 mètres entre deux intersections et des nombres cyclomatiques allant de 90 à 150, mesurés sur des quartiers de 800 mètres de diamètre, typiques de villes piétonnes à la trame ancienne
2. trames influencées par les villes européennes du 19e siècle (Paris) avec une distance moyenne entre deux intersections de 150 mètres et des nombres cyclomatiques compris entre 60 à 90. Ces villes sont faites pour les piétons et les transports publics.
3. villes du 20e siècle américaines et nouvelles villes chinoises des 20 dernières années, avec des distances de 500 à 600 mètres entre deux intersections et des nombres cyclomatiques de 6, soit 15 fois inférieurs un nombre européen. Ce modèle est typiquement construit pour la voiture et pose de sérieux problèmes.

Le laboratoire des morphologies urbaines du CSTB a étudié une centaine de quartiers dans six villes du monde afin de mesurer les paramètres de forme ayant une influence sur la consommation énergétique, ce qui a permis de cartographier les typologies de tissus urbains en fonction de leur efficacité énergétique. Les paramètres morphologiques identifiés comme influents dans la consommation énergétique et étudiés plus précisément sont la densité, le volume construit, la forme et la répartition des bâtiments et des vides dans la ville, le réseau et le type de rues et voies de circulation, leur maille et leur connectivité. Ils sont d'autant plus importants qu'une optimisation technologique ou une meilleure isolation des bâtiments ne permettront pas de rattraper une mauvaise forme urbaine, alors qu'une intégration des systèmes aux formes urbaines multiplie leur efficacité. A ce titre, S. Salat rappelle l'importance de l'approche systémique et de la vision d'ensemble, indispensables pour atteindre l'objectif de diminution par 4 au minimum des émissions de carbone à l'échelle de la planète. Il faut intégrer les analyses dans une démarche qui consiste à intégrer les formes et les flux : « nos recommandations d'architecture et d'organisation urbaine sont à relier aux flux inhérents à la ville, tels que les transports, l'approvisionnement en eau, en électricité, et l'évacuation, récupération des déchets. »

source: De l'importance de la morphologie dans l'efficacité énergétique des villes, Salat, S. & Nowacki, N., Energie et territoires, Liaison Energie-Francophonie n°86, 2010

3.4. Nombre cyclomatique de la trame

Définition de l'indicateur	Indicateur de connectivité. Il est relié au nombre de chemins qui existent dans le quartier et la ville, et permet de fluidifier le trafic. On mesure le nombre de boucles primaires du réseau, multiplier ces boucles revient à multiplier les chemins possibles dans une ville.
----------------------------	---

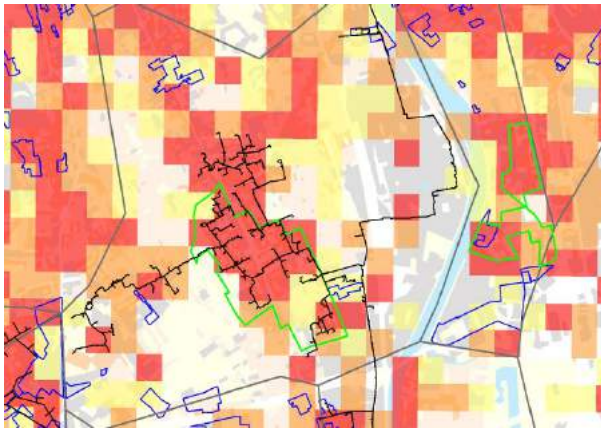
<p>Illustration</p>	<div style="background-color: #e0e0e0; padding: 10px; margin-bottom: 10px;"> $\mu = L - N + 1$ <p>L = nombre de liens, N = nombre de nœuds.</p> </div> <p>A Paris, le nombre cyclomatique est d'environ 80 à l'échelle de quartiers de 800 m de côté. Une ville mixte et piétonne a un nombre cyclomatique compris entre 40 et 100.</p>  <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="text-align: center;">Canton</td> <td style="text-align: center;">Hong Kong</td> <td style="text-align: center;">Paris III^{ème}</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">▼</td> <td style="text-align: center;">▼</td> <td style="text-align: center;">▼</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">6</td> <td style="text-align: center;">51</td> <td style="text-align: center;">88</td> </tr> </table>	Canton	Hong Kong	Paris III ^{ème}	▼	▼	▼	6	51	88
Canton	Hong Kong	Paris III ^{ème}								
▼	▼	▼								
6	51	88								
<p>Sources</p>	<p>Salat, Les Villes et les Formes, 2011; testé dans Badariotti, 2011 , sur l'agglomération de Strasbourg</p>									
<p>Echelle</p>	<p>Micro-urbaine, s'analyse à l'échelle de chaque quartier</p>									
<p>Explicitation de l'impact</p>	<p>> Multiplier ces boucles revient à multiplier les chemins possibles dans une ville, et est favorable aux modes doux (mobilités régulières et locales).</p> <p>Pour réduire les embouteillages, il est plus efficace de proposer une multitude de petits chemins pour que les usagers puissent choisir et se répartir sur ces chemins, qui s'adapteront mieux à la variété de leurs destinations.</p>									
<p>Quantification de l'impact</p>	<p><i>Pas d'informations sur la quantification de l'impact.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Poids du secteur aujourd'hui : Mobilité régulière et locale : 10% de la consommation totale • Score (produit de la variation max et de la part de la consommation totale actuelle) : <i>non connu</i> 									
<p>Analyse critique de l'indicateur</p>	<p>Ce paramètre tend à fluidifier le trafic routier qui peut avoir un effet inverse sur l'usage de la mobilité automobile.</p>									
<p>Outil permettant de calculer l'indicateur [PARTIE 3 OUTILS]</p>	<p>Modèles LUTI (indirectement)</p>									
<p>Bases de données utilisables pour obtenir les données nécessaires au calcul de l'indicateur [PARTIE 4 BASES DE DONNEES]</p>	<p>INSEE, BD Topo Thème A_RESEAU_ROUTIER</p>									

4. Les indicateurs en lien avec les réseaux de chaleur, de froid, électriques et smart grid

Quelques ordres de grandeur :

- La consommation de chauffage des bâtiments représente plus de 25 % de la consommation énergétique totale

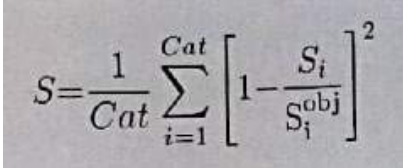
4.1. Densité thermique ; Intensité énergétique

Définition de l'indicateur	<ul style="list-style-type: none"> - Densité thermique : densité de surfaces chauffées (m^2 surfaces chauffées / surface de la zone) - Intensité énergétique surfacique : énergie consommée par m^2 de sol (kWh/m^2 d'énergie primaire) - Intensité énergétique linéaire en MWh/ml <p>On mesure une intensité, c'est à dire la consommation moyenne par m^2 construit sur une surface donnée. Cela permet de comparer plusieurs typologies de tissus urbains par exemple. On prend en compte l'énergie consommée au niveau du bâti (chauffage, électricité pour tous les usages et activités à l'intérieur du bâtiment).</p>
Illustration	 <p>source: CEREMA</p>
Sources	CETE de l'Ouest, 2012 + Salat, 2011 + Grenier, 2007 + HESPUL
Echelle	Indicateur micro-urbain, se calcule à l'échelle d'un quartier
Explicitation de l'impact	<p>> Les énergies distribuées par des réseaux de type géothermie, biogaz, bois, chaleur fatale sont particulièrement adaptés aux tissus denses pour les usages thermiques de l'existant (limitation des pertes de distribution, amélioration des performances thermiques du réseau)</p> <p>L'opportunité de développement d'un réseau de chaleur bois (plus vertueux en termes d'émissions de CO₂) dépend d'un certain nombre de facteurs, dont la densité thermique: les pertes de distribution et les pertes aux sous-stations sont plus importantes lorsque la densité thermique du réseau est plus faible;</p>

	l'augmentation de densité thermique a un rôle majeur dans l'amélioration des performances thermiques d'un réseau puisqu'elle permet de faire fonctionner la chaufferie dans les conditions optimums (dimensionnement au taux de couverture).
Quantification de l'impact	<p><i>Pas d'informations sur la quantification de l'impact.</i></p> <p>Pour mettre en place un réseau de chaleur :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Seuil de densité thermique moyen en agglomération : supérieur à 3 MWh/ml • Seuil de densité thermique minimum hors agglomération supérieure ou égal à 1 MWh/ml (HESPUL)
Analyse critique de l'indicateur	Cet indicateur est utilisé en stratégie énergétique afin de déterminer un potentiel à intégrer en réseau de chaleur, il est déjà un résultat. Son calcul se fait sur la base de données réelles, soit suivant un modèle intégrant des caractéristiques des bâtiments
Outil permettant de calculer l'indicateur [PARTIE 3 OUTILS]	Artelys Crystal City, Opportunitee
Bases de données utilisables pour obtenir les données nécessaires au calcul de l'indicateur [PARTIE 4 BASES DE DONNEES]	<ul style="list-style-type: none"> - Données des consommations énergétiques liées au chauffage, des fournisseurs d'énergie par secteur IRIS - Données morphologiques associées à des modèles de consommation

4.2. Diversité d'usage des parcelles

Voir plus haut : indicateur déjà évoqué à propos de la mobilité

Définition de l'indicateur	Logements, bureaux, commerces, public, industries, ... On quantifie l'écart à un objectif structurel de distribution. L'indicateur traduit la moyenne des écarts relatifs au sein de chaque catégorie entre la cible et la valeur actuelle. Il doit se rapprocher de zéro. C'est un indicateur de la mixité fonctionnelle.
Illustration	 <p>Source: SALAT, 2011</p>
Sources	Salat, 2011; CEREMA
Echelle	Indicateur micro-urbain

Explicitation de l'impact	> La mixité d'usage est un élément essentiel à la pertinence énergétique d'un réseau de chaleur , car elle procure un effet de foisonnement (atténuation de l'effet de « pics » des besoins), sur la journée, la semaine ou l'année. Elle est aussi pertinente pour le développement de smart grids .
Quantification de l'impact	Pas d'information sur la quantification de l'impact.
Analyse critique de l'indicateur	Peu d'études identifiées sur cette thématique
Outil permettant de calculer l'indicateur [PARTIE 3 OUTILS]	Artelys Crystal City
Bases de données utilisables pour obtenir les données nécessaires au calcul de l'indicateur [PARTIE 4 BASES DE DONNES]	INSEE, BD Topo (base de données SIG) pour l'analyse de la diversité des parcelles. Puis nécessité de post-traitement de la donnée INSEE pour qu'elle soit exploitable à l'échelle de l'agglomération, et de développer un outil de calcul simple (type excel) pour calculer l'indicateur.

5. Les indicateurs liés au bâti (énergie d'usage)

Quelques ordres de grandeur :

La consommation énergétique pour le chauffage des bâtiments représente plus du quart de la consommation énergétique française.

En moyenne la consommation surfacique du chauffage des appartements est 20 % plus faible que celle des maisons individuelles.

Retour sur la littérature sur le sujet:

A cette échelle, les configurations des quartiers affectent directement les climats extérieurs et intérieurs des espaces habités et ont une répercussion directe sur l'utilisation des bâtiments. (Multiplicités, août 2018).

De nombreuses études ont été réalisées ces dernières décennies pour étudier et favoriser l'efficacité énergétique des espaces construits, mais la plupart s'appliquent à des **bâtiments isolés, le plus souvent neufs**. Dans ce cas, les outils de calcul permettent de déterminer la consommation du bâtiment au regard de 4 principaux critères que sont:

- *la compacité du bâtiment*: c'est le rapport entre le volume d'un espace urbain et sa surface d'enveloppe en contact avec l'extérieur. C'est un indicateur approximatif de la performance énergétique d'une forme urbaine, puisqu'une faible compacité entraîne une augmentation des déperditions de chaleur en hiver et des gains de chaleur dus aux radiations solaires en été.
- *son isolation*
- *la quantité de surfaces vitrées* : les surfaces vitrées sont des surfaces déperditives, mais aussi des surfaces permettant de récupérer les apports solaires
- *le type d'équipements installés*

Un certain nombre de travaux de recherche ont récemment essayé de mesurer et de montrer l'effet de la densité et d'une manière plus générale de la morphologie urbaine sur la consommation énergétique des bâtiments et sur leur potentiel de production d'énergies renouvelables.

La grande majorité des études s'accordent à dire qu'une **ville économe en énergie est une ville dense, avec un bâti compact** (Maïza, 2007; Steemers, 2003).

Mais la prise en compte de **nouvelles problématiques comme l'effet d'îlot de chaleur urbain et la production d'énergies renouvelables** comme l'énergie solaire vient questionner ce paradigme de la densité. Ces approches montrent notamment que la compacité n'était pas en soi un objectif à rechercher à tout prix, du fait des arbitrages à opérer avec d'autres enjeux : accès à la lumière par exemple, ensoleillement des toitures, mais aussi ventilation des tissus urbains, etc. Par exemple, les obstructions ou ombres portées des bâtiments voisins peuvent partiellement ou totalement bloquer la lumière du jour et l'irradiation solaire par des effets d'ombrage. De la même façon, des villes trop denses, aux rues trop étroites et marquées par des surfaces trop minérales peuvent générer un "effet d'îlot de chaleur urbain" qui occasionne des surchauffes importantes l'été, et augmente le besoin en rafraîchissement voire en climatisation des espaces de vie. De la même façon, les possibilités de ventilation naturelle dépendent des propriétés morphologiques des bâtiments et des tissus urbains, mais aussi de la taille de la ville (ventilation des tissus, intensité de l'effet d'îlot de chaleur urbain). Les études véritablement intégrées, prenant en compte l'ensemble des composantes de ce "**paradoxe énergétique urbain**" (Bonhomme, 2013) sont extrêmement rares.

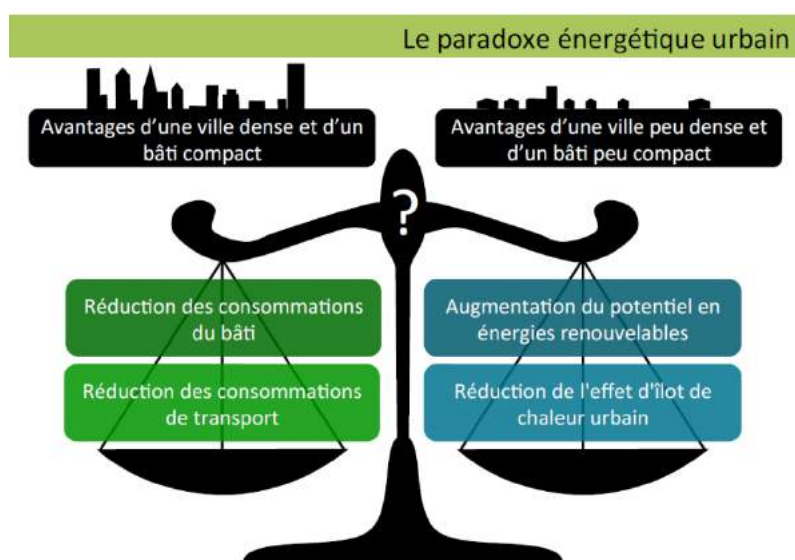


Figure 33 : Le paradoxe énergétique urbain, Marion Bonhomme, 2013

Sur la relation entre densité et consommation des formes urbaines à l'échelle du quartier, en 2010, L. O'Brien et al. ont mené une étude sur trois quartiers de Toronto de densités de population différentes. Issue de leurs travaux, la figure propose une extrapolation des tendances d'évolution de trois postes énergétiques en fonction de la densité de population des quartiers : la production solaire (en rouge et positif sur l'axe des ordonnées), la consommation des logements (en vert et négatif) et la consommation d'énergie pour les déplacements (en bleu et négatif). La courbe pointillée noire correspond au bilan énergétique net.

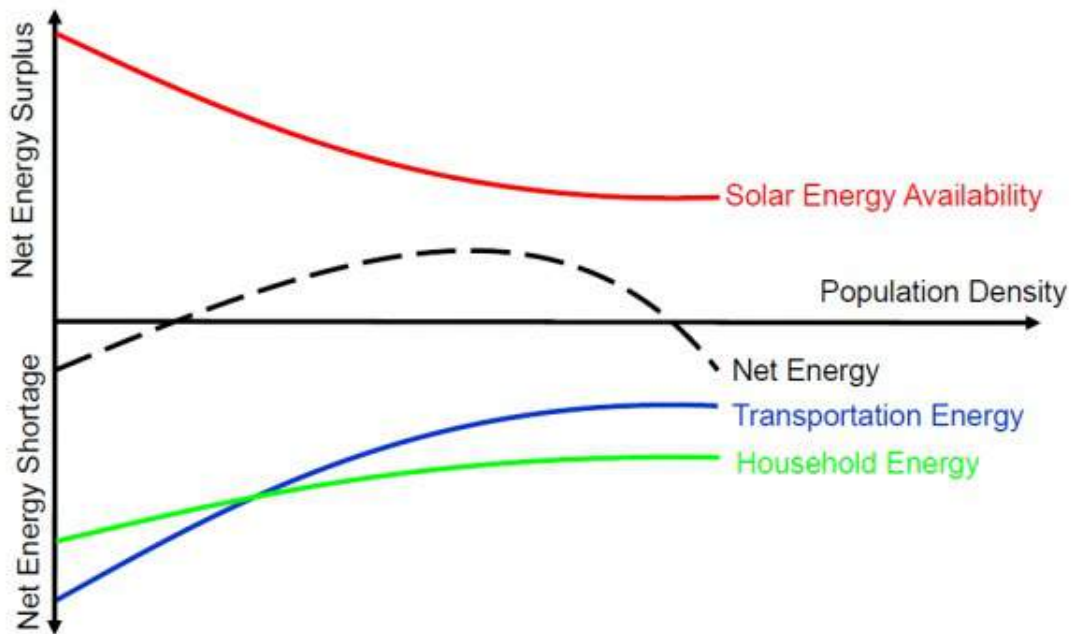


Figure Tendances d'évolution de trois postes énergétiques en fonction de la densité de population

Dans leurs travaux de comparaison entre villes européennes et villes chinoises, S. Salat et C. Nowacki du laboratoire de morphologie urbaine du CSTB montrent que :

- Les consommations liées à l'éclairage et au confort thermique (chauffage et refroidissement) sont quatre fois plus faibles pour le tissu dense des villes européennes que pour les nouvelles villes chinoises composées de tours isolées.
- Le tissu urbain européen traditionnel, correspondant à des îlots de 3 à 6 étages, répartis de manière dense pour créer un tissu urbain continu, avec des rues de tailles moyennes, apparaît comme le plus efficient énergétiquement. En effet, une fois isolés thermiquement, ces îlots utilisent 30 à 40 % d'énergie de moins par m² que les pavillons individuels pour le chauffage, l'électricité et l'eau chaude.

5.1. Fonction du bâtiment

Définition de l'indicateur	La fonction du bâtiment, à savoir logements, bureaux, équipements scolaire, commerces, etc, permet de mettre en évidence une consommation moyenne de chauffage, d'eau chaude et d'électricité.
Illustration	 <p>source: TRIBU, 2018</p>
Sources	Base carbone, COSTIC, Energieplus
Echelle	Indicateur micro-urbain
Explicitation de l'impact	> Renvoient à des ratios de consommation , déterminés de manière statistique à partir d'un panel d'enquêtes plus ou moins large
Quantification de l'impact	Il existe une variation jusqu'à un facteur 20 en termes de consommations énergétiques entre les différentes fonctions des bâtiments. Bases de données : Comité scientifique et technique des industries climatiques (COSTIC), energieplus-lesite.be, méthode 3CL, Base Carbone
Analyse critique de l'indicateur	Les bases de données nécessaires à analyser cet indicateur sont diverses et souvent partielles sur le choix des fonctions. Les analyses statistiques sont à moduler en fonction du climat.
Outil permettant de calculer l'indicateur <i>[PARTIE 3 OUTILS]</i>	La plupart des outils d'énergétiques à échelle urbaine se basent sur des éléments de fonction afin de déterminer les ratios de consommation. Artelys Crystal City, Opportunitee, Prosper, GES-URBA...
Bases de données utilisables pour obtenir les données nécessaires au calcul de l'indicateur <i>[PARTIE 4 BASES DE DONNES]</i>	INSEE, BD Topo (base de données SIG)

Eléments complémentaires pour l'analyse de cet indicateur :

Le Comité scientifique et technique des industries climatiques (COSTIC) a établi des études de recensement des consommations de bâtiments existants qui a permis d'établir des bases de données de ratios de consommation par fonctions.



Figure 34 : source : NUSS Stéphane, Les consommations d'énergie des bâtiments existants, COSTIC, 2002

Le site internet energieplus-lesite.be met aussi en avant plusieurs études ayant permis d'établir une base de données de ratios de consommation en tertiaire. Par exemple, les données de consommation de bureaux publics se basent sur une étude de 118 établissements de 80 à 18 924 m² en Belgique. Une consommation spécifique moyenne est alors identifiée pour cette fonction.

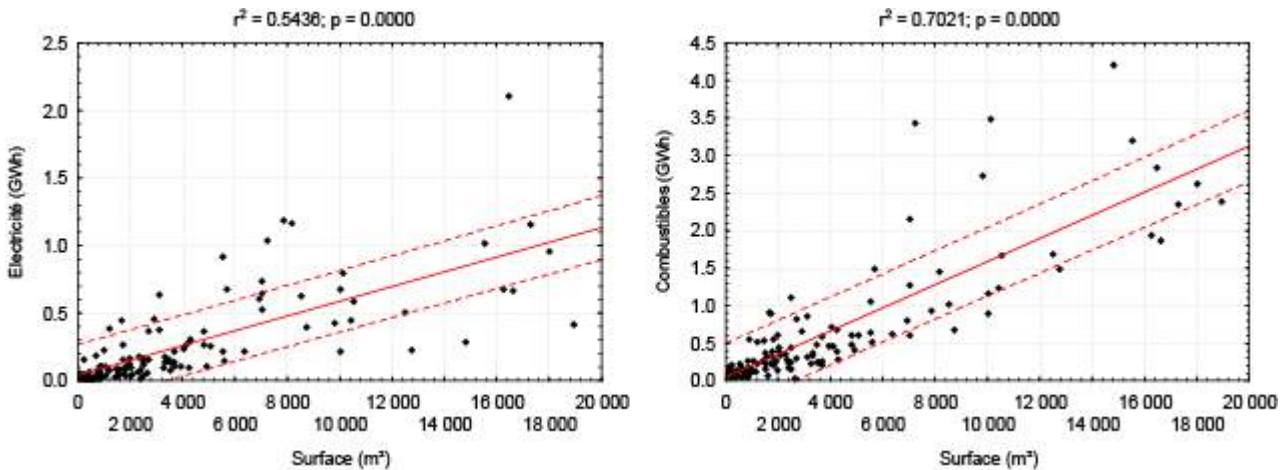



Figure 35 Consommations d'électricité et de combustibles des bureaux publics en 2012, source : energieplus-lesite.be

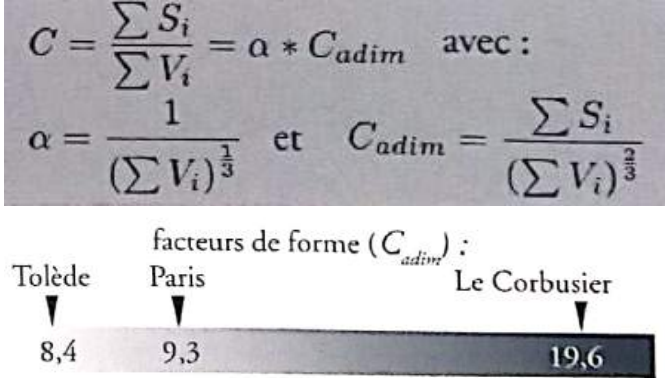
Autres sources de données : Base Carbone, méthode 3CL

5.2. Type, date de construction du bâtiment [indic. Agrégé]

Définition de l'indicateur	Le type (ex: individuel, intermédiaire, collectif) et la date de construction du bâtiment renseignent la performance thermique moyenne de ce bâtiment, notamment pour une même fonction. Il est créé alors une classification des
----------------------------	---

	bâtiments ou des îlots sur cette base.
Illustration	 <p>source: Ville de Paris</p>
Sources	Arantes et al, 2016 ; ADEME
Echelle	Indicateur micro-urbain
Explicitation de l'impact	> Renvoient à des modes constructifs, des niveaux d'isolation, des plans (compacité, épaisseur du bâtiment) et des choix de systèmes techniques (électricité, gaz, ...) statistiquement plus mis en œuvre à l'époque, et déterminants en termes de consommation de chauffage .
Quantification de l'impact	Jusqu'à facteur 20 Pour un logement neuf passif, la consommation peut être de 15 kWh/m ² .an alors qu'un logement des années 1960 non isolé peut atteindre 300 kWh/m ² .an de consommation de chauffage par an.
Analyse critique de l'indicateur	Le cas des logements anciens rénovés thermiquement peut engendrer des erreurs d'analyse sur la consommation en fonction de la classification du type et de date de construction. Il y a une nécessité de caler avec des données réelles (données des fournisseurs d'énergie). La rénovation thermique doit alors être référencée pour affiner cet indicateur. Les analyses statistiques sont à moduler en fonction du climat.
Outil permettant de calculer l'indicateur [PARTIE 3 OUTILS]	Prosper, GES-Urba GENIUS crée des types sur la base de données de morphologie urbaine
Bases de données utilisables pour obtenir les données nécessaires au calcul de l'indicateur [PARTIE 4 BASES DE DONNES]	Base de données logements INSEE par IRIS

5.3. Compacité surfacique, compacité volumétrique, facteur de forme

<p>Définition de l'indicateur</p>	<p>- compacité surfacique: m² d'enveloppe / m² de surface de plancher - compacité volumétrique: m² d'enveloppe extérieure / m³ bâti - facteur de forme: superficie des parois des bâtiments en contact avec l'extérieur ramenée au volume à chauffer (m²/m³).</p> <p>Ce coefficient exprime le degré d'agglomération des logements, leur plus ou moins grande mitoyenneté.</p>						
<p>Illustration</p>	 <p> $C = \frac{\sum S_i}{\sum V_i} = \alpha * C_{adim} \text{ avec :}$ $\alpha = \frac{1}{(\sum V_i)^{\frac{1}{3}}} \text{ et } C_{adim} = \frac{\sum S_i}{(\sum V_i)^{\frac{2}{3}}}$ </p> <p>facteurs de forme (C_{adim}) :</p> <table border="1"> <tr> <td>Tolède</td> <td>Paris</td> <td>Le Corbusier</td> </tr> <tr> <td>8,4</td> <td>9,3</td> <td>19,6</td> </tr> </table>	Tolède	Paris	Le Corbusier	8,4	9,3	19,6
Tolède	Paris	Le Corbusier					
8,4	9,3	19,6					
<p>Sources</p>	<p>Depecker et al, 2001; Salat, 2011; Schilling, 1984</p>						
<p>Echelle</p>	<p>Indicateur micro-urbain s'analyse à l'échelle du bâtiment, de l'ilot, du quartier</p>						
<p>Explicitation de l'impact</p>	<p>> La compacité volumétrique limite les pertes thermiques et donc les consommations de chauffage. Mais attention, elle peut rendre l'aération des bâtiments plus complexes.</p>						
<p>Quantification de l'impact</p>	<p>D'après P. DEPECKER et al (2001), la compacité du bâtiment peut aller jusqu'à diviser par 2 la consommation énergétique liée au chauffage.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Score (produit de la variation max et de la part de la consommation totale actuelle) : 50 						
<p>Analyse critique de l'indicateur</p>	<p>Le lien linéaire entre coefficient de forme et les consommations n'est valable que pour les bâtiments non isolés : les relations sont différentes en termes de bâtiments en basse consommation. Il y a aussi une plus faible ventilation es centres urbains induite par leur structure compacte (Frankhauser, 2005). Une faible compacité entraîne une augmentation des déperditions de chaleur en hiver mais des gains de chaleur dus aux radiations solaires en été (Ratti, 2005)</p>						
<p>Outil permettant de calculer l'indicateur [PARTIE 3 OUTILS]</p>	<p>Pleiades, Sane City, GENIUS</p>						
<p>Bases de données utilisables pour obtenir les données nécessaires au calcul de l'indicateur</p>	<p>BD topo (IGN), cadastre, open street-map, google map</p>						

Éléments complémentaires pour l'analyse de cet indicateur :

L'étude de P. DEPECKER et al, en 2001, permet par exemple, à partir de l'étude de 14 morphologies de bâtiments monolithiques et non monolithiques, d'établir un lien fort entre compacité du bâti et consommation de chauffage.

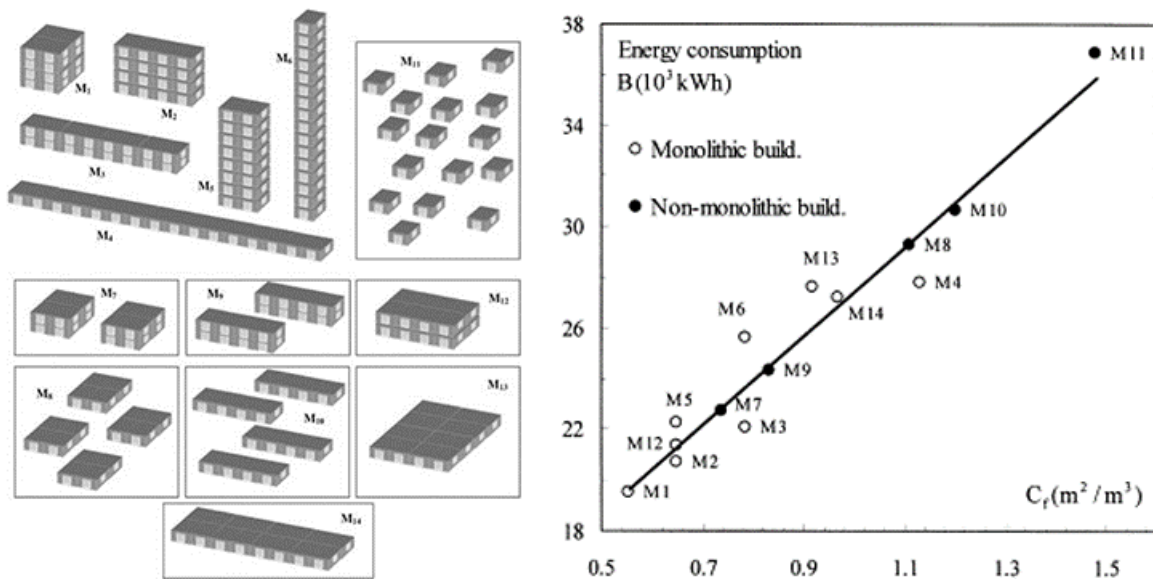


Figure 36 : Analyse de la compacité et des consommations de chauffage de 14 morphologies urbaines / source Depecker et al, 2001

Dans leur étude de 2016, Arantes et al abordent la question des impacts énergétiques des formes urbaines au travers des typo-morphologies : à même densité humaine et bâtie peuvent correspondre des formes urbaines différentes, qui elles-mêmes ont des consommations énergétiques différentes.

Dans cet article, les auteurs font l'étude de la performance énergétique de 6 organisations du tissu urbain. Ces 6 organisations sont similaires du point de vue de la taille du terrain (1 ha) ; de la densité habitée et de la densité construite (75 lgs/ha ; SHON 3750m²); des caractéristiques techniques des bâtiments (les bâtiments sont de forme simple (parallélépipédique), ils se composent d'une structure lourde en béton et d'une enveloppe thermique légère en ossature bois à isolation répartie, ils supportent en toiture et en façades Sud et Ouest des panneaux solaires thermiques et photovoltaïques); et enfin des usages (logements uniquement).

Les formes urbaines seules varient. Les formes analysées sont identifiées ci-dessous (Figure 37).

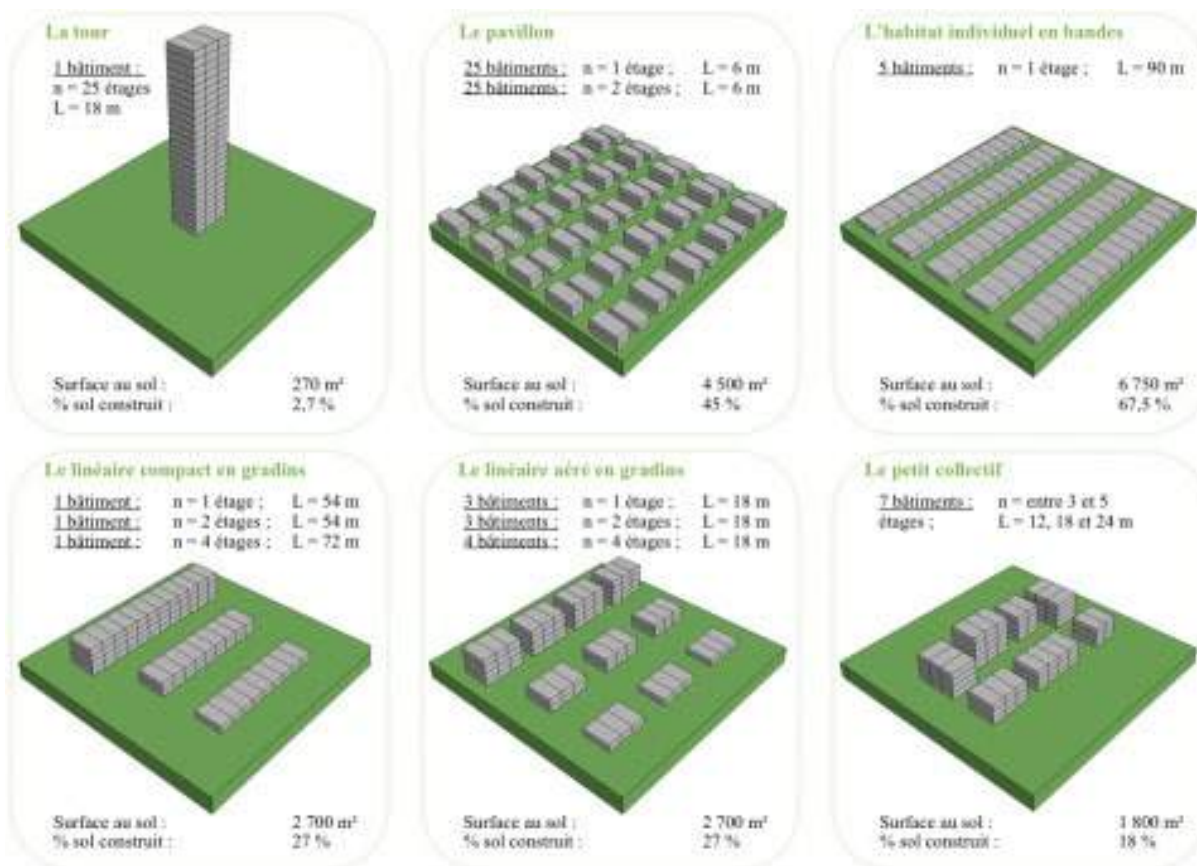


Figure 37 : ARANTES, MARRY, BAVEREL et QUENARD, "Efficacité énergétique et formes urbaines: élaboration d'un outil d'optimisation morpho-énergétique", Cybergéo, 2016

Les consommations énergétiques de chaque forme urbaine sont analysées au regard de trois paramètres : la compacité du bloc urbain (déperditions), les apports solaires (accès au soleil des façades) et le potentiel de production d'énergies renouvelables (accès au soleil des toitures), considérés comme les trois paramètres les plus influents sur les consommations énergétiques liées à la forme urbaine. Le but de l'étude est de comparer les consommations 6 typologies puis d'établir un outil d'aide à la décision de morphogénèse en vue de définir les formes urbaines optimales sur un îlot.

Dans une étude sur la ville de Strasbourg, (Schilling, 1984) propose une approche typo-morphologique pour la caractérisation de la consommation de chauffage du bâti. L'analyse typo-morphologique est basée sur les critères de forme du bâtiment, de l'époque de construction et du mode de groupement du bâti. Une classification est effectuée mettant la morphologie urbaine en cohérence avec la typologie architecturale. On compte en tout 19 classes de bâtiments.

Morphologie de l'îlot	Typologie des bâtiments	Date
1. îlots fermés	1. ville Allemande	1898-1906
	2. vieille ville	1870
2. rangée d'immeuble d'avant guerre		1933
3. maisons urbaines indépendantes		1914-1956
4. maison	1. maisons indépendantes	a. toutes époques
		b. entre deux guerres (1935-1939)
		c. 1958-1960
	2. maisons à dépendance	1888-1925
	3. maisons mitoyennes	a. jumelées 1924-1931
b. en bande 1912		

	4. pavillons récents	a. 1962-1964 b. 1971-1975 c. 1980-1982
5. grand ensemble collectifs	1. collectifs d'après guerre	1948 -1960
	2. barres récentes	après 1962
	4. tours	a. 1969-1973 b. 1966-1977
	5. collectifs néo-régional	1968-1974

Il établit les principales caractéristiques du bâti (nombre moyen de niveaux, taux d'occupation...) et les caractéristiques thermiques pour chaque typologie de bâtiment. Pour son modèle, Schilling calcule les déperditions thermiques exprimées par le coefficient G (calculé selon la réglementation thermique en vigueur en 1982) pour chaque typologie.

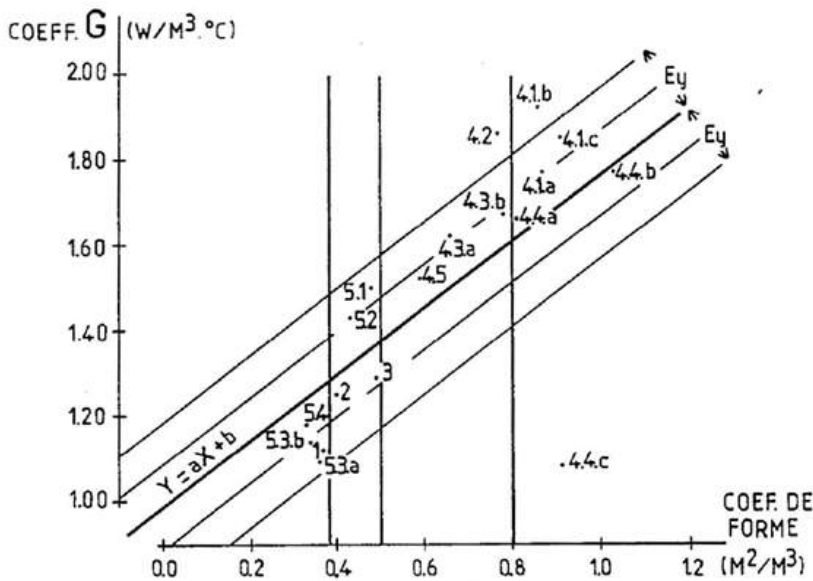


Illustration 11: Coefficients de forme et de déperditions thermiques des types de forme urbaine à Strasbourg (extrait [Schilling_1984a])

TYPE	DÉNOMINATION	COEFF. G DE DÉP. DU BATI W/M².°C	COEFF. DE FORME M²/M³	COEFF. G DE DÉP. W/M³.°C	COEFF. B DE BESOINS DE CHAUFFAGE W/M³.°C	COEFF. DE CONSOMMATION		CONSOMMATIONS UTILES P.R.AUX CONSOMMATIONS THÉORIQUES	
						UTILE CH/M³.°C	RÉELLE C/M³.°C	CH/β	CH/D
1.1.	ENS.FERMÉS VILLE ALLEM.	2.16	0.34	1.08	0.92	0.64	0.82	0.73	0.62
2.	RANG.D'IMM.D'AV.GUERRE	2.30	0.40	1.25	1.08	0.82	1.09	0.76	0.66
3.	MAISONS URBAINES INDÉP.	1.91	0.51	1.31	1.15	0.90	1.29	0.78	0.69
4.1.A	MAIS.IND. TOUTES ÉPOQUES	1.52	0.85	1.64	1.47	1.14	1.55	0.79	0.70
4.1.B	MAIS.IND. D'AVANT-GUERRE	1.83	0.88	1.95	1.77	1.34	1.77	0.76	0.69
4.1.C	MAISONS INDÉP. '50	1.53	0.92	1.76	1.53	1.21	1.67	0.79	0.69
4.2.	MAISONS A DÉPENDANCES	1.91	0.81	1.89	1.71	1.18	1.56	0.69	0.62
4.3.A	MAISONS JUMELÉES	1.95	0.66	1.63	1.46	1.10	1.31	0.75	0.67
4.4.A	PAVILLONS-ANNÉES 1960	1.51	0.78	1.52	1.31	1.03	1.38	0.79	0.68
4.4.B	PAVILLONS-ANNÉES 1970	1.30	1.04	1.69	1.48	1.05	1.19	0.71	0.62
4.4.C	PAVILLONS-ANNÉES 1980	0.79	0.95	1.09	0.90	0.75	0.85	0.84	0.69
4.5.	PETIT COLLECTIF	2.02	0.58	1.52	1.30	1.00	1.17	0.77	0.66
5.1.	COLLECTIF D'AP. GUERRE	2.41	0.48	1.50	1.29	1.44	1.87	1.12	0.96
5.2.	BARRES	2.52	0.43	1.43	1.20	0.98	1.10	0.82	0.69
5.3.A	"TOURS" DE HAUTEPIERRE	2.08	0.36	1.09	0.89	0.99	1.12	1.11	0.91
5.4.	COLLECTIF NÉO-RÉGIONAL	2.52	0.33	1.18	1.00	0.79	1.09	0.79	0.67

Illustration 12: Coefficients de consommation théorique et réelle des types de formes urbaine à Strasbourg (extrait de [Schilling_1984a])

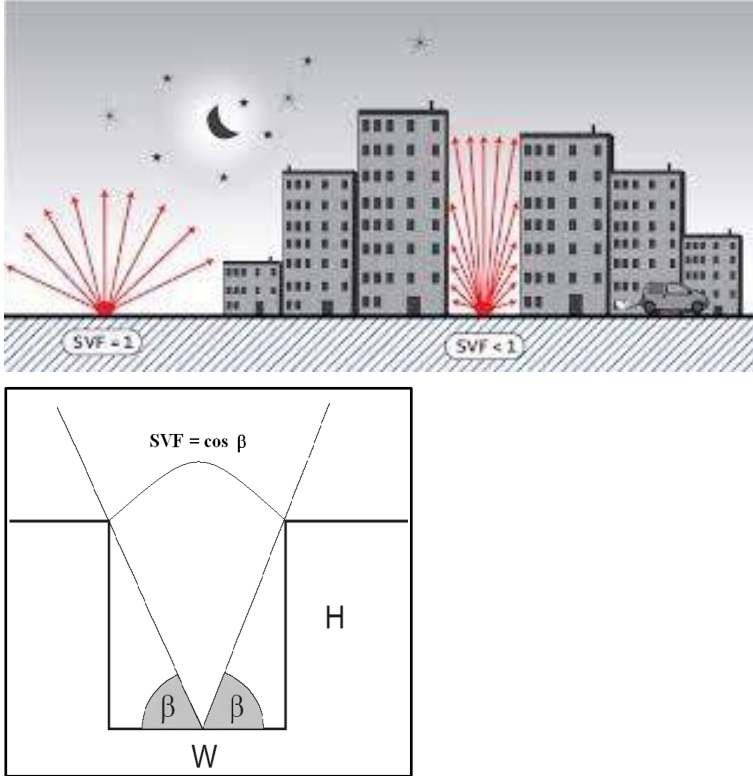
Il remarque une corrélation élevée entre la consommation G et le coefficient de forme du bâtiment. Le coefficient de forme est défini par la surface des parois des bâtiments en contact avec l'extérieur sur le volume chauffé (m²/m³) : ce coefficient exprime la compacité des logements et leur degré de mitoyenneté. Plus le bâti est dégagé et sa compacité faible, plus la consommation est élevée. Schilling en déduit la faible importance des

matériaux de construction dans la variation des consommations, mais seulement pour les bâtiments non isolés. En effet, la typologie qui fait exception est celle des maisons individuelles des années 80, ayant une isolation.

Une analyse comparative des besoins théoriques calculés et des consommations réelles met en avant une bonne probabilité d'exactitude, même si les besoins théoriques sont majorés de 20 à 25%. Cette différence traduit le fait de la difficulté d'évaluer le mode d'occupation et le comportement et que le modèle ne tient pas compte de la variation de la température extérieure.

Schilling établit aussi des ratios de coefficient d'ensoleillement en fonction de la morphologie du tissu urbain. Les apports solaires semblent négligeables en fonction de la consommation G car le coefficient d'ensoleillement (lié à l'orientation et effets de masque) est relativement homogène et de faible valeur dans le cas de la ville de Strasbourg.

5.4. Facteur de vue du ciel, prospects, ratio hauteur - largeur,

<p>Définition de l'indicateur</p>	<p>- Facteur de vue du ciel : Angle solide d'ouverture d'une surface urbaine au ciel, appelé aussi Sky View Factor (SVF), il permet d'apprécier l'interface hémisphérique de contact direct entre une surface située au centre du canyon et le ciel (Nakamura et Oke, 1988)</p> <p>Prospect, ratio hauteur-largeur : rapport entre hauteur des bâtiments et largeur d'une rue canyon (APUR)</p>
<p>Illustration</p>	 <p>The illustration consists of two parts. The top part is a perspective drawing of an urban canyon with several buildings of varying heights. Red lines radiate from the ground level towards the sky, representing the sky view factor. Two points on the ground are labeled 'SVF = 1' and 'SVF < 1'. The sky is depicted with a crescent moon and stars. The bottom part is a schematic diagram of a canyon with height 'H' and width 'W'. Two angles labeled 'β' are shown at the base of the canyon walls, and the formula 'SVF = cos β' is written above the diagram.</p> <p>Oke, 1981</p> <p>Figure 38 Schéma d'un canyon urbain (source : Mills, 2005)</p>
<p>Sources</p>	<p>(Oke 1987) développe un indicateur qui corrèle l'écart de température de surface aux proportions des rues (rapport hauteur sur largeur H/W) :</p> <p>Tmax urbain-rural = 7.54 +3.97 ln (H / W)</p>

	(Oke 1981) développe aussi un indicateur où le maximum de température entre les zones urbaines et rurales est lié aux facteurs de vue de ciel (Ψ_{sky}) Tmax urbaine rurale = 15.27-13.88 Ψ_{sky}
Echelle	Indicateur micro-urbain
Explicitation de l'impact	L'ouverture du tissu urbain caractérise le piégeage radiatif de la forme urbaine, qui impacte sur l'effet d'îlot de chaleur urbain (ICU). Par ailleurs, il indique une contribution à l'autonomie en éclairage naturel. Ainsi, il impacte sur les consommations d'électricité (éclairage et climatisation). Il faut remarquer que l'effet d'îlot de chaleur urbain tend à réduire les consommations de chauffage en hiver.
Quantification de l'impact	Pas de donnée de quantification en France Pour le centre d'Athènes une diminution de charge de chauffage de 30 à 50 % par rapport à celles relevées en banlieue (Santamouris et al. 2001b). Par ailleurs, les exigences de confort d'été dans les bâtiments, et donc la climatisation, se développent fortement. Ce développement est problématique en zone urbaine, et des relevés pour un bâtiment de référence dans le centre d'Athènes (Santamouris et al. 2001b) ont montré que les charges thermiques pouvaient être doublées par l'effet d'îlot de chaleur tandis que le coefficient de performance (COP) des systèmes d'air conditionné était réduit de 25 %.
Analyse critique de l'indicateur	Il est difficile de faire le lien entre l'écart de température maximal et l'impact énergie-carbone.
Outil permettant de calculer l'indicateur <i>[PARTIE 3 OUTILS]</i>	GENIUS
Bases de données utilisables pour obtenir les données nécessaires au calcul de l'indicateur <i>[PARTIE 4 BASES DE DONNES]</i>	BD topo, cadastre, open street map, google map

Éléments complémentaires pour l'analyse de cet indicateur :

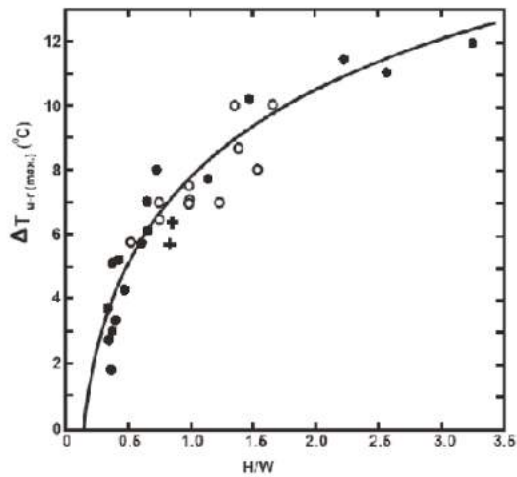


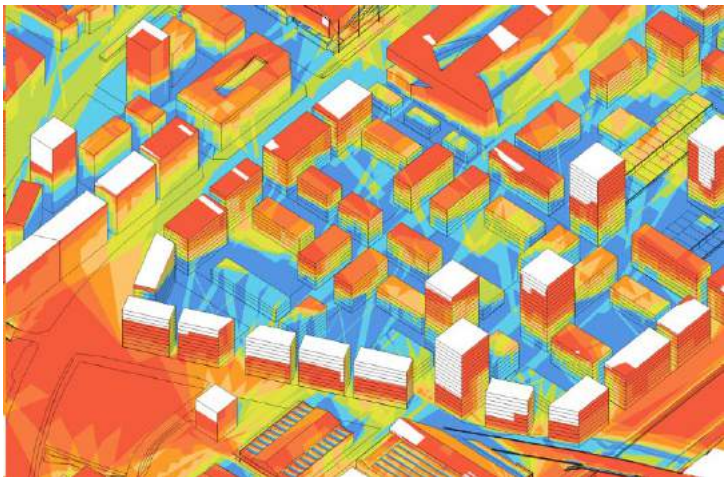
Figure 39 Oke, 1981

Caractérisation de l'ICU dans une « rue canyon »

La géométrie des canyons urbains contribue à l'accumulation et à la rétention de la chaleur. La journée, les rayons solaires incidents sont piégés dans les canyons par les multiples réflexions qu'ils subissent sur les parois verticales du canyon. Ceci participe au stockage de la chaleur dans les matériaux constitutifs du canyon (Nakamura et Oke, 1988). A partir de la fin de la journée, et durant toute la nuit, la faible ouverture vers le ciel dans les canyons urbains, va entraîner la capture de la chaleur réémise par les surfaces lors du processus décrit au § 2.5.1.1. (Oke, 1981). C'est la cause de l'absence de refroidissement nocturne de l'air des canyons urbains.

Oke mets en évidence une relation morpho-climatique entre le ratio H/L et l'intensité de l'îlot de chaleur maximum sur la base de mesures.

5.5. Accès au soleil en hiver, ensoleillement, solarisation



Définition de l'indicateur	<ul style="list-style-type: none"> - % des façades des bâtiments recevant plus de 2h d'ensoleillement direct en hiver au 21 décembre - ensoleillement
Illustration	 <p><i>Figure Nombre d'heure de soleil le 21 décembre, TRIBU, 2018</i></p>
Sources	Arantes et al, 2016, Schilling, 1984
Echelle	Indicateur micro-urbain
Explicitation de l'impact	> L'accès au soleil en hiver permet de maximiser les apports solaires passifs, et donc de limiter les besoins de chaud . Il impacte aussi directement les besoins d'éclairage artificiel .
Quantification de l'impact	<i>Pas de quantification de l'impact de cet indicateur sur les consommations énergétiques et l'émission de carbone des bâtiments.</i>
Analyse critique de l'indicateur	L'aspect dynamique du soleil rend le calcul de cet indicateur difficile dans le cas d'un grand nombre de bâtiments.
Outil permettant de calculer l'indicateur [PARTIE 3 OUTILS]	Pléiades ACV Quartier, Sane City, CitySim
Bases de données utilisables pour obtenir les données nécessaires au calcul de l'indicateur [PARTIE 4 BASES DE DONNES]	BD topo (IGN)

Éléments complémentaires pour l'analyse de cet indicateur :

Dans le cadre du développement de l'outil Papoose, Alain Bornarel a établi dans une méthode de calcul simplifiée, un **coefficient d'équivalence de surface sud en hiver** (pour la latitude France) qui permet d'évaluer la quantité d'énergie solaire par façade :

- Sud = 1
- Nord = 0,2
- Est et Ouest = 0,55
- Horizontal = 0,80

5.6. Taux de volume passif, épaisseur des bâtiments

<p>Définition de l'indicateur</p>	<p>Cet indicateur est un complémentaire nécessaire pour contre balancer la recherche de la compacité.</p> <ul style="list-style-type: none"> - m³ de zone passive (autonomie en lumière et ventilation) / m³ de surface totale - surface de la zone entre la façade et 6m de profondeur / surface totale du bâtiment - épaisseur du bâtiment
<p>Illustration</p>	<p>Schéma coupe de principe d'un étage courant (Bornarel, 2016)</p> <p>Principe de volume passif et lumière naturel :</p>  <p>Principe de volume autonome en ventilation naturelle :</p> 
<p>Sources</p>	<p>Salat, Les Villes et les Formes, 2011, Bornarel, 2012 Bocher, projet de recherche MApUCE, 2016</p>
<p>Echelle</p>	<p>Micro-urbain</p>
<p>Explicitation de l'impact</p>	<p>> Mesure la part des zones avec accès à la lumière naturelle et la ventilation naturelle, qui ne génèrent donc pas de consommations électriques supplémentaires pour ces deux postes.</p>
<p>Quantification de l'impact</p>	<p><i>Pas de quantification de l'impact de cet indicateur sur les consommations énergétiques et l'émission de carbone des bâtiments.</i></p>
<p>Analyse critique de l'indicateur</p>	<p>Cet indicateur présuppose la présence de vitrage sur les façades. Cela n'est pas toujours vrai, notamment dans le cas des bâtiments industriels et hangars ainsi que certains équipements.</p>

Outil permettant de calculer l'indicateur [PARTIE 3 OUTILS]	Pléiades ACV Quartier, Sane City (indirectement) Genius / MApUCE
Bases de données utilisables pour obtenir les données nécessaires au calcul de l'indicateur [PARTIE 4 BASES DE DONNES]	BD Topo (IGN)

5.7. Taille de l'agglomération et îlot de chaleur urbain

Définition de l'indicateur	<p>Oke a établi un lien entre l'ampleur de l'îlot de chaleur urbain (ICU) atmosphérique (écart de température ville-campagne) quelle que soit la ville étudiée, par temps clair et calme (peu de vent) par le logarithme de la population de la ville (Oke, 1973).</p> <p>(Karl, Diaz, & Kukla, 1988) ont également établi une relation (non-linéaire) entre la population et la différence de température mesurée entre le centre urbain et sa campagne environnante.</p>
Illustration	<p>Figure 41 Intensité maximale de surchauffe urbaine en fonction de la population de la ville (Oke, 1973)</p>
Sources	Oke, 1973 ; Karl, Diaz, & Kukla, 1988
Echelle	Macro-urbain
Explicitation de l'impact	L'îlot de Chaleur Urbain a un impact indirect sur les consommations énergétiques.
Quantification de l'impact	Il n'y a pas actuellement de mise en évidence de lien entre surconsommation d'électricité liée à la climatisation et population, sachant que l'îlot de chaleur


	urbain induit une réduction de la consommation de chauffage en hiver. (EPICEA, 2015)
Analyse critique de l'indicateur	Ces approches ont des limites : (Böhm, 1998) montre que la population de Vienne est restée constante entre 1951 et 1995 mais l'ICU atmosphérique n'a pas cessé de croître, ce qu'il explique par la modification de l'occupation des sols (dont une augmentation de la surface habitable par habitant), l'augmentation constante et importante des consommations d'énergie (2,5 fois plus élevée en 1995 qu'en 1951).
Outil permettant de calculer l'indicateur <i>[PARTIE 3 OUTILS]</i>	Pas de donnée
Bases de données utilisables pour obtenir les données nécessaires au calcul de l'indicateur <i>[PARTIE 4 BASES DE DONNES]</i>	Données INSEE : taille de l'établissement urbain, population d'une ville

Éléments complémentaires pour l'analyse de cet indicateur :

La taille de l'agglomération est un facteur de risque en période de fortes chaleurs. L'étude de la vague de chaleur de 1976 a révélé que la variation moyenne du taux de mortalité entre 1975 et 1976 a été de + 4% dans les villes de moins de 50 000 habitants, de +11 % pour les villes hébergeant entre 50 000 et 200 000 habitants et de +18 % pour les agglomérations de plus de 200 000 habitants (Rey, 2007). La surmortalité due à la chaleur se concentre dans les grandes agglomérations en raison des fortes températures liées au phénomène d'îlots de chaleur urbains.

6. Indicateur lié au potentiel solaire EnR

6.1. Potentiel Solaire EnR

Définition de l'indicateur	kWh /m ² .an (surface de toiture X productivité). Il s'agit d'un potentiel de production photovoltaïque ou thermique, évalué à partir d'une étude d'ensoleillement et de rayonnement.
Illustration	 <p>Figure 42 Cadastre solaire, Annecy</p>
Sources	Arantes et al, 2016; HESPUL, 2014
Echelle	Micro-urbain
Explicitation de l'impact	> L'accès au soleil des toitures permet une production potentielle de solaire photovoltaïque et thermique en toiture, permettant d'améliorer le bilan énergétique des bâtiments
Quantification de l'impact	<i>Pas de quantification de l'impact de cet indicateur sur les consommations énergétiques et l'émission de carbone des bâtiments.</i>
Analyse critique de l'indicateur	Cet indicateur capacité à intégrer des panneaux solaires photovoltaïques, mais aussi thermiques
Outil permettant de calculer l'indicateur [PARTIE 3 OUTILS]	Pléiades ACV, Sane City, NESTTERR
Bases de données utilisables pour obtenir les données nécessaires au calcul de l'indicateur [PARTIE 4 BASES DE DONNES]	Plusieurs collectivités ont mis en ligne des cadastres solaires, sur la base du cadastre, BD topo.

Eléments complémentaires pour l'analyse de cet indicateur :

Dans le guide « Prise en compte de l'énergie dans les projets d'aménagement » (HESPUL), fournit les informations suivantes concernant la correspondance entre la forme urbaine et le potentiel de production photovoltaïque :

Correspondance entre la forme urbaine et le potentiel de production photovoltaïque :

	ORIENTATION SUD	PUISSANCE INSTALLEE / EMPRISE AU SOL	PRODUCTIVITE (pour Lyon)	PUISSANCE PV POUR 1 000 m ² DE SURFACE BÂTIE	PRODUCTION ANNUELLE CORRESPONDANTE (pour Lyon)
	> Toiture inclinée Monopan, modules standards cristallins	117 Wc/m ²	1060 kWh/Wc	117 kW	124 MWh
	> Toiture inclinée Double pan, modules standards cristallins	59 Wc/m ²	1060 kWh/Wc	59 kW	62 MWh
	> Toiture terrasse, capteur couche mince	45 Wc/m ²	951 kWh/Wc	45 kW	42 MWh
	> Toiture terrasse, modules standards cristallins	45 Wc/m ²	1060 kWh/Wc	45 kW	47 MWh
	> Toiture terrasse avec attique modules standards cristallins	15 Wc/m ²	1060 kWh/Wc	15 kW	15 MWh

Source : Fiche pratique du guide « Prise en compte de l'énergie dans les projets d'aménagement », HESPUL, 2014

La forme urbaine impacte directement le taux de couverture possible réalisable par du photovoltaïque. Plus la densité de logements est élevée, plus il est difficile de couvrir la totalité des consommations électriques par du photovoltaïque. En milieu dense, le seul photovoltaïque in situ ne suffira jamais pour viser un taux de couverture de 100 %. Il conviendra donc :

- de faire appel à de l'électricité de réseau, produite massivement de manière centralisée, dont on peut souhaiter, qu'elle soit renouvelable comme le grand éolien, la grande cogénération, les parcs photovoltaïques au sol, etc.
- d'envisager une autre source de production d'électricité in situ : la cogénération, d'essayer d'exploiter des toitures disponibles alentours (gymnase, école, industrie, etc).¹⁰

¹⁰ Fiche pratique du guide « Prise en compte de l'énergie dans les projets d'aménagement », HESPUL, 2014

7. Les indicateurs en lien avec la construction, la rénovation des bâtiments et les ouvrages (énergie grise)

Quelques ordres de grandeur :

L'énergie grise des bâtiments existant pèse de 7 à 10 % de la consommation énergétique totale sur leur durée de vie (dont 5 % pour la fabrication des matériaux).

Pour les bâtiments neufs, cette proportion est de l'ordre de 15 % et peut atteindre 20 à 25 % pour des bâtiments à très haute performance énergétique, « posant ainsi beaucoup plus fortement la question des choix de filières constructives et des matériaux les plus performants ».

Source : F. Moisan, « Le bâtiment en perspective », Ademe

Les exigences réglementaires portant essentiellement sur la question des consommations d'énergie pendant la phase d'exploitation du bâtiment, les consommations nécessaires à la fabrication, à l'entretien, à la maintenance, à l'adaptation et à la déconstruction ont été marginalement prises en compte. Avec les évolutions vers la réglementation environnementale RE 2020, la prise en compte du bâti marque un intérêt croissant pour l'enjeu de contenu carbone du bâtiment.

Actuellement, les indicateurs mettant en relation le contenu carbone et l'énergie grise en lien avec la forme urbaine sont définis dans **un nombre encore trop limité d'études pour établir des relations solides**. Plusieurs études paramétriques mettent en avant des résultats, des tendances.

7.1. Type de travaux

Définition de l'indicateur	Une moyenne d'énergie grise et/ou de contenu carbone des tissus urbains peut être définie selon les types de travaux effectués : construction neuve / rénovation, démolition de maison individuelle / logement collectif / bâtiment tertiaire et des types d'ouvrages : routes, voies ferrées, ouvrages d'arts, VRD, installation d'EnR																																																																																									
Illustration	<table border="1" data-bbox="488 1263 1155 1704"> <thead> <tr> <th colspan="2">Logements collectifs</th> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>FE(coll-BBOD)</td> <td>logements collectifs, béton bois géré durablement</td> <td>59</td> <td rowspan="7">kgeqCim²</td> </tr> <tr> <td>FE(coll-BBN0)</td> <td>logements collectifs, béton bois non géré</td> <td>72</td> </tr> <tr> <td>FE(coll-BGOMN)</td> <td>logements collectifs, bois géré durablement et matériaux naturels</td> <td>-13</td> </tr> <tr> <td>FE(coll-BNOMN)</td> <td>logements collectifs, bois non géré et matériaux naturels</td> <td>24</td> </tr> <tr> <td>FE(coll-TC)</td> <td>logements collectifs denses, terre cuite</td> <td>144</td> </tr> <tr> <td>FE(coll-TP)</td> <td>logements collectifs denses, terre et paille</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>FE(coll-B)</td> <td>logements collectifs, briques</td> <td>81</td> </tr> <tr> <th colspan="4">Bâtiments (zones d'activité)</th> </tr> <tr> <td>FE(commerce-B)</td> <td>commerces, maçonnerie/béton</td> <td>150</td> <td rowspan="10">kgeqCim²</td> </tr> <tr> <td>FE(commerce-A)</td> <td>commerces, acier</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>FE(commerce-BBOD)</td> <td>commerces, béton bois géré durablement</td> <td>95</td> </tr> <tr> <td>FE(commerce-BBN0)</td> <td>commerces, béton bois non géré</td> <td>113</td> </tr> <tr> <td>FE(commerce-BGOMN)</td> <td>commerces, bois géré durablement et matériaux naturels</td> <td>-15</td> </tr> <tr> <td>FE(commerce-BNOMN)</td> <td>commerces, bois non géré et matériaux naturels</td> <td>38</td> </tr> <tr> <td>FE(commerces-TC)</td> <td>commerces, terre cuite</td> <td>225</td> </tr> <tr> <td>FE(commerces-TP)</td> <td>commerces, terre et paille</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td>FE(commerces-B)</td> <td>commerces, briques</td> <td>127</td> </tr> <tr> <td>FE(bureau-B)</td> <td>bureaux, maçonnerie/béton</td> <td>128</td> <td rowspan="10">kgeqCim²</td> </tr> <tr> <td>FE(bureau-A)</td> <td>bureaux, acier</td> <td>43</td> </tr> <tr> <td>FE(bureau-BBOD)</td> <td>bureaux, béton bois géré durablement</td> <td>80</td> </tr> <tr> <td>FE(bureau-BBN0)</td> <td>bureaux, béton bois non géré</td> <td>96</td> </tr> <tr> <td>FE(bureau-BGOMN)</td> <td>bureaux, bois géré durablement et matériaux naturels</td> <td>-15</td> </tr> <tr> <td>FE(bureau-BNOMN)</td> <td>bureaux, bois non géré et matériaux naturels</td> <td>32</td> </tr> <tr> <td>FE(bureau-TC)</td> <td>bureaux, terre cuite</td> <td>194</td> </tr> <tr> <td>FE(bureau-TP)</td> <td>bureaux, terre et paille</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td>FE(bureau-B)</td> <td>bureaux, briques</td> <td>109</td> </tr> <tr> <td>FE(ens-B)</td> <td>Enseignement/santé, maçonnerie/béton</td> <td>120</td> </tr> </tbody> </table> <p>Base de données de GES-Urba (Base Carbone)</p>	Logements collectifs				FE(coll-BBOD)	logements collectifs, béton bois géré durablement	59	kgeqCim ²	FE(coll-BBN0)	logements collectifs, béton bois non géré	72	FE(coll-BGOMN)	logements collectifs, bois géré durablement et matériaux naturels	-13	FE(coll-BNOMN)	logements collectifs, bois non géré et matériaux naturels	24	FE(coll-TC)	logements collectifs denses, terre cuite	144	FE(coll-TP)	logements collectifs denses, terre et paille	8	FE(coll-B)	logements collectifs, briques	81	Bâtiments (zones d'activité)				FE(commerce-B)	commerces, maçonnerie/béton	150	kgeqCim ²	FE(commerce-A)	commerces, acier	50	FE(commerce-BBOD)	commerces, béton bois géré durablement	95	FE(commerce-BBN0)	commerces, béton bois non géré	113	FE(commerce-BGOMN)	commerces, bois géré durablement et matériaux naturels	-15	FE(commerce-BNOMN)	commerces, bois non géré et matériaux naturels	38	FE(commerces-TC)	commerces, terre cuite	225	FE(commerces-TP)	commerces, terre et paille	9	FE(commerces-B)	commerces, briques	127	FE(bureau-B)	bureaux, maçonnerie/béton	128	kgeqCim ²	FE(bureau-A)	bureaux, acier	43	FE(bureau-BBOD)	bureaux, béton bois géré durablement	80	FE(bureau-BBN0)	bureaux, béton bois non géré	96	FE(bureau-BGOMN)	bureaux, bois géré durablement et matériaux naturels	-15	FE(bureau-BNOMN)	bureaux, bois non géré et matériaux naturels	32	FE(bureau-TC)	bureaux, terre cuite	194	FE(bureau-TP)	bureaux, terre et paille	9	FE(bureau-B)	bureaux, briques	109	FE(ens-B)	Enseignement/santé, maçonnerie/béton	120
Logements collectifs																																																																																										
FE(coll-BBOD)	logements collectifs, béton bois géré durablement	59	kgeqCim ²																																																																																							
FE(coll-BBN0)	logements collectifs, béton bois non géré	72																																																																																								
FE(coll-BGOMN)	logements collectifs, bois géré durablement et matériaux naturels	-13																																																																																								
FE(coll-BNOMN)	logements collectifs, bois non géré et matériaux naturels	24																																																																																								
FE(coll-TC)	logements collectifs denses, terre cuite	144																																																																																								
FE(coll-TP)	logements collectifs denses, terre et paille	8																																																																																								
FE(coll-B)	logements collectifs, briques	81																																																																																								
Bâtiments (zones d'activité)																																																																																										
FE(commerce-B)	commerces, maçonnerie/béton	150	kgeqCim ²																																																																																							
FE(commerce-A)	commerces, acier	50																																																																																								
FE(commerce-BBOD)	commerces, béton bois géré durablement	95																																																																																								
FE(commerce-BBN0)	commerces, béton bois non géré	113																																																																																								
FE(commerce-BGOMN)	commerces, bois géré durablement et matériaux naturels	-15																																																																																								
FE(commerce-BNOMN)	commerces, bois non géré et matériaux naturels	38																																																																																								
FE(commerces-TC)	commerces, terre cuite	225																																																																																								
FE(commerces-TP)	commerces, terre et paille	9																																																																																								
FE(commerces-B)	commerces, briques	127																																																																																								
FE(bureau-B)	bureaux, maçonnerie/béton	128		kgeqCim ²																																																																																						
FE(bureau-A)	bureaux, acier	43																																																																																								
FE(bureau-BBOD)	bureaux, béton bois géré durablement	80																																																																																								
FE(bureau-BBN0)	bureaux, béton bois non géré	96																																																																																								
FE(bureau-BGOMN)	bureaux, bois géré durablement et matériaux naturels	-15																																																																																								
FE(bureau-BNOMN)	bureaux, bois non géré et matériaux naturels	32																																																																																								
FE(bureau-TC)	bureaux, terre cuite	194																																																																																								
FE(bureau-TP)	bureaux, terre et paille	9																																																																																								
FE(bureau-B)	bureaux, briques	109																																																																																								
FE(ens-B)	Enseignement/santé, maçonnerie/béton	120																																																																																								
Sources	Institut NegaWatt, ADEME ; Base Carbone, Ecoinvent																																																																																									
Echelle	Micro-urbaine																																																																																									
Explicitation de l'impact	> Renvoient à des modes constructifs distincts, et donc à des énergie grise / contenu carbone distincts.																																																																																									

Quantification de l'impact	Pas d'élément global
Analyse critique de l'indicateur	La plupart des outils ACV à l'échelle urbaine prennent en compte cet indicateur.
Outil permettant de calculer l'indicateur [PARTIE 3 OUTILS]	Pleiades ACV Quartier, Sane City, NESTERR, GES-Urba
Bases de données utilisables pour obtenir les données nécessaires au calcul de l'indicateur [PARTIE 4 BASES DE DONNÉES]	Pas de donnée spatiale identifiée

7.2. Densité bâtie

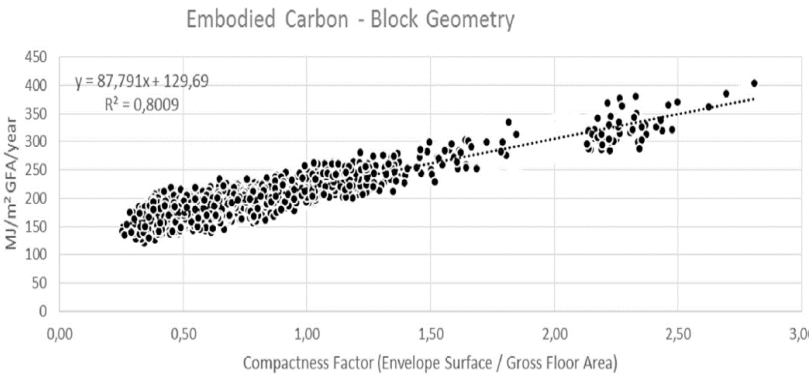
Voir plus haut, indicateur déjà évoqué à partir des consommations de transport.

Définition de l'indicateur	La surface de plancher (m ²) rapportée à la surface du quartier ou de la zone urbaine peut être mise en relation avec le poids carbone du bâti et des infrastructures et réseaux.
Illustration	<p>Figure 43 Comparaison du contenu carbone du tissu peu dense avec celui d'un tissu dense, Norman, 2006</p>
Sources	Marry et Arantes, 2013, Norman, 2006
Echelle	Micro-urbaine
Explicitation de l'impact	> Contenu carbone, énergie grise des formes urbaines denses par rapport aux formes peu denses en lien avec les infrastructures nécessaires pour le même nombre d'habitants
Quantification de	Pas de données solides sur la qualification de l'impact

l'impact	
Analyse critique de l'indicateur	Encore peu d'études sur ce sujet
Outil permettant de calculer l'indicateur [PARTIE 3 OUTILS]	Pleiades ACV ; Sane City (indirectement) GES-URBA
Bases de données utilisables pour obtenir les données nécessaires au calcul de l'indicateur [PARTIE 4 BASES DE DONNES]	BD topo (IGN)

7.3. Compacité surfacique

Voir plus haut, indicateur déjà évoqué à partir des consommations du bâti.

Définition de l'indicateur	La compacité surfacique correspond à la surface d'enveloppe (m ²) / surface de plancher (m ²)
Illustration	 <p>Figure 44 Lotteau, 2017 relations entre compacité et contenu carbone</p>
Sources	Lotteau, 2017
Echelle	Micro-urbaine
Explicitation de l'impact	> Relation entre compacité et contenu carbone du bâtiment.
Quantification de l'impact	Pas de données solides sur la quantification de l'impact
Analyse critique de l'indicateur	Encore peu d'études sur ce sujet

Outil permettant de calculer l'indicateur [PARTIE 3 OUTILS]	Développement futur de NESTTERR Pleiades ACV ; Sane City (permet de le calculer indirectement)
Bases de données utilisables pour obtenir les données nécessaires au calcul de l'indicateur [PARTIE 4 BASES DE DONNES]	BD topo (IGN)

7.4. Nombre d'étages du bâtiment

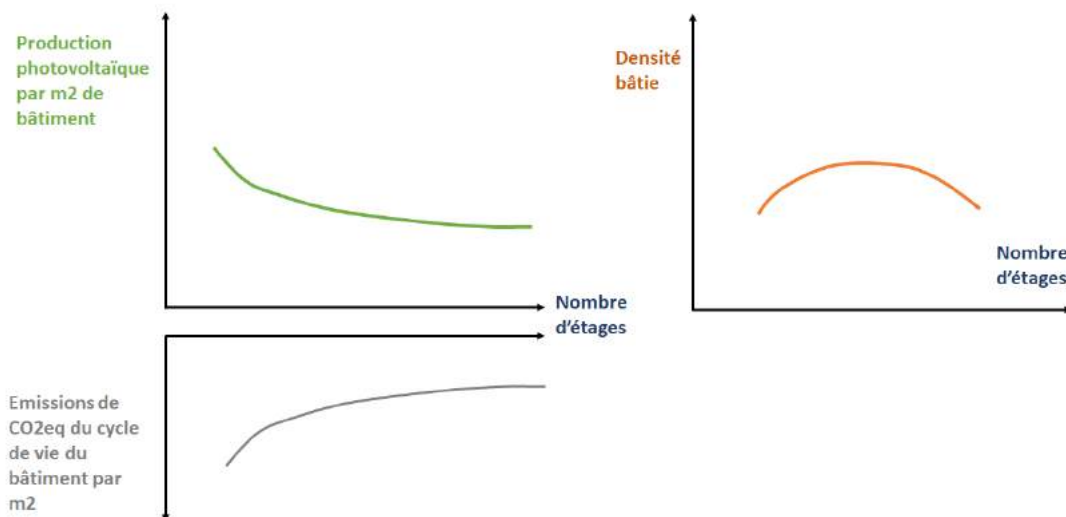
Définition de l'indicateur	L'augmentation du nombre d'étages, toutes choses égales par ailleurs, entraîne une réduction des émissions de gaz à effet de serre associée au cycle de vie du bâtiment rapportée à la surface utile du bâtiment.
Illustration	<p>Figure 45 Simulation des émissions de gaz à effet de serre en fonction du nombre d'étages à plan de masse et matériaux égaux (hors production EnR) - source ENERTECH 2019</p>
Sources	ENERTECH, 2019 ; Arantes et al. 2016,
Echelle	Micro-urbaine, s'analyse à l'échelle de chaque bâtiment ou par typologie de tissu urbain (hauteur moyenne)
Explicitation de l'impact	Lien entre le nombre d'étages et le contenu carbone du bâtiment. Cette indicateur est aussi pertinent pour la productivité des toitures.
Quantification de l'impact	Pas de donnée solide sur la qualification de l'impact
Analyse critique de l'indicateur	Dimension clé de la forme urbaine
Outil permettant de calculer	NESTTERR (dans un développement futur) Pleiades ACV ; Sane City (indirectement)

l'indicateur [PARTIE 3 OUTILS]	
Bases de données utilisables pour obtenir les données nécessaires au calcul de l'indicateur [PARTIE 4 BASES DE DONNÉES]	BD topo (IGN)

Éléments complémentaires pour l'analyse de cet indicateur :

L'augmentation du nombre d'étages n'est pas nécessairement synonyme d'augmentation de la densité bâtie. La figure ci-dessous est une représentation schématique visant à synthétiser les tendances observées reliant le nombre d'étages à plusieurs caractéristiques des formes urbaines.

Le nombre d'étages du bâtiment a des conséquences sur les capacités d'un bâtiment à être à énergie positive c'est à dire produire plus d'énergie qu'il n'en consomme. Pour une même surface de toit la production de photovoltaïque rapportée à la surface utile du bâtiment diminue avec le nombre d'étages (R+1, R+2, etc.).



L'ADEME réalise une étude intitulée "Prospective énergie matière : scénarisation des niveaux de production industrielle à 2030 - 2050" s'appuyant sur les expertises de l'Institut négaWatt de Solagro et d'Enertech.

- 9 matériaux analysés
- Distinction des typologies de bâtiment : construction neuve et rénovation (maison individuelle / logement collectif / tertiaire)
- Distinction des ouvrages de travaux publics (routes, voies ferrées, ouvrages d'art, VRD, divers)
- Modélisation des consommations de matériaux pour les EnR


8. Les indicateurs des sols vivants : stock carbone, production alimentaire, production de biomasse EnR

Quelques ordres de grandeur:

1,4 à 5,5 Mteq CO₂/an liés à l'artificialisation en fonction des bases de données utilisées soit entre 0.4% et 2,6 % des émissions actuelles

En 2050: environ 0 si "0 artificialisation nette"

8.1. Type d'occupation du sol

Définition de l'indicateur	Occupation des sols : zones artificialisées, zones cultivées, zones naturelles, avec possibilité de catégorisation plus fine
Illustration	 <p>Couche SIG EVA, Métropole de Lyon</p>
Sources	M. Bernoux, GESSOL; ADEME (ALDO); Solagro
Echelle	Indicateur macro-urbain + micro-urbain si accès à des données d'occupation des sols fines
Explicitation de l'impact	<p>> Les sols ont une capacité variable de stockage du carbone. Toute variation négative ou positive de ces stocks, même relativement faible, peut influencer sur les émissions de gaz à effet de serre. Les forêts ont également une capacité productive variable de biomasse EnR. La localisation des surfaces agricoles impacte également le transport des denrées alimentaires.</p> <p>Le développement des surfaces artificialisées au détriment d'espaces naturels ou cultivés se traduit par une baisse importante du stock de carbone des sols concernés ainsi que par la destruction de la biomasse en place, soit un flux d'émissions de GES.</p>
Quantification de l'impact	D'après les estimations réalisées par SOLAGRO, 1,4 Mteq CO ₂ /an liées à l'artificialisation sur la base de CLC, 5,5 Mteq sur la base de Teruti Lucas


	Poids du secteur aujourd'hui : 0,4% (CLC) ou 1,6 % (Teruti Lucas)
Analyse critique de l'indicateur	Indicateur assez simple à scénariser à l'échelle macro avec une trajectoire nationale "0 artificialisation" précise
Outil permettant de calculer l'indicateur [PARTIE 3 OUTILS]	ALDO (ADEME) en première approche, mais à alimenter avec des données plus fines que les données Corine Land Cover, dont les mailles de 25 ha ne permettent pas de quantifier nettement l'artificialisation
Bases de données utilisables pour obtenir les données nécessaires au calcul de l'indicateur [PARTIE 4 BASES DE DONNES]	CLC2006-2012 en base sur l'outil ALDO, mais données modifiables

8.2. Part de pleine terre des espaces urbanisés

Définition de l'indicateur	= Surface des espaces verts en pleine terre / surface totale de la zone Pleine terre = absence d'ouvrage en sous-sol OU les éventuels ouvrages existants ou projetés ne portent pas préjudice à l'équilibre pédologique du sol et permettent le raccordement du son sous-sol à la nappe phréatique
Illustration	 <p>TRIBU, 2014</p>
Sources	M. Robert ; ADEME ALDO
Echelle	Micro-urbain
Explication de	> Renseigne le potentiel théorique de végétalisation et de pleine terre d'une ville,

l'impact	<p>d'un quartier ou d'un îlot, permettant d'accroître le stockage carbone intra-urbain et la production de biomasse EnR</p> <p>Les sols de pleine terre stockent du carbone dans leur couche superficielle. Lors de l'artificialisation, il y a un processus de déstockage. En fonction de l'usage du sol de pleine terre, il peut y avoir différents niveaux de stockage (assez peu dans un jardin ou un parc entretenu, bien plus si on laisse se développer une prairie naturelle ou en boisant ces espaces).</p>
Quantification de l'impact	<p>Impact mineur aujourd'hui, au regard des volumes de pleine terre à l'échelle nationale mais levier intéressant dans les milieux urbains</p> <ul style="list-style-type: none"> • Variation maximale observée : En première approche, 0 à 40 % des émissions liées à l'artificialisation, donc un maximum de 0,61% (si on passe de 80% d'imperméabilisation à 50 % sur la base des données Teruti Lucas) • Score (produit de la variation max et de la part de la consommation totale actuelle) : 0,2
Analyse critique de l'indicateur	Indicateur très basique cachant d'importantes nuances non précisées. Etudier les possibilités de "désimperméabilisation" d'espaces
Outil permettant de calculer l'indicateur <i>[PARTIE 3 OUTILS]</i>	Pléiades ACV Quartier,
Bases de données utilisables pour obtenir les données nécessaires au calcul de l'indicateur <i>[PARTIE 4 BASES DE DONNES]</i>	Corine Land Cover 2006-2012 en base sur l'outil ALDO, mais données non suffisantes pour appréhender l'artificialisation. Rapport de près d'1 à 4 entre CLC et Teruti Lucas.

8.3. Volume de biomasse urbaine

Définition de l'indicateur	m3 d'arbres en ville et des prairies naturelles urbaines, rapportés à la surface totale de la zone
Illustration	 <p>Boisements intra-urbains, BD Topo INSEE, traitement TRIBU</p>
Sources	Davies et al, 2011; OCDE, 2007; Zhao et al, 2010; Nowak et Crane, 2002; Boudes, Gutleben et Provendier, 2014
Echelle	Micro-urbaine
Explication de l'impact	<p>> Renseigne sur:</p> <ul style="list-style-type: none"> - la séquestration carbone liée à des plantations d'arbres en ville ou des prairies naturelles urbaines - la production de biomasse EnR en zones urbaines <p>> Autre impact corrélé : atténuation de la surchauffe urbaine</p> <p>La plantation et la croissance des arbres permet d'augmenter la quantité de carbone stockée dans la biomasse, jusqu'au remplacement de l'arbre. En phase de croissance du nombre d'arbre et de croissance des individus, il y a un phénomène de stockage, jusqu'à l'équilibre du peuplement.</p>
Quantification de l'impact	Marginal aujourd'hui.
Analyse critique de l'indicateur	L'impact carbone de l'intégration de la végétation dans la forme micro-urbaine est encore peu documenté, et pose de réelles difficultés en termes de caractérisation tant les formes du végétal urbain peuvent être différentes. (Boudes, 2014)
Outil permettant de calculer l'indicateur <i>[PARTIE 3 OUTILS]</i>	Pour la traduction du volume de biomasse donc en capacité de production bois-énergie et de stocker du carbone : outil Arboclimat (ECIC), valeur exprimée en MWh/ha ou TeqCO2 Arbo Climat à faire évoluer, utilisation possible sur toutes les échelles

<p>Bases de données utilisables pour obtenir les données nécessaires au calcul de l'indicateur <i>[PARTIE 4 BASES DE DONNES]</i></p>	<p>INSEE BD Topo (données SIG échelle nationale)</p>
--	--

Éléments complémentaires pour l'analyse de cet indicateur :

L'impact carbone de l'intégration de la végétation dans la forme micro-urbaine est encore peu documenté, et pose de réelles difficultés en termes de caractérisation tant les formes du végétal urbain peuvent être différentes. Philippe Boudes, Caroline Gutleben et Damien Provendier proposent une synthèse des publications internationales sur le sujet (La ville verte, Les impacts du végétal en ville, ed Quae, 2014) et documentent l'impact positif en termes de bilan carbone de la végétation urbaine par la capacité de séquestration de la biomasse, arborée principalement.

La complexité du sujet tient à des variables d'ordres très divers :

- La morphologie du végétal, très variable entre les parcs urbains, les jardins, les arbres de rue, les espaces de forêt urbaine, etc
- La difficulté d'intégrer la dynamique du cycle de la végétation (renouvellement par plantations, stade de croissance, mortalité, valorisation de la biomasse en fin de vie...)
- La complexité de caractérisation des émissions induites par la plantation et la gestion de ces espaces, et de manière indirecte des émissions qu'elles pourraient générer (pratiques de loisirs associées...)

Conclusion : une liste limitée d'indicateurs à retenir

À la suite du recensement des indicateurs qui relie la forme urbaine aux enjeux énergie-carbone, nous proposons une sélection basée sur les critères suivants :

- descripteurs de la forme urbaine les plus déterminants en termes d'impact énergie/carbone (% des consommations ; nombre de "secteurs" impactés) ;
- convergence des études et recherches sur cet indicateur ;
- lien avec des outils existants ;
- facilité de calcul ;
- accès aux données sources ;
- prise en compte d'impacts peu ou mal pris en compte jusqu'ici (stock carbone ; énergie grise) ;
- leviers de scénarisation (potentiels EnR, actions de sobriété et d'efficacité énergétique...).

La sélection de 14 indicateurs est décrite dans le tableau ci-dessous :

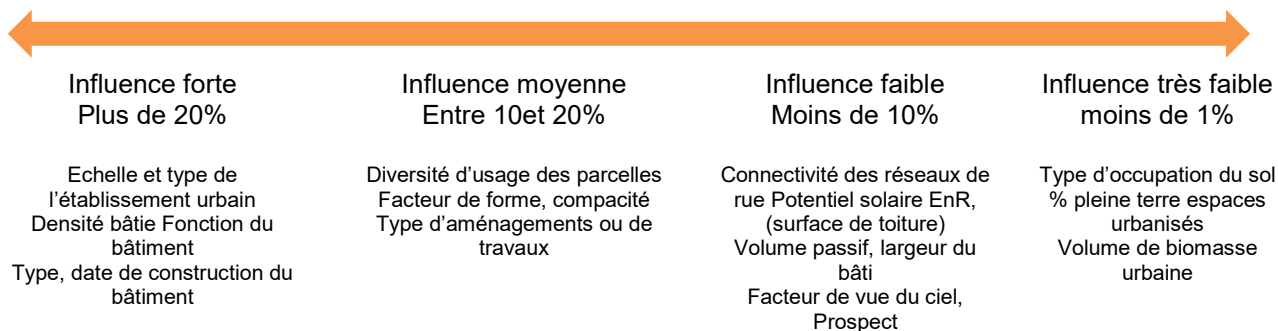
Tableau 4 Sélection des indicateurs, TRIBU

		Bâti (énergie d'usage)	Transports personnes	Transport marchandises	Construction (énergie grise)	Production EnR	Réseaux, RCU, smart grid	Stock carbone
Echelle et type de l'établissement urbain	Macro	flot de chaleur	mobilité					
Densité bâtie	Micro				impact longueur infrastructures		possibilité réseaux énergétiques	
Diversité d'usage des parcelles	Micro		mixité = moins de mobilité				mixité = mutualisation, foisonnement	
Connectivité des réseaux de rue	Micro							
Fonction du bâtiment	Micro							
Facteur de forme, compacité	Micro							
Type, date de construction du bâtiment	Micro							
Type d'aménagements ou de travaux	Micro							
Volume passif, largeur du bâti	Micro	éclairage naturel						
Facteur de vue du ciel, Prospect (ratio hauteur / largeur)	Micro	flot de chaleur éclairage naturel ensoleillement						
Potentiel solaire EnR, (surface de toiture)	Micro					production EnR		
Type d'occupation du sol	Micro					biomasse EnR		
% pleine terre espaces urbanisés	Micro							services écosystémiques rendus par la nature
Volume de biomasse urbaine	Micro							

Nous avons tenté d'organiser ces 14 indicateurs selon leur influence sur les paramètres énergie carbone mais aussi sur les leviers les plus opérationnels et à court-terme de modification de la forme urbaine.

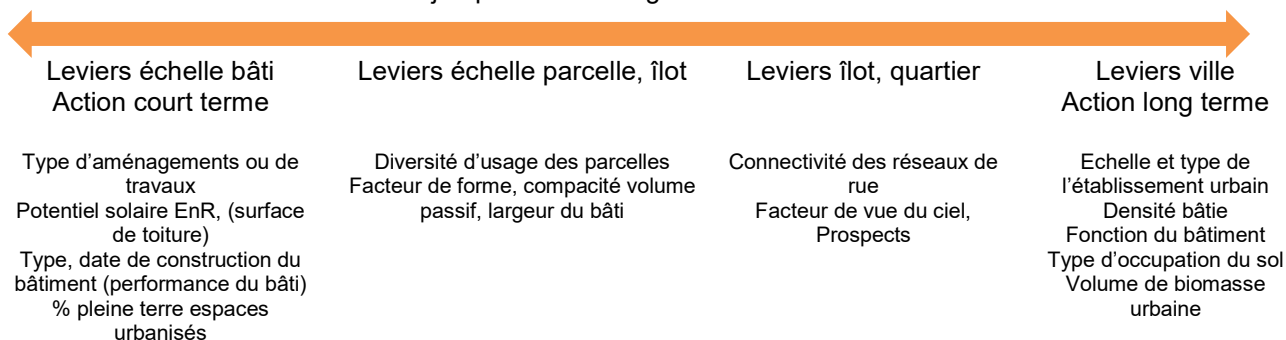
Les plus influents en matière énergie - carbone

Nous avons choisi des indicateurs ayant un impact important en matière énergie-carbone mais aussi des indicateurs ayant un impact plus faible mais qui présentent d'autres intérêts.



Les leviers dans le cadre des scénarios prospectifs

Le choix des indicateurs s'est aussi attaché à prendre en considération la capacité de jouer sur les leviers à court-terme à l'échelle des bâtiments jusqu'au levier long-terme à l'échelle des territoires.



Identification des interactions avec les autres enjeux

Les indicateurs choisis ont aussi des interactions avec d'autres enjeux environnementaux et sociaux-économiques. Le tableau ci-après tente d'identifier les interactions avec les autres thématiques : les cases en vert foncé mettent en avant une interaction directe avec l'enjeu et les cases en vert clair mettent en avant une interaction indirecte.

PARTIE 3 : LES OUTILS D'ÉVALUATION DES IMPACTS ÉNERGIE-CARBONE DES FORMES URBAINES

Objectif

En parallèle de l'identification des indicateurs les plus déterminants en termes énergie carbone, il s'agit de recenser les outils qui mettent en lien forme urbaine et énergie carbone afin d'identifier les indicateurs pris en compte dans les modèles en lien avec les données géographiques nécessaires. Cette étude croisée et itérative alimentera finalement la question de l'intégration d'une nouvelle brique « forme urbaine » dans l'outil de scénario de l'ADEME.

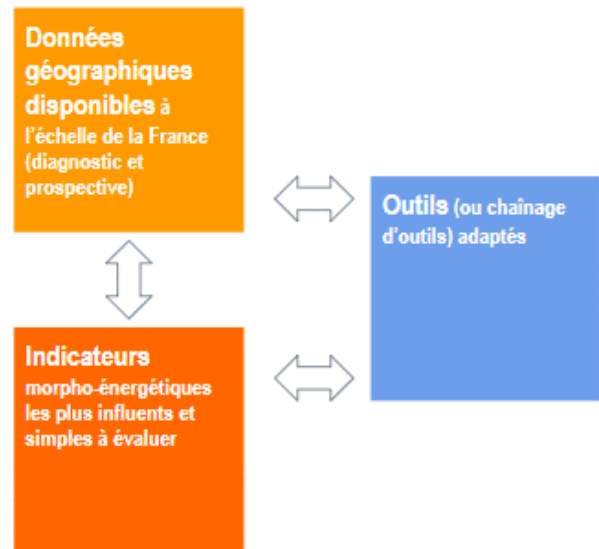
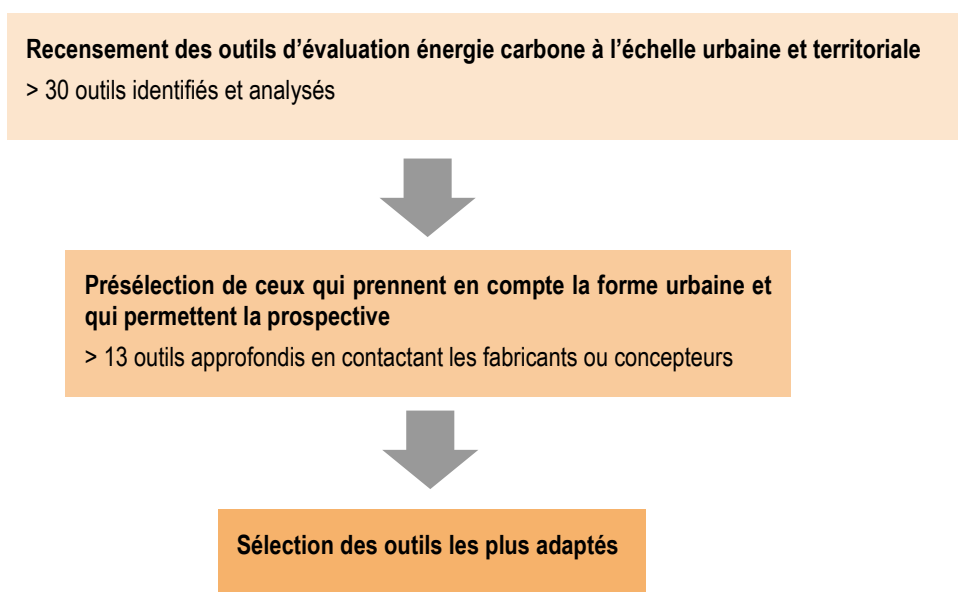


Figure 47 Méthode d'analyse croisée, TRIBU

Méthode

Nous avons recensé dans un premier temps les outils susceptibles de répondre à l'enjeu de l'étude sur la base des documents d'état de l'art déjà effectués et les projets de recherche en cours.

Ensuite, nous avons présélectionné une dizaine d'outils, en contactant les fabricants ou concepteurs afin de mieux connaître leur contenu. Enfin, nous avons sélectionné les outils à privilégier pour compléter la modélisation de l'ADEME sur le volet formes urbaines.



1. Vision synoptique des outils

1.1. Principe des outils étudiés

Il existe un grand nombre d'outils destinés à évaluer les impacts énergie et/ou carbone à l'échelle urbaine. Développés dans le cadre opérationnel, les outils étudiés répondent soit à des objectifs distincts de planification énergétique territoriale, soit à des attentes de conception urbaine à haute performance environnementale (notamment par analyse de cycle de vie), soit des modèles pour la recherche.

Ils intègrent plus ou moins des éléments de description de la forme urbaine selon leur objectif, leur échelle et leur résolution d'analyse.

Le principe commun d'un outil est qu'ils nécessitent systématiquement de données d'entrée, un moteur de calcul et des sorties avec des grandeurs physiques.

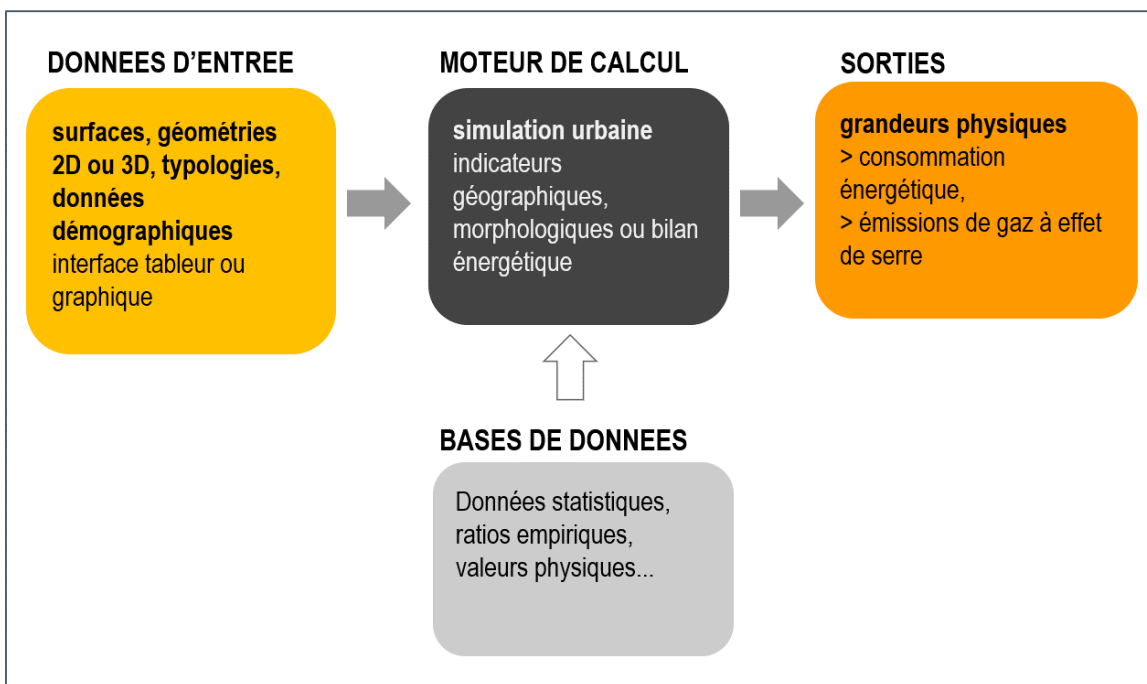


Figure 49 Principe des outils, schéma TRIBU

Le recensement a mis en évidence une trentaine d'outils avec des développements orientés opérationnels ou recherches, systématiquement adaptés à une échelle de territoire donnée.

Outils commercialisés :

- Pléiades ACV Quartier (projet ARIADNE, NovaEquer), IZUBA
- ForCity (projet MUG)
- ArboClimat, ECIC
- Artelys Crystal City (projet ISEUT)
- SaneCity (projet SERVEAU)
- INDICATE, IES Virtual Environment

Outils publics à destination des collectivités :

- Energif ROSE, Simaurif, IAU IDF
- ALDO, ADEME
- TERRistory, AURAE
- GES-Urba, GES-OpAm, GES- SCOT, GES PLU (lien avec Bilan Carbone Territoire, OPEN4)

Outils propriété de bureaux d'études :

- ProspEner, Equitee, Opportunitee, Burgeap
- NEST-TERR (lien avec NEST), Nobatek-INEF4
- ForCity
- DiagFlash DESTINATION TEPOS
- PROSPER, ENERTER, BENTO, Energies Demain
- Alter, Aere
- Arboclimat, ECIC

Outils open-source :

- Open eQuarter (DE)
- Urbansim (US)
- CURB (UK)
- Météor, WattStratt

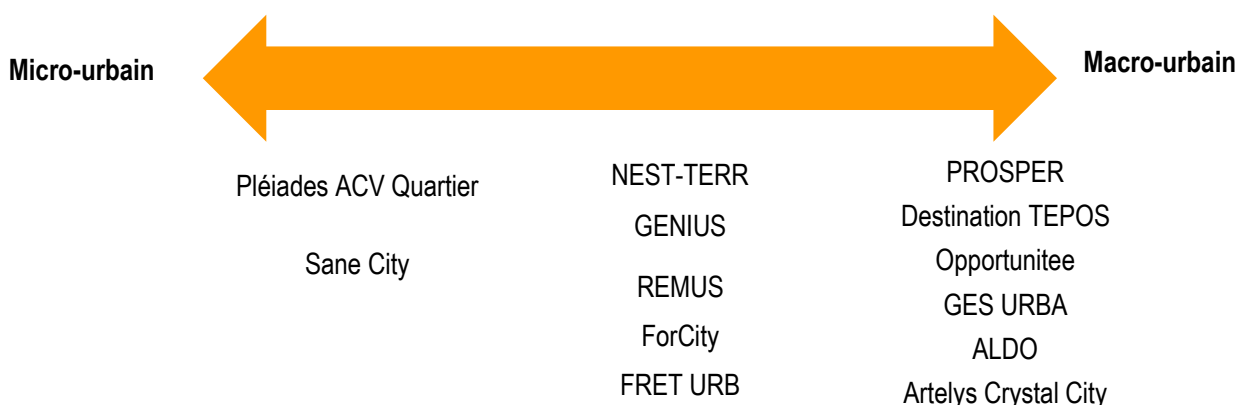
Outils orientés recherche :

- GENIUS, MAPUCE, LRA
- REMUS
- CitySIM, EPFL
- Solene-Microclimat, CRENAU
- TRANUS (IT)
- EMSURE
- SynCity
- MEU, Management Energétique Urbain, EPFL

1.2. Sélection des 13 outils : une diversité d'échelles et de résolution

Les outils du micro-urbain ont une résolution détaillée de la forme urbaine alors que les outils macro-urbains prennent en compte les données mobilité uniquement.

résolution > approche 3D, par bâtiment à l'approche 2D, cartographique ou surfaces par zone
échelle > par îlot, quartier à l'échelle zone IRIS, ville, EPCI, territoire



2. Analyse détaillée des outils

Ne sont ici détaillés que les outils identifiés comme étant les plus pertinents pour notre étude. En annexe, le lecteur trouvera le reste des outils identifiés, mais n'ayant pas fait l'objet d'une analyse détaillée.

Pléiades ACV Quartier

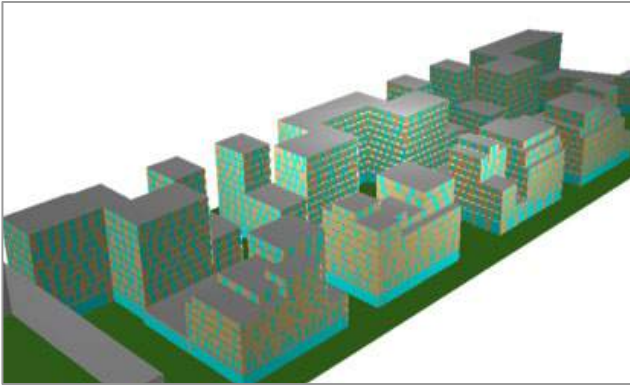


Figure 51 Vue du modèle de l'îlot Confluence, projet ARIADNE

Développement : IZUBA (logiciel commercialisé), Ecole des Mines (Bruno PEUPOORTIER)
Echelle : micro-urbaine (quartier, îlot)
Saisie : géométrie 3D
Modèle : simulation thermique dynamique et ACV
Base des données GES : Ecoinvent recalé au contexte français
Conditions d'usage/commercialisation : Commercialisé.

Description :

Développé sous le nom NovaEquer et amélioré avec le projet ARIADNE, il découle de l'outil ACV Equer destiné au bâtiment en y intégrant les espaces extérieurs (infrastructures, mobilité, espaces verts...).

Pléiades ACV Quartier permet l'évaluation des impacts environnementaux (ACV) des quartiers, la comparaison de variantes de projets de quartiers.

Potentiel de calcul des indicateurs et secteurs pris en compte :

Bâti (énergie d'usage)	Transports personnes	Transport marchandises	Construction (énergie grise)	Production ENR	Réseaux, RCU, smart grid	Stock carbone
Compacité Fonction du bâtiment	Taille de l'aire urbaine	Pas pris en compte	Type d'aménagements ou de travaux	Potentiel solaire EnR, (surface de toiture)	Pas prise en compte	Artificialisation des sols

Sorties de l'outil :

Indicateur de sortie de l'outil : les 12 indicateurs de l'ACV, consommations en énergie finale, en énergie primaire, émissions de gaz à effet de serre, impact sur la biodiversité, la qualité des eaux...

Remarques :

L'outil est très détaillé et ne peut traiter qu'une échelle îlot, quartier. L'outil ne peut pas être directement utilisé pour un scénario national. Les développeurs sont ouverts à une adaptation de l'outil à des échelles plus larges en partenariat avec l'ADEME.

Sane City



Développement : projet de recherche SERVEAU (TRIBU, EIVP, CDI technologies, MA-GEO, Ixasane)

Echelle : micro-urbaine (îlot, quartier)

Saisie : 3D

Modèle : simulation thermique, bilan énergétique global, ACV

Base des données GES : Ecoinvent

Conditions d'usage/commercialisation : Commercialisé

Description :

SERVEAU : Simulation, Evaluation et Réduction de la Vulnérabilité Énergétique des Aménagements Urbains
Elaboré dans le cadre d'un Projet de recherche Advancity, c'est un outil de bilan énergétique global d'un projet d'extension ou de rénovation urbaine basé sur une modélisation 3D qui prend en compte l'empreinte énergétique des bâtiments, des équipements techniques des espaces publics, des réseaux techniques, du transport des biens et de la mobilité des personnes.

Potentiel de calcul des indicateurs et secteurs pris en compte :

Bâti (énergie d'usage)	Transports personnes	Transport marchandises	Construction (énergie grise)	Production EnR	Réseaux, RCU, smart grid	Stock carbone
Compacité Fonction du bâtiment	Taille de l'aire urbaine	Pas pris en compte	Type d'aménagements ou de travaux	Potentiel solaire EnR, (surface de toiture)	Pas prise en compte	Pas pris en compte

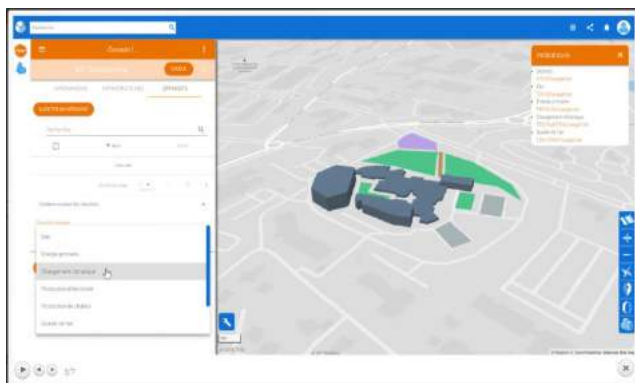
Sorties de l'outil :

Indicateur de sortie de l'outil : consommation en énergie finale, primaire

Remarques :

L'outil est très détaillé et ne peut traiter qu'une échelle îlot, quartier. L'outil ne peut pas être directement utilisé pour un scénario national.

NEST-TERR



Développement : Nobatek-INEF4 (logiciel commercialisé avec prestation),
Echelle : micro-urbaine
Saisie : 3D (plugin sketchup)
Modèle : simulation thermique, bilan énergétique global, ACV
Base des données GES : Ecoinvent, données internes pour les indicateurs
Conditions d'usage/commercialisation : outil commercialisé à destination des collectivités

Description:

NEST "Neighborhood Evaluation for Sustainable Territories" un outil numérique sur la base de résultats quantitatifs basé en grande partie sur la méthodologie d'Analyse en Cycle de Vie (ACV) impacts environnementaux des opérations d'aménagement, en lien avec le logiciel Sketchup.

NEST-TERR est un développement de l'outil d'évaluation de la durabilité urbaine NEST à l'échelle du territoire, cet outil est en développement (Modeval Urba 2015-2018.) avec un test en cours sur Eurométropole de Strasbourg.

Actuellement NEST-TERR ne prend pas en compte la forme urbaine, mais dans le futur, cet outil intégrera des indicateurs de forme urbaine et ACV, suite une thèse effectuée par de Marc Lotteau au sein de Nobatek.

Potentiel de calcul des indicateurs et secteurs pris en compte :

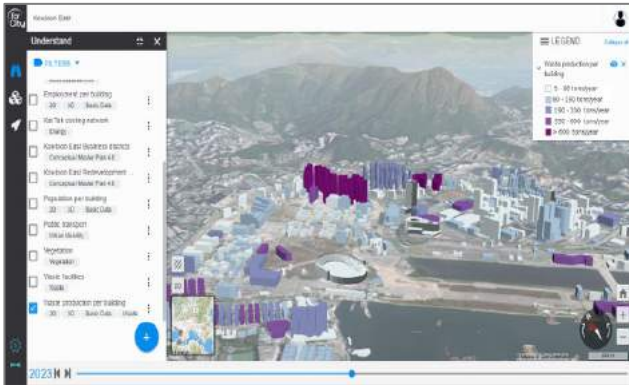
Bâti (énergie d'usage)	Transports personnes	Transport marchandises	Construction (énergie grise)	Production ENR	Réseaux, RCU, smart grid	Stock carbone
Fonction du bâtiment Compacité (développement en cours)	Taille de l'aire urbaine	Pas pris en compte	Compacité développement en cours	Potentiel solaire EnR, (surface de toiture)	Pas prise en compte	Artificialisation des sols

Sorties de l'outil :

Indicateur de sortie de l'outil : indicateurs de l'ACV, énergie et GES

Remarques :

L'outil ne peut pas être directement utilisé pour un scénario national. Les développeurs sont ouverts à une adaptation de l'outil à des échelles plus larges en partenariat avec l'ADEME.



Développement : ForCity (start-up, logiciel commercialisé avec prestation pour prise en main)
Echelle : outil allant du micro-urbain au macro-urbain
Saisie : 2,5D
Modèle : LUTI (occupation du sol et transport)
Base des données GES : Absente, doit être développée
Conditions d'usage/commercialisation : commercialisé

Description :

Projet ayant un financement Advancity, cet outil développé par une startup. Il s'agit d'une plateforme de simulation spatiale sur lequel on peut greffer différents processus linéaires (déplacements) ou réticulaires (réseaux). Les porteurs de l'outil insistent sur le caractère flexible et adaptable de la plateforme pour prendre en charge de nombreux raisonnements de modélisation et de simulation. Ils envisagent de continuer à y intégrer de nouveaux modules et fonctionnalités pour répondre aux besoins des acteurs publics et privés des territoires.

Plusieurs logiciels dédiés à des secteurs différents

- développement de réseaux de chaleur
- gestions des déchets
- distribution d'eau potable
- déménagement d'entreprises (données INSEE, IGN, cadastre, etc.)

Potentiel de calcul des indicateurs et secteurs pris en compte :

Bâti (énergie d'usage)	Transports personnes	Transport marchandises	Construction (énergie grise)	Production ENR	Réseaux, RCU, smart grid	Stock carbone
Pas pris en compte	Pas pris en compte	Pas pris en compte	Pas prise en compte	Pas prise en compte	Pas pris en compte	Pas pris en compte

Sorties de l'outil :

Indicateur de sortie de l'outil : pas de sortie énergie-carbone

Remarques :

Cet outil n'est pas développé pour travailler les impacts énergie-carbones de l'urbain, mais le modèle de calcul est très adaptable. L'outil ne peut pas être directement utilisé pour un scénario national. Les développeurs sont ouverts à une adaptation de l'outil à des échelles plus larges en partenariat avec l'ADEME.

GES-URBA (GES PLU et GES SCOT)

Développement : CEREMA

Echelle : macro-urbaine

Saisie : tableur numérique

Modèle : basé sur données statistiques

Base des données GES : INSEE, BDD EMD unifiée

CEREMA Ouest, BASE CARBONE

Conditions d'usage/commercialisation : public gratuit dès juin 2019

Description :

Modèle simplifié, vise à apporter un éclairage rapide sur l'impact en termes d'émissions de GES d'orientations prises en matière de planification territoriale. Cet outil fait suite à l'approche Bilan carbone Territoire. Actuellement commercialisés (prix bas), ces outils redéfinis, assemblés en un et seront en 2019 disponibles en open-source.

Potentiel de calcul des indicateurs et secteurs pris en compte :

Bâti (énergie d'usage)	Transports personnes	Transport marchandises	Construction (énergie grise)	Production ENR	Réseaux, RCU, smart grid	Stock carbone
Fonction du bâtiment Type de bâtiment simplifié (collectif, individuel)	Taille de l'aire urbaine	Pas pris en compte	Type de travaux	Pas prise en compte	Pas prise en compte	% végétal

Sorties de l'outil :

Indicateur de sortie de l'outil : GES, développement en cours pour la partie énergie

Remarques :

Intérêt : Articulation des typologies macro-urbaines de l'INSEE avec des BDD sur la mobilité des personnes et le trafic de marchandises (modèle FRET-URB)

Fusion des outils PLU et SCOT (GES urba) en cours, l'outil est potentiellement utilisable à l'échelle nationale. Dans ses développements, l'outil proposera des valeurs absolues en valeurs énergétiques et GES.

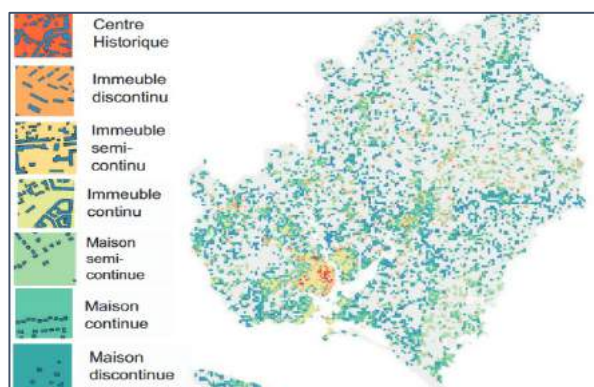
Retour sur l'utilisation de l'outil GES PLU pour l'étude ADEME 2016 "Densité et formes urbaines"

Les auteurs de cette étude ont cherché à évaluer quantitativement les conséquences en termes d'évolution des émissions de gaz à effet de serre en fonction de scénarios contrastés d'évolution des formes urbaines.

Les points saillants de cet exercice par rapport au besoin de notre étude sont les suivants :

- "Une des limites de l'outil est de ne présenter que le gain annuel permis par les politiques mises en oeuvre et pas le bilan des émissions en valeur absolue."
- L'hypothèse de conservation de la répartition des émissions de GES entre maintenant et 2050 est hautement questionnable au regard des exercices prospectifs du scénario négaWatt ou d'AFTERRE 2050
- Aucun des scénarios étudiés n'arrive à contenir la poursuite de l'artificialisation des sols
- L'outil GES PLU ne considère pas les enjeux liés à l'agriculture et à l'industrie manufacturière. Si l'on peut effectivement considérer que ces deux thématiques sont difficiles à encadrer par un document de planification, elles ont une incidence sur les formes urbaines et représentent une part importante (44 %) des émissions de gaz à effet de serre.
- "Il est nécessaire de penser les problématiques de transformation durable du territoire depuis la grande échelle (le territoire) vers la petite échelle (le bâtiment)"

Artelys Crystal City



Développement : Artelys

Echelle : outil allant du micro au macro-urbain

Saisie : 2D

Modèle : outil cartographique de modélisation de la demande énergétique et carbone à pas de temps horaire, SDE des collectivités, échelle IRIS

Base des données GES : énergie

Conditions d'usage/commercialisation : Commercialisé

Description :

Artelys Crystal City est un outil d'aide à la décision pour la stratégie énergétique des collectivités. Dans le cadre du Projet ADEME ISEUT, Interaction des Stratégies Énergétiques et Urbaines Territoriales Coordinateur avec Artelys Partenaires du projet: E.A.U - Lorient Agglomération - HESPUL - AudéLor, un travail plus spécifique sur les formes urbaines a été effectué. En se basant sur un découpage zones IRIS de l'INSEE* / Couche BD Topo, des typologies de consommateurs détaillées (typologies résidentielles par maison/immeuble et âge du bâtiment, 8 typologies tertiaires, industrie, transports par mode de transport, agriculture, éclairage public...). Ces enseignements n'ont pas été intégrés dans leur totalité dans l'outil.

Potentiel de calcul des indicateurs et secteurs pris en compte :

Bâti (énergie d'usage)	Transports personnes	Transport marchandises	Construction (énergie grise)	Production ENR	Réseaux, RCU, smart grid	Stock carbone
Fonction du bâtiment	Pas prise en compte	Pas prise en compte	Pas prise en compte	Potentiel solaire EnR, (surface de toiture)	Diversité des usages Densité énergétique	Pas prise en compte

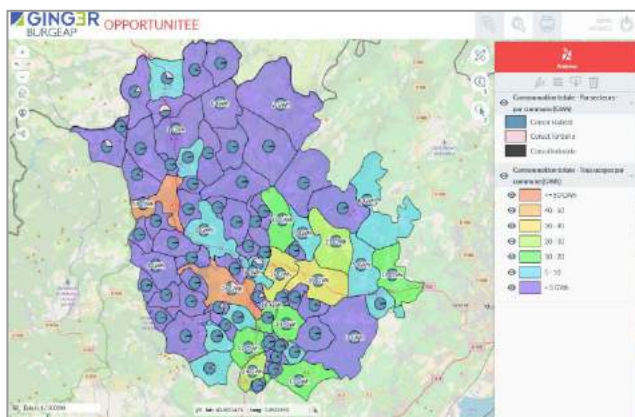
Sorties de l'outil :

Indicateur de sortie de l'outil : GES + Energie

Remarque :

Cet outil utilisé sur 24 métropoles et villes moyennes en France pour établir une stratégie énergétique à l'échelle du territoire. Cet outil pourrait être utilisé à l'échelle nationale en tant que tel.

Opportunitee



Développement : Ginger Burgeap

Echelle : macro-urbaine (au "local", infra bâtiment, restitution à la parcelle)

Saisie : 2D + relief et hauteur de bâtiments

Modèle : stratégie énergétique à l'échelle urbaine, inclut une composante cadastre solaire.

Base des données : données réelles, Une centaine de BD incluses dans l'outil, parfois à réintroduire car besoin de conventions (BD Topo, base Magic, Cadastre eligeo)

Conditions d'usage/commercialisation : Commercialisé dans le cadre d'une mission, puis transmission des bases de sortie de résultat compatibles avec des outils open data (sans contrainte de propriété). La contrainte de propriété réside dans l'interface, commercialisée avec un forfait maintenance-actualisation exclusivement par Burgeap (+Business Geographic, développeur).

Description:

OPPORTUNITEE prend la suite de l'outil Equitee, développé de 2010 à 2014 et qui intégrait uniquement les consommations d'énergie, avec une modélisation minimale à l'Iris (fin d'exploitation programmée en 2019). Dans Opportunitee, le niveau d'analyse descend au bâtiment (voire au local) et intègre des données de production, de distribution et d'émissions de GES. L'outil permet le suivi et l'évaluation des SCoT ce qui lui confère un intérêt de mise en lien des aspects énergie et forme urbaine. Plusieurs pistes de développement sont en cours (analyse multicritère risque inondation, adaptation au changement climatique y compris ICU, développement du volet prospective)

Potentiel de calcul des indicateurs et secteurs pris en compte :

Bâti (énergie d'usage)	Transports personnes	Transport marchandises	Construction (énergie grise)	Production ENR	Réseaux, RCU, smart grid	Stock carbone
Fonction du bâtiment Type simplifié (individuel et collectif)		Pas prise en compte	Pas prise en compte	Potentiel solaire EnR, (surface de toiture)	Pas prise en compte	Pas prise en compte

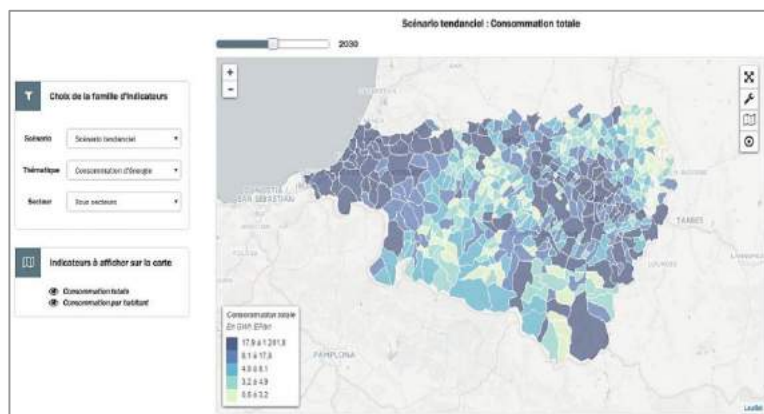
Prise en compte des enjeux :

- Artificialisation : Oui, renvoi d'informations d'indicateurs de densité et évolution de l'usage des sols
- Fonctions urbaines : Oui, possibilité d'intégration de bases de données locales en complément
- Contexte territorial : Oui
- Forme urbaine : développement de cadastre solaire en sortie de l'outil, pas encore de discrétisation des espaces de pleine terre
- Consommation énergétique : Oui
- Stockage carbone : Pas intégré, éventuellement en développement

Sorties de l'outil

- Indicateur de sortie de l'outil : consommation et production d'EnR, distribution, émissions de GES et indicateurs suivi évaluation SCoT

PROSPER



Développement : Energie Demain
Echelle : macro-urbaine (ville, territoire)
Saisie : 2D
Modèle : Représentation SIG à l'échelle des communes, basé sur les données INSEE
Base des données : OREGES, RGP INSEE, etc.
Conditions d'usage/commercialisation : commercialisé

Description :

Prospective Energétique Territoriale, utilisé dans le cadre de PCAET, outil en ligne. Prospective énergétique territoriale (construction de scénarios), simulation de l'impact d'actions de réduction de la demande d'énergie, de développement des EnR et d'actions de gestion des réseaux électriques et gaziers.
 Projet connexe d'énergie demain : Le projet SIMDD (simulation du développement urbain durable) vise à développer une application web qui permet une analyse multi thématique et dynamique des territoires sous l'angle de l'attractivité territoriale

Potentiel de calcul des indicateurs et secteurs pris en compte :

Bâti (énergie d'usage)	Transports personnes	Transport marchandises	Construction (énergie grise)	Production ENR	Réseaux, RCU, smart grid	Stock carbone
Fonction du bâtiment Type simplifié (individuel et collectif)	Pas prise en compte	Pas prise en compte	Pas prise en compte	Potentiel solaire EnR, (surface de toiture)	Pas prise en compte	Pas prise en compte

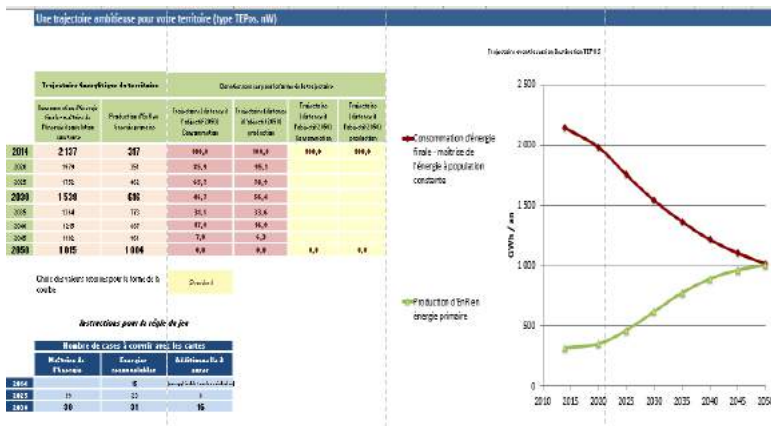
Sorties de l'outil

Indicateur de sortie de l'outil : énergie, GES

Remarques:

Pas d'analyse à l'échelle infracommunale
 Prise en compte des réseaux énergétiques

DiagFlash Destination TEPOS



Développement : Institut négaWatt, Solagro

Echelle : macro-urbaine (territoire)

Saisie : tableur numérique

Modèle : données nationales et ratio basés sur le scénario négaWatt

Base des données GES : INSEE, Corin Land Cover, Scénario négaWatt, EIA, etc.

Conditions d'usage/

commercialisation: formation et inscription club d'utilisateurs

Description :

Destination TEPOS est une méthode de sensibilisation et d'appropriation des enjeux de la transition énergétique par les collectivités locales et acteurs locaux, en vue de la construction de plans d'action énergie sur les territoires.

Potentiel de calcul des indicateurs et secteurs pris en compte :

Bâti (énergie d'usage)	Transports personnes	Transport marchandises	Construction (énergie grise)	Production ENR	Réseaux, RCU, smart grid	Stock carbone
Fonction du bâtiment		Pas prise en compte	Pas prise en compte	Potentiel solaire EnR, (surface de toiture)	Pas prise en compte	Pas prise en compte

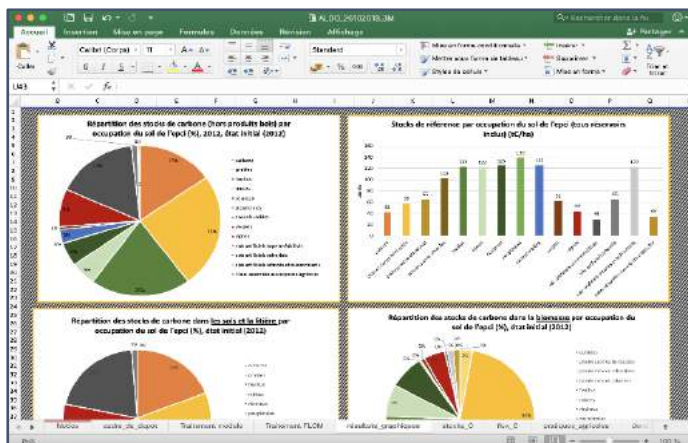
Sorties de l'outil :

Indicateur de sortie de l'outil : GES, énergie

Remarques :

Prend en compte les typologies de forées macro-urbaines par commune pour évaluer les parts modales de la mobilité régulière et locale et distinguer les potentiels d'évolution de ces parts modales en fonction des typologies.

ALDO



Développement : ADEME

Echelle : macro-urbaine

Saisie : tableur numérique

Modèle : association données quantifiées occupation des sols / ratios carbone

Objectif : Évaluation des stocks et flux de carbone pour l'ensemble des EPCI de France métropolitaine

Base des données : Corine Land Cover, BD Forêts IGN, BDD référentiel ADEME du stockage carbone

Conditions d'usage/commercialisation : libre

Description :

L'outil ALDO est un tableur mis à disposition gratuitement par l'ADEME pour évaluer les stocks et flux de carbone à la maille EPCI (ou France). L'outil contient en base les données d'occupation du sol Corine Land Cover niveaux 1 et 2 (2006 et 2012) ainsi que la base de données IGN forêt par grande région écologique, ce qui permet par une simple entrée du code INSEE de l'EPCI de déterminer les stocks et flux de carbone sur l'ensemble des territoires métropolitains, et de sortir des graphiques standardisés. Les variables prises en compte sont :

- Occupation des sols/artificialisation (nomenclature très simplifiée sur la forme urbaine)
- Accroissement de la biomasse (données IGN de prélèvements et d'accroissement forestiers)
- Matériaux bois et dérivés (papiers, panneaux...) : ratio national décliné aux prélèvements locaux ou à la population
- Des mesures d'évolutions de pratiques agricoles sont aussi des paramètres sur lesquels il est possible de jouer pour faire évoluer les flux.

L'outil permet par ailleurs d'inscrire des données issues de bases de données locales (à condition de respecter la nomenclature Corine Land Cover niv. 1 ou 2) et n'est pas verrouillé, ce qui permet de s'appropriier un certain nombre d'hypothèses.

La saisie peut se faire sur 2 niveaux de détails :

- Mode "standard" Code INSEE de l'EPCI
- Mode "expert" : données de surface (nomenclature CLC 1 ou 2), dynamiques d'occupation du sol entre type de sol (en ha/an), prélèvements et consommation de bois, changements de pratiques agricoles

Potentiel de calcul des indicateurs et secteurs pris en compte :

Bâti (énergie d'usage)	Transports personnes	Transport marchandises	Construction (énergie grise)	Production ENR	Réseaux, RCU, smart grid	Stock carbone
Pas prise en compte	Pas prise en compte	Pas prise en compte	Pas prise en compte	Pas prise en compte	Pas prise en compte	Occupation du sol Biomasse

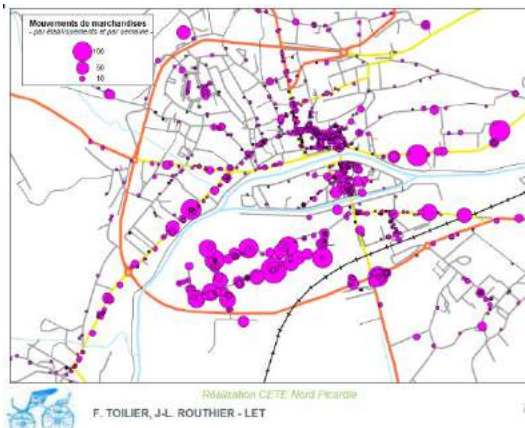
Sorties de l'outil : Indicateur de sortie de l'outil : GES

Remarques :

Pas de prise en compte de la forme urbaine, mais de l'occupation du sol exploitable à la maille France et permettant de faire une prospective sommaire d'artificialisation et d'évolutions de pratiques agricoles

Diagnostic, possibilité de "tordre" l'outil pour produire des scénarios

FRET URB



Développement : Laboratoire d'économie des transports (LET)

Echelle : macro-urbaine (ville)

Saisie : chargement 2 fichiers excel dans un SIG

Modèle : LUTI (occupation du sol et transport)

Base des données géographiques: SIRENE INSEE, fichier de zonage INSEE retraité

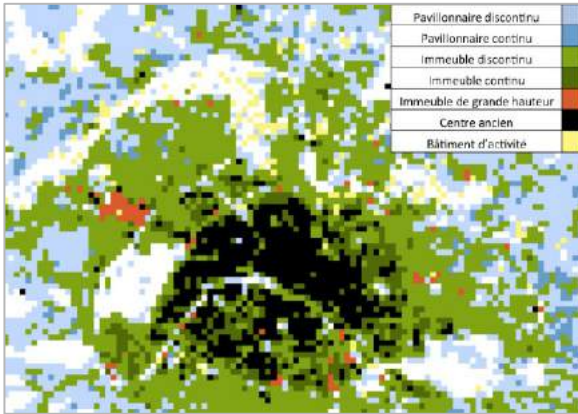
Remarques :

Estimer le nombre de livraisons/enlèvements générés dans une agglomération par les établissements économiques qui y sont localisés + les flux de déplacements d'achat des ménages générés par les commerces. Exprimé en km/ mode de transport, et non en carbone.

Potentiel de calcul des indicateurs et secteurs pris en compte :

Bâti (énergie d'usage)	Transports personnes	Transport marchandises	Construction (énergie grise)	Production ENR	Réseaux, RCU, smart grid	Stock carbone
Fonction du bâtiment	Mixité des usages	Mixité des usages	Pas prise en compte	Pas prise en compte	Pas prise en compte	Pas prise en compte

GENIUS GENérateur d'Ilots Urbains



Développement : laboratoire de recherche LRA Toulouse

Echelle : micro-urbaine (quartier, îlot)

Saisie : 2D

Modèle : évaluation de l'énergie liée aux usages et de prospective urbaine sur la base d'une analyse typomorphologique des archétypes urbains

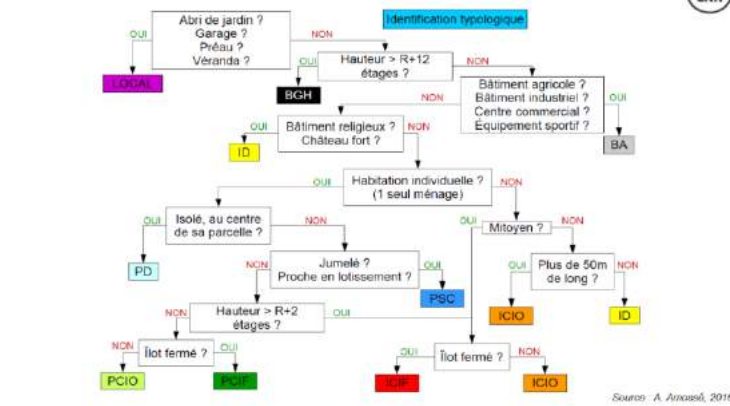
Base des données : absente, doit être couplé avec d'autres modèles ou indicateurs

Conditions d'usage/commercialisation : outil orienté recherche

Description :

Il s'agit d'un outil développé par le monde de la recherche par le laboratoire LRA, visant à analyser la forme urbaine dans un but d'étudier l'impact de la forme urbaine sur l'énergie et le microclimat. Plusieurs projets de recherche ont mobilisé GENIUS, des évolutions du modèle : MApUCE EpICUre MultipliCités... Le modèle GENIUS permet de déterminer 7 typologies de développements urbains dominants dans une grille d'analyse et construire des scénarios de perspectives de développement urbain.

Classification du tissu urbain



Protocole d'identification d'un bâtiment selon la typologie élaborée dans le cadre du projet MApUCE.
 BA= bâtiment d'activité / BGH= bâtiment de grande hauteur / ICIF= immeuble continu sur îlot fermé /
 ICIO= immeuble continu sur îlot ouvert / ID= immeuble discontinu / LOCAL= local annexe / PCIF= pavillon continu sur îlot fermé /

Figure 52 Méthode développée dans le cadre de MApUCE (Amossé, 2016)



Dans le cadre du projet de recherche MApUCE, une méthodologie est établie pour effectuer des simulations de d'énergétique et de climatologie urbaine à l'échelle de toutes les communes et villes de France. Cette méthode, dérivée de GENIUS, permet la détermination automatique des typologies architecturales et urbaines pour toutes les villes de France. Elle utilise des indicateurs morphologiques ou sociodémographiques et réalise une classification. (Faraut, 2014)¹¹. Un outil plug-in du programme OrbisGIS, calcule une trentaine d'indicateurs morphologiques classés ensuite sous **10 typologies de forme micro-urbaine** sous forme d'USR (Unité Spatiale de Référence, s'apparentant à des îlots urbains) sur la base de données géographiques existantes (données INSEE, BDtopo). <https://mapuce.orbisgis.org/> (LRA Lab-STICC, CNRM)

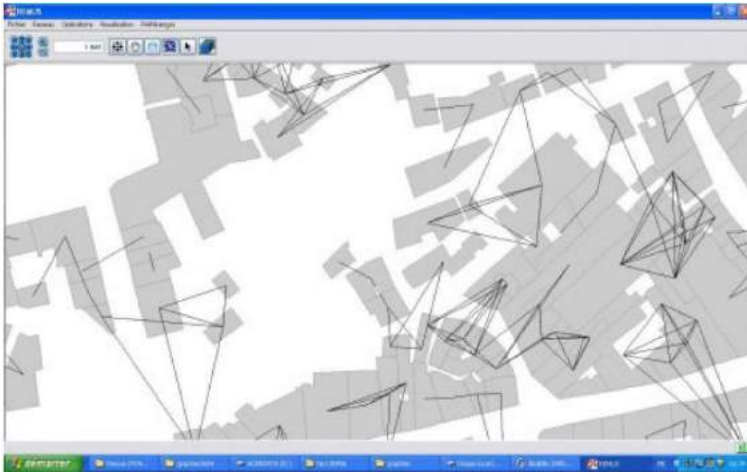
Potentiel de calcul des indicateurs et secteurs pris en compte :

Bâti (énergie d'usage)	Transports personnes	Transport marchandises	Construction (énergie grise)	Production ENR	Réseaux, RCU, smart grid	Stock carbone
Fonction du bâtiment	Pas pris en compte	Pas pris en compte	Pas pris en compte	Prise en compte	Pas pris en compte	% végétal
Type de bâtiment						
Compacité						
Facteur de vue du ciel						

Sorties de l'outil : Indicateur de sortie de l'outil : pas de donnée énergie – carbone en tant que tel.

¹¹ Serge Faraut, Nathalie Tornay, Marion Bonhomme, Alexandre Amossé, Valéry Masson, et al.. Des bases de données urbaines aux simulations énergétiques – Le projet MApUCE.

REMUS



Développement : BADARIOTTI

Echelle : micro-urbaine (quartier, îlot)

Saisie : 2D

Modèle :

Base des données : absente, doit être couplé avec d'autres modèles ou indicateurs

Conditions d'usage/commercialisation : outil orienté recherche

Description :

Il s'agit d'un outil développé par le monde de la recherche par le laboratoire, de modélisation intégrée de des relations entre bâtiments qui caractérise la proximité et la connectivité qui varient selon le type de tissu urbain considéré. L'étude des relations spatiales entre immeubles d'une même ville peut donc se faire à partir de l'étude des matrices cadastrales les répertoriant.¹²

Potentiel de calcul des indicateurs et secteurs pris en compte :

Bâti (énergie d'usage)	Transports personnes	Transport marchandises	Construction (énergie grise)	Production ENR	Réseaux, RCU, smart grid	Stock carbone
Pas pris en compte	Connectivité des tissus	Pas pris en compte	Pas pris en compte	Pas prise en compte	Potentiel de prise en compte	Pas pris en compte

Sorties de l'outil : Indicateur de sortie de l'outil : pas de donnée énergie – carbone en tant que tel.

¹² Dominique Badariotti, Arnaud Banos et Diego Moreno, Conception d'un automate cellulaire non stationnaire à base de graphe pour modéliser la structure spatiale urbaine: le modèle Remus, 2006

3. Synthèse sur les outils

Le tableau ci-dessous détaille les impacts énergie/carbone des formes urbaines pris en compte dans chacun des 15 outils retenus comme plus particulièrement pertinents.

pris en compte (détaillé)
 pris en compte (simplifié)
 pas pris en compte

	Bâti (énergie d'usage)	Transport personnes	Transport marchandises	Construction (énergie grise)	Production EnR	Réseaux, RCU, smart grid	Stock carbone
Pléiades Quartier	détaillé	simplifié			PV		
Sane City					PV		
ForCity	dév. en cours						
NESTERR	dév. en cours				PV		
Artelys Crystal City					PV		
GENIUS / MAPuCE					PV		
GES - URBA	dév en cours	simplifié					
Prosper	simplifié				PV		
ALDO							sauf l'arbre en ville
Destination TEPOS					PV		
Opportunitee							
FRET URB		uniquement flux achats, pas traduit en CO2	pas traduit en CO2				
REMUS						Potential de prise en compte	

Il apparaît, à la lecture de ce tableau, **qu'aucun outil ne permet de couvrir l'ensemble du champ des impacts énergie-carbone des formes urbaines**, mais les **possibilités de chaînage des outils entre eux**,

afin de couvrir l'ensemble du champ des impacts énergie-carbone des formes urbaines, sont évoquées dans la conclusion générale.

Par ailleurs, une partie des outils identifiés ci-dessus (FRET-URB, REMUS, GENIUS par exemple) ne permettent pas d'évaluer directement des impacts en unité énergétique ou carbone. FRET-URB, par exemple, calcule des kilomètres parcourus par type de véhicule. Un autre outil est ensuite nécessaire pour traduire des kilomètres en énergie et en carbone.

Par ailleurs, ces outils nécessitent, pour fonctionner à l'échelle urbaine, et pouvoir couvrir une échelle nationale, d'avoir **accès à des bases de données source**. Une partie de ces bases de données est détaillée en PARTIE 4.

PARTIE 4 : BASES DE DONNEES EXISTANTES A L'ECHELLE NATIONALE

L'évaluation des impacts énergie-carbone des formes urbaines, qu'elle soit réalisée à l'échelle des quartiers, des agglomérations ou à l'échelle nationale, et quel que soit l'outil mobilisé pour réaliser cette évaluation, nécessite d'avoir recours à **deux types de données** :

D'une part, une approche quantifiée des surfaces occupées par chacune des formes macro-urbaines et micro-urbaines sur le territoire (appelée « **approche comptable des formes macro et micro-urbaines** »). Cette approche peut être simplement statistique (pourcentages), mais elle est plus intéressante lorsqu'elle est également géographique (association d'emprises géographiques et de bases de données, souvent exploitables à l'aide d'un système d'information géographique - SIG).

> Ce sont ces bases de données qui sont analysées ici, de manière non exhaustive (cette étude constituant une étude exploratoire, toutes les pistes n'ont pas pu être explorées).

D'autre part, des **bases de données énergétiques et carbone**, permettant de transformer des valeurs non énergétiques issus des outils (par exemple : des kilomètres parcourus par type de véhicule, pour l'outil FRET-URBA) en des valeurs énergie ou carbone.

> Ces bases de données ne sont pas analysées ici.

1. Analyse synthétique

Afin d'analyser les dynamiques prospectives de formes urbaines à l'échelle de la France, il est nécessaire d'avoir une approche comptable et géographique des formes urbaines du territoire. Il s'agit de développer une approche quantifiée des surfaces occupées par chacune des formes macro-urbaines et micro-urbaines sur le territoire actuel. Cette approche peut être simplement statistique (pourcentages), mais elle est plus intéressante lorsqu'elle est également géographique (association d'emprises géographiques et de bases de données, souvent exploitable à l'aide d'un système d'information géographique - SIG).

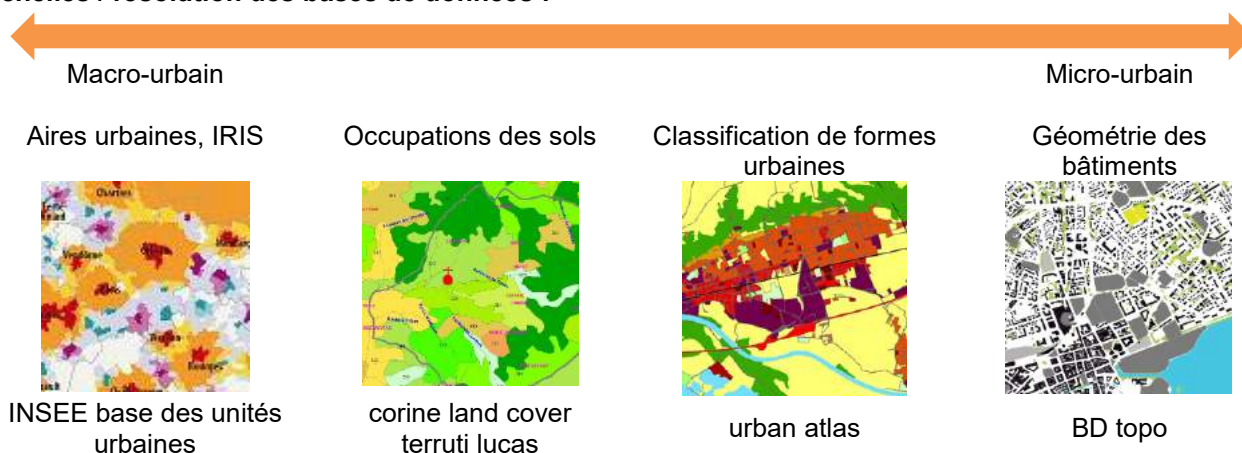
Cinq bases de données géographiques ont été analysées et permettent de fournir une approche comptable des formes urbaines à l'échelle de la France, à une date donnée. Elles associent des surfaces (hectares, m²) à des typologies macro ou micro-urbaines :

- **INSEE, base des unités urbaines**
- **Corine Land Cover**
- **Enquêtes Teruti-Lucas**
- **Urban atlas**
- **IBD Topo IGN + BD Forêts IGN**

Toutes ces bases de données présentent l'intérêt de proposer une approche comptable à l'échelle de la France : statistique et géographique. A la différence d'approches comptables simplement statistiques (valeurs et % sur le territoire ou sur la France, sans localisation), l'approche comptable statistique + géographique signifie une base de données exploitable sous SIG.

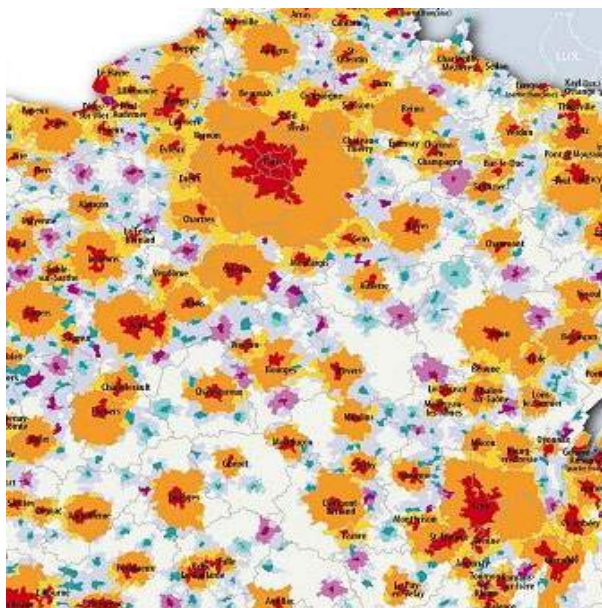
La base de données « Unités urbaines » de INSEE est la seule à proposer « classification macro-urbaine ». Autrement dit, elle répartit la totalité du territoire en grandes unités urbaines et rurales. Les autres bases de données renseignent plutôt l'échelle « micro », avec des niveaux de détail différents suivant les bases : les données Corine Land Cover et Teruti-Lucas ont une résolution peu fine, à la différence des BD Topo IGN et BD Forêts IGN, ou d'Urban Atlas.

Echelles / résolution des bases de données :



2. Analyse détaillée

INSEE, base des unités urbaines



Description :

L'INSEE propose une classification de ce qui peut s'apparenter à des formes "macro-urbaines"

Statut:

Public, accès libre

Date de la dernière donnée disponible :

2010

Niveau de détail des classes :

10 classes :

- Espace à dominante rurale
- Commune polarisée d'une aire urbaine jusqu'à 99 999 habitants
- Pôle urbain d'une aire urbaine jusqu'à 99 999 habitants
- Commune multipolarisée
- Commune polarisée d'une aire urbaine de 100 000 à 10 M d'habitants
- Banlieue du pôle urbain d'une aire urbaine de 100 000 à 10 M d'habitants
- Centre du pôle urbain d'une aire urbaine de 100 000 à 10 M d'habitants
- Commune polarisée aire urbaine de Paris
- Banlieue de Paris
- Paris

Une **aire urbaine** est composée d'un pôle et le plus souvent d'une couronne.

Un **pôle urbain**, au sens de l'INSEE, est une unité urbaine offrant au moins 1 500 emplois et qui n'est pas située dans la couronne d'un autre pôle urbain. Sa **couronne** correspond aux communes ou unités urbaines, dont au moins 40 % de la population résidente ayant un emploi travaille dans le pôle ou dans les communes attirées par celui-ci selon un processus itératif. On distingue également des **moyens pôles** (unités urbaines de 5 000 à 10 000 emplois) et les **petits pôles** - unités urbaines de 1 500 à moins de 5 000 emplois.

Une **unité urbaine** est une commune ou un ensemble de communes présentant une zone de bâti continu (pas de coupure de plus de 200 mètres entre deux constructions) qui compte au moins 2 000 habitants. Toute commune n'appartenant pas à une unité urbaine est considérée comme rurale.

Les **communes multipolarisées des grandes aires urbaines** sont les communes situées hors des aires, dont au moins 40 % de la population résidente ayant un emploi travaille dans plusieurs grandes aires urbaines, sans atteindre ce seuil avec une seule d'entre elles. Elles forment avec elles un ensemble d'un seul tenant, appelé espace des grandes aires urbaines.

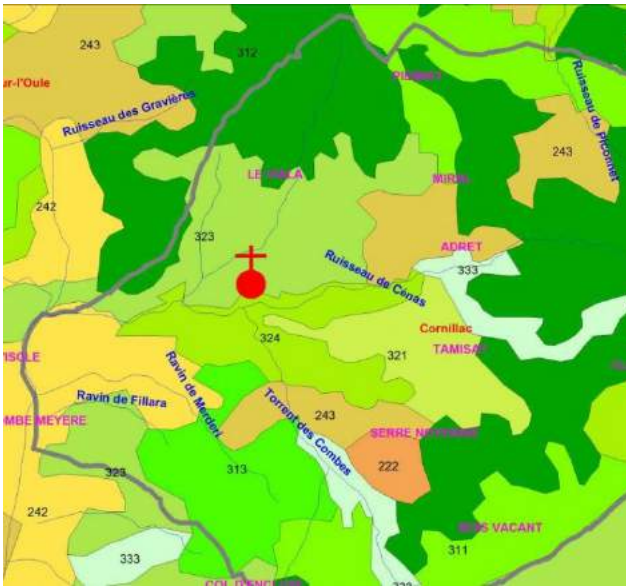
Les **autres communes multipolarisées** sont les communes situées hors de l'espace des grandes aires urbaines, dont au moins 40 % de la population résidente ayant un emploi travaille dans plusieurs aires quelle que soit leur taille.

Les communes isolées hors influence des pôles sont les communes n'appartenant pas à une aire et non multipolarisées.

Remarques :

Base de données servant de référence à de nombreuses études pour le croisement avec d'autres données thématiques (déplacements, habitat, économie, etc.).

Corine Land Cover



Description :

La base de données Corine Land Cover renseigne l'occupation des sols à l'échelle de l'ensemble du territoire français.

Statut:

public, accès libre

Date de la dernière donnée disponible :

2018

Niveau de détail des classes :

La base de données dispose de différents niveaux de classification, d'une classification peu détaillée à une classification très détaillée. La classification la plus détaillée répartit l'ensemble du territoire en 43 classes :

Zones agricoles (11 classes), zones forestières et "naturelles" (12 classes), Zones couvertes d'eau (10 classes).

Zones urbaines (10 classes)

- Tissu urbain continu
- Tissu urbain discontinu
- Zones industrielles ou commerciales et installations publiques
- Réseaux routiers et ferroviaires et espaces associés
- Zones portuaires
- Aéroports
- Extraction de matériaux
- Décharges
- Chantiers
- Espaces verts urbains
- Equipements sportifs et de loisirs

Remarques et limites

L'échelle est du 100 000ème, avec une analyse sur des **parcelles homogènes de 25 ha**, ne permettant pas une analyse fine des espaces mixtes ou peu urbanisés. Cette échelle ne permet pas non plus une analyse fine des dynamiques de croissance urbaine.

Les tissus urbains mixtes ont une discrétisation peu fine (continu/ discontinu).

Les séries homogènes de 2006, 2012 et 2018 permettent une bonne lecture des dynamiques dans le temps sur les grands ensembles.

Enquêtes Teruti-Lucas



Description :

Suivi de l'évolution des différentes catégories d'occupation et d'usage du sol à partir d'un ensemble de points constituant un échantillon représentatif du territoire national.

Statut:

public, accès libre
Service statistique du ministère en charge de l'Agriculture, et labellisée par le CNIS

Date de la dernière donnée disponible :

enquête annuelle, triennale depuis 2017, avec des résultats attendus en 2019

Niveau de détail des classes :

Type d'occupation des sols:

Volumes construits bas
Volumes construits hauts
Sols de forme aréolaire revêtus ou stabilisés
Sols de forme linéaire revêtus ou stabilisés
Sols enherbés artificialisés
Sols nus artificialisés
Sols cultivés et superficies toujours en herbe
Forêts de feuillus
Forêts de résineux
Forêts mixtes
Peupleraies en plein
Bosquets Haies et alignements d'arbres
Sols boisés à peuplement indéterminé(coupe rase)
Landes, friches, maquis, garrigues
Superficies enherbées naturelles
Dune, plage Rochers, éboulis
Sols nus naturels
Eaux intérieures
Plans d'eau côtiers
Glaciers, neiges éternelles
Zones humides
Zones interdites non photo interprétées

Type d'utilisations des sols :

Agriculture - productions végétales et élevage
Agriculture - autres activités
Sylviculture
Activités industrielles
Réseaux routiers
Autres transports
Services publics
Autres services
Sports et loisirs
Protection de la nature
Habitats
Autres usages

Remarques et limites :

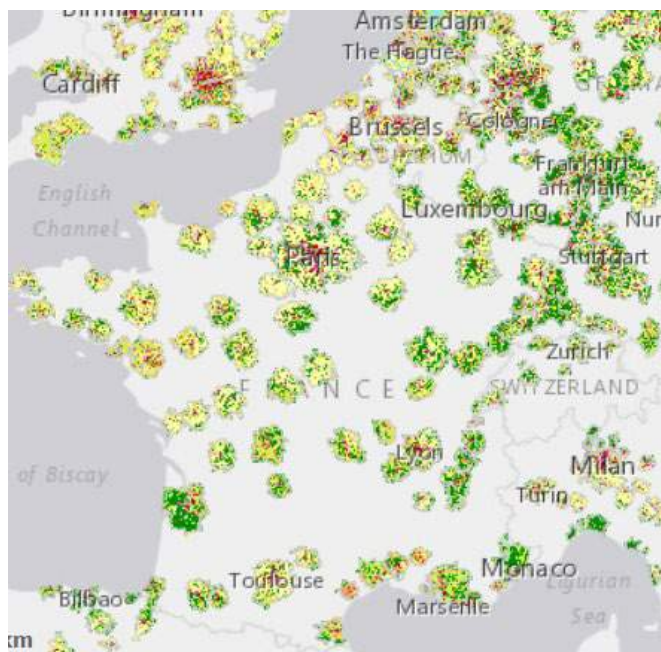
Estimations calculées à partir d'un échantillonnage, non fiables ni représentatifs localement, ne permettant pas une analyse fine des espaces mixtes ou peu urbanisés. Cette échelle ne permet pas non plus une analyse fine des dynamiques de croissance urbaine.

2 typologies urbaines seulement : volumes construits hauts/ volumes construits bas, mais qui donnent une information complémentaire à celle de Corine Land Cover (qui parle de tissus urbains continus/ discontinus)

Pour en savoir plus :

<http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/teruti2015T3bsva.pdf>

Urban atlas



Description :

Base de données de l'occupation détaillée des sols sur les principales agglomérations françaises

Echelle:

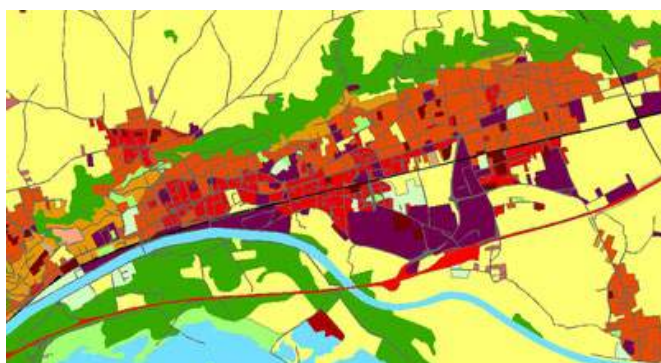
Union Européenne
sur la France, une cinquantaine d'agglomérations disponibles

Statut:

public, accès libre
projet Copernicus, European Environment Agency

Date de la dernière donnée disponible :

2012



Niveau de détail des classes :

7 classes urbaines

Tissus urbains continus; Tissus urbains denses discontinus; Tissus urbains moyennement denses discontinus; Tissus urbains peu de denses discontinus; - Tissus urbains très peu denses discontinus; Structures isolées ; Industries, commerces, unités publiques ou militaires; Voies rapides et fonciers associés ; Autres voies et fonciers associés ; Ports; Aéroports

10 classes agriculture + nature

Terres arables; cultures permanentes; pâturages; cultures mixtes; vergers; forêts; strates herbacées; espaces ouverts à faible couvert végétal; zones humides; zones en eau

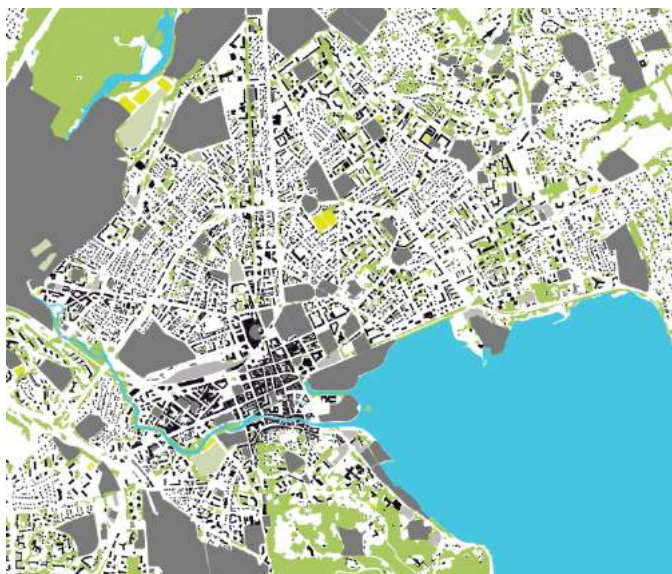
Remarques et limites :

Croisement de données statistiques avec des interprétations de photo aérienne HD

Résolution fine: échelle 2mx2m

Une classification des formes micro-urbaines relativement détaillée, à la différence des autres bases de données.

BD Topo IGN + BD Forêts IGN



Description :

BD Topo : Occupation du sol
BD Forêts : Approche fine de l'occupation des sols des forêts, Description des peuplements forestiers, données de volume sur pied, de prélèvements, d'accroissement naturel, de mortalité

Echelle :

Parcelle

Statut:

Public, Payant via le site de l'IGN

Date de la dernière donnée disponible :

BD Topo : Mise à jour progressive, tous les 6 mois à 5 ans en fonction de thématiques
BD Forêts : Inventaires de 2012 à 2017

Niveau de détail des classes :

La BD Topo, couche « ACTIVITÉS »

Différenciation des zones "activités" :

- Site administratif ou militaire
- Lieu culturel ou de loisir
- Espace naturel
- Site de gestion de l'eau
- Espace hydrographique
- Site industriel ou commercial
- Site orographique
- Bâtiment religieux
- Site hospitalier ou thermal
- Site d'enseignement ou recherche
- Lieu dédié à la pratique sportive
- Bâtiment lié aux transports
- Zones d'habitation

Autres classes :

- 7 classes de voiries
- 5 classes d'infrastructures ferroviaires
- 4 classes d'infrastructures de transport d'énergie
- 7 classes de réseaux hydrographiques
- 11 classes de bâti
- 1 seule classe végétation

BD forêts :

Nomenclature de 32 typologies de formations végétales plus ou moins arborées
Classification du territoire en sylvo-eco-régions

Remarques et limites :

Bases très descriptives avec un fort niveau de détail qui les rendent peu exploitables à la maille nationale, il faut passer par des analyses par sous-territoire et ré-agréger les données.

La BD Forêts peut renseigner les champs du stockage carbone.

BD Topo : Données de références sur les secteurs forestiers uniquement (approche dendrométrique)

3. Autres bases de données pour information

A côté de 5 bases de données détaillées ci-dessus, il est intéressant de citer pour information :

La base EMD unifiée à l'échelle France du CEREMA de Lille

Les enquêtes ménages-déplacements (EMD) élaborées par le CEREMA représentent une source incontournable dans l'analyse des pratiques de mobilité quotidienne. La disponibilité d'informations détaillées et statistiquement représentatives sur les ménages et les individus les composant, sur le parc automobile et sur la mobilité de la veille en semaine, permet de calculer le niveau de consommation énergétique et d'émissions de CO2 correspondant à chaque déplacement.

A partir des EMD réalisées sur l'ensemble du territoire français (Figure 53) , le CEREMA de Lille a construit une base de données permettant de recouper des pratiques en termes de mobilité régulière des ménages et les typologies macro-urbaines de l'INSEE (INSEE, base des unités urbaines).

Statut de la base de données : Propriété CEREMA, réflexions en cours sur la mise à disposition du public

Contact : Contact: Olivier RICHARD, CEREMA Territoires et Villes olivier.richard@cerema.fr

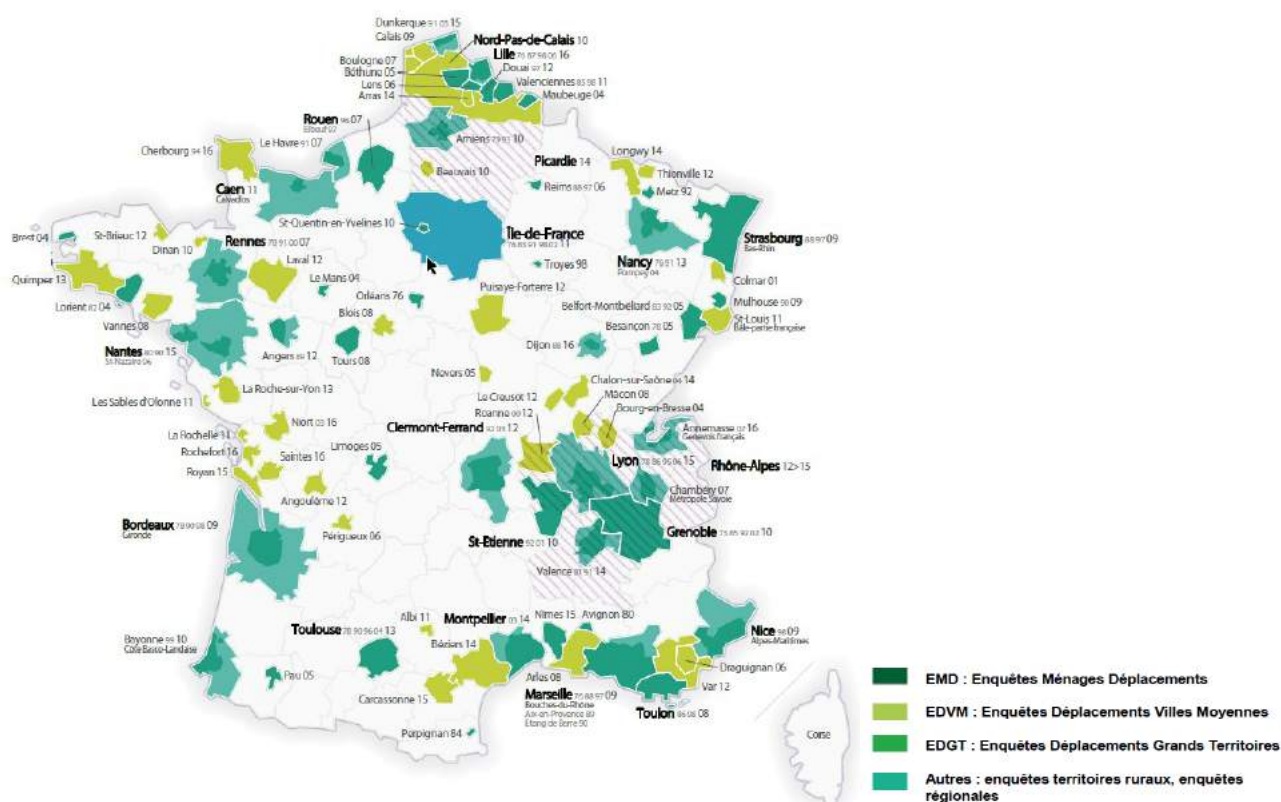


Figure 53 : CEREMA, carte de couverture 2016 des Enquêtes Ménage déplacements

La base des entreprises SIRENE (INSEE)

Elle identifie de manière géographique toutes les entreprises de France (nécessaire au fonctionnement des outils d'évaluation des impacts énergie/carbone de type LUT1, qui transport et fonctions urbaines), et précise entre autres le champ d'activité auquel elles appartiennent, le nombre de salariés.

Site de téléchargement de la donnée : <https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/base-sirene-des-entreprises-et-de-leurs-etablissements-siren-siret/>

PARTIE 5 : VERS UNE INTEGRATION DE LA BRIQUE « FORMES URBAINES » DANS L'OUTIL ADEME

Pour rappel, l'objectif de l'étude est de préfigurer une intégration de la brique « forme urbaine » dans l'outil de scénarisation « Vision 2030-2050 » de l'ADEME, ainsi que de mieux articuler la prospective urbanisme et les visions énergie 2035-2050 de l'ADEME.

La **première partie** du présent rapport **clarifie les enjeux actuels et prospectifs d'une meilleure qualification des impacts énergie-carbone des formes urbaines**. Elle montre notamment l'importance de la croissance du périurbain et de l'artificialisation des sols, ainsi que la part du logement individuel dans ces tendances. Mais elle invite également à ne pas sous-estimer la contribution des autres fonctions urbaines que celle de l'habitat (commerce, tertiaire, industrie), ainsi que leur localisation, aux impacts énergie-carbone de la France.

Les **parties 2 à 5** présentent chacune des « **briques** » **pouvant permettre l'évaluation des impacts énergie-carbone des formes urbaines**. Dans la partie 2, il est proposé de retenir un nombre limité d'indicateurs des impacts énergie-carbone des formes urbaines. Dans la partie 3, treize outils sont identifiés comme particulièrement intéressants pour évaluer les impacts énergie-carbone des formes urbaines. En partie 4, 5 bases de données mobilisables pour l'approche comptable des formes urbaines à l'échelle française sont analysées.

A ce stade, il s'agit dans cette **partie conclusive** de **préfigurer plusieurs pistes d'intégration des enjeux de forme urbaine dans la prospective énergétique de l'ADEME**, et de préciser leur faisabilité.

Objectifs

1. Expliciter les problématiques auxquelles la modélisation actuelle de l'ADEME ne permet pas de répondre
2. Hiérarchiser les problématiques prioritaires
3. Hiérarchiser la facilité de mobiliser des outils existants pour répondre aux problématiques
4. Proposer des développements ultérieurs pour l'ADEME

Au vu de ces objectifs, trois pistes d'action sont explorées, de la plus simple à mettre en œuvre à la plus complexe :



1^{ère} piste : Venir infléchir les scénarios sectoriels de l'ADEME

Cette partie identifie les manques de l'outil ADEME, cible les variables à intégrer de manière prioritaires dans l'outil excel tel qu'il existe aujourd'hui au sein de l'ADEME



2^e piste : Développer une approche comptable de la structure de la France en termes de formes urbaines (état zéro du territoire).



3^e piste : Cahier des charges pour un outil de quantification des impacts énergie-carbone des formes urbaines à l'échelle France métropolitaine

1. Réflexions pour une amélioration des analyses sectorielles de l'ADEME

Actuellement, l'outil de prospective ADEME est construit de façon sectorielle. Ces secteurs sont tous impactés par les choix de formes urbaines, ainsi la brique « forme urbaine » semble être une composante transverse, qui vise à faire un lien sur la composante territoriale entre chaque secteur.



**Formes urbaines, occupation du territoire
données géographiques, à l'échelle France, actuelle et prospective**

La prise en compte de la variable forme urbaine, dans chacun de ces secteurs, est encore insuffisante. Les paragraphes ci-dessous détaillent la nature de ces manques et des pistes de réflexion pour améliorer l'outil, par secteur.

1.1. Secteur Résidentiel

Prise en compte actuelle de la forme urbaine

La discrétisation des types de bâtiments est peu détaillée, l'approche par forme urbaine très simplifiée. Elle permet à ce stade de distinguer les typologies de bâtiment pour estimer les implications en termes de consommation de chauffage.

Par exemple, le nombre d'étages n'est pas pris en compte.

- > Type : immeubles collectifs / maison individuelle
- > Statut : social / occupant locataire / propriétaire
- > Date du bâti : <75 / 75-90 / >1990

Points d'attention

// Part de maisons individuelles dans les constructions neuves

La prospective ADEME envisage que plus de 50% des logements neufs sont des maisons individuelles jusqu'en 2030. Cette hypothèse semble incohérente puisqu'on constate que la part des maisons individuelles dans la construction neuve est déjà inférieure à 50 % (46% en 2015).

Ce paramètre est déterminant pour de nombreuses dimensions : mobilité régulière et locale, artificialisation des sols, énergie grise des bâtiments, etc.

// Evolution du nombre de personnes par logement

La prospective ADEME envisage la poursuite de la réduction du nombre de personnes par logement : 2,23 personnes par logement en 2020 et 2,05 en 2050. Ce paramètre a des répercussions importantes sur l'énergie grise des bâtiments, l'artificialisation des sols, mais aussi la mobilité.



A titre d'illustration: "avec 2,9 personnes par ménage (comme en 1975), la population actuelle (63 millions de personnes) aurait besoin de 22 millions de logements. A 2,3 personnes par ménage, il en faut 27,5 millions, 5,5 millions de plus. La baisse du nombre moyen de personnes par ménage, donc par logement, est l'un des éléments qui a alimenté la demande en logements." (<http://www.observationsociete.fr/population/taille-des-menages-vers-une-stabilisation.html>)
Les tendances de ces dernières années semblent indiquer un fléchissement de cette réduction

Pistes d'évolution des analyses sectorielles

- > Proposer a minima une 3e typologie de forme urbaine (le logement intermédiaire) en lien avec les perspectives de l'outil GES URBA, qui adopte cette classification en 3 types de logements
- > Pour aller plus loin, proposer une classification de formes urbaines plus détaillées (7 types) en lien avec l'outil GENIUS ou bien 10 types (MApUCE)
- > Expliciter les zones d'implantation des nouvelles constructions
- > Estimer - à l'aide de ratios - l'implication de ces nouvelles constructions en termes d'artificialisation des sols
- > Estimer les implications en termes de transports de personnes et de marchandises

1.2. Secteur Tertiaire

Prise en compte actuelle de la forme urbaine

- > 4 types de tertiaire seulement : de même que pour le résidentiel ces distinctions permettent de différencier des typologies de bâtiments en fonction de leurs consommations de chauffage.
- > Pas d'analyse sur l'évolution de la localisation des activités tertiaires

Pistes d'évolution

- > Enjeu d'articulation du niveau de détail avec les autres aspects de la modélisation (ex. consommation de matériaux, évolution des transports)
- > Proposer une classification de formes urbaines plus détaillées : 7 types (outil GENIUS), 10 types (MApUCE), 7 classes (Urban Atlas)
- > Expliciter - à minima d'un point de vue qualitatif - les conditions d'évolution de la localisation des activités tertiaires avec les distances et parts modales de transport

1.3. Secteur Transport

Quelle prise en compte actuelle de l'enjeu forme urbaine ?

Le lien entre la forme urbaine et le transport n'est pas fait, mais des grandes tendances sont définies :

- > Part modale des usagers
- > Trafic de marchandises

Pistes d'évolution

- > Analyser la compatibilité entre les densités urbaines, et l'évolution des km.voyageurs (personnes) et t.km (marchandises) envisagés pour les différents modes de transport.
- > Expliciter - à minima d'un point de vue qualitatif - les conditions d'évolution de modes de transport en

termes de localisation des activités habitation, commerces, travail, etc. (mixité fonctionnelle) et de densité urbaine, en s'appuyant sur les indicateurs proposés dans cette étude.

1.4. Secteur Industrie

Prise en compte actuelle de la forme urbaine

- > Pas d'articulation entre les consommations énergétiques du secteur et les évolutions dans les autres secteurs (rythme de construction des logements, évolution des modes de transport, etc.)
- > Pas d'analyse sur la localisation des sites de production et l'influence sur les enjeux transport de personnes et de marchandises.

Pistes d'évolution

- > Modélisation de l'énergie associée à la production de 9 matériaux principaux consommateurs d'énergie en s'appuyant sur l'étude ADEME en cours "Prospective énergie matière : scénarisation des niveaux de production industrielle à 2030 - 2050" : étendre cette analyse à une vingtaine de matériaux
- > Dans un second temps, analyser les enjeux de relocalisation des sites industriels sur les volets transport de marchandises et de personnes

1.4. Secteur : Agriculture-Forêt

Prise en compte actuelle de la forme urbaine

- > Discrétisation très complète des pratiques dans l'outil Clim'agri sur les secteurs agricoles
- > Pas de prise en compte du stockage/destockage carbone (hors puits forestiers) en lien avec les évolutions en termes d'occupation du sol
- > Pas d'intégration des espaces mixtes dans les nouvelles formes urbaines (agriculture urbaine, arbre en ville). Il n'existe pas aujourd'hui d'outils permettant de qualifier la situation existante, et de réaliser une prospective fiable sur le sujet.

Pistes d'évolution

- > Onglet Ressource Biomasse : Intégrer les ressources hors forêt, bois agricoles ou urbains sur la base de l'existant et en intégrant des hypothèses de plantation
- > Possibilité d'un chaînage entre ALDO et le modèle ADEME Vision 2035 - 2050 par :
 - Déclinaison du scénario en dynamique globales d'évolution de l'occupation du sol, avec un travail affiné sur les données d'artificialisation mal retranscrite dans les données CLC (intégrer des dynamiques issues de Teruti Lucas)
 - Intégration dans ALDO des scénarios de prélèvements de bois par usage et de la consommation correspondante permettant d'intégrer l'impact carbone des hausses de prélèvement de biomasse
 - Intégration sommaire de changements de pratiques agricoles permettant de scénariser des hypothèses fortes de transition agro-écologiques.

1.5. Enjeu transversal : Stockage carbone

Prise en compte actuelle de la forme urbaine

- > Pas de traduction en occupation du sol des dynamiques de construction envisagées dans les secteurs résidentiels, transport et tertiaire, et de l'impact carbone correspondant à l'artificialisation des sols
- > Difficulté à intégrer le stockage carbone lié à la biomasse, au delà du puits forestier

Pistes d'évolution

> S'appuyer sur la forme urbaine comme un pivot entre les dynamiques démographiques identifiées et les impacts en matière d'artificialisation pour traduire la vision prospective en matière d'occupation du sol et in fine, de séquestration carbone.

> Quantifier les potentialités du puits biomasse (et sol) au sein de la forme urbaine en considérant l'arbre en ville (et la prairie naturelle dans l'espace urbain) comme levier d'atténuation.

1.6. Synthèse et pistes d'amélioration

Synthèse de la prise en compte des formes urbaines actuelle dans l'outil ADEME :

	Bâti (énergie d'usage)	Transport personnes	Transport marchandises	Construction (énergie grise)	ENR	Réseaux, RCU, smart grid	Stock carbone
Actuel : Outil ADEME	2 classes morphologiques : maison / collectif	Non Part modale globale	Non Trafic global	Non	Non	Non	Secteurs agricoles Clim'Agri

Les schémas ci-dessous explicitent et synthétisent les manques de la modélisation ADEME en matière de prise en compte de la forme urbaine, aux échelles micro puis macro-urbaines.

Modèle Vision ADEME 2035 – 2050 : articulations modélisées ou non des enjeux clés associées aux formes micro urbaines

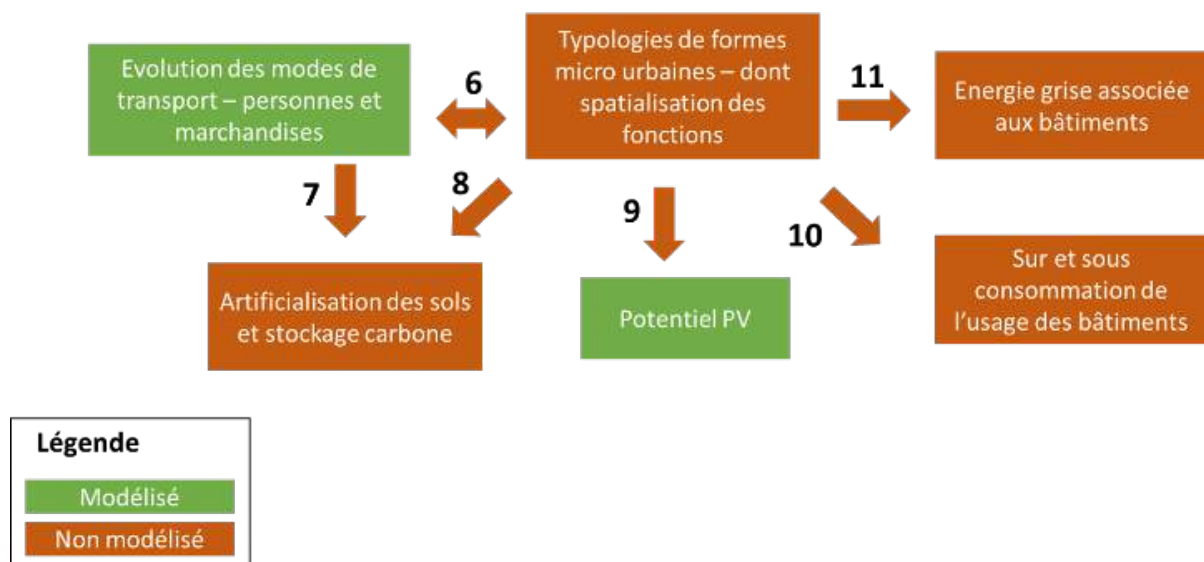


Figure 1 Dimensions des formes micro urbaines modélisées ou non dans la Vision ADEME 2035 - 2050 - Institut négaWatt

Modèle Vision ADEME 2035 – 2050 : articulations modélisées ou non des enjeux clés associées aux formes macro urbaines

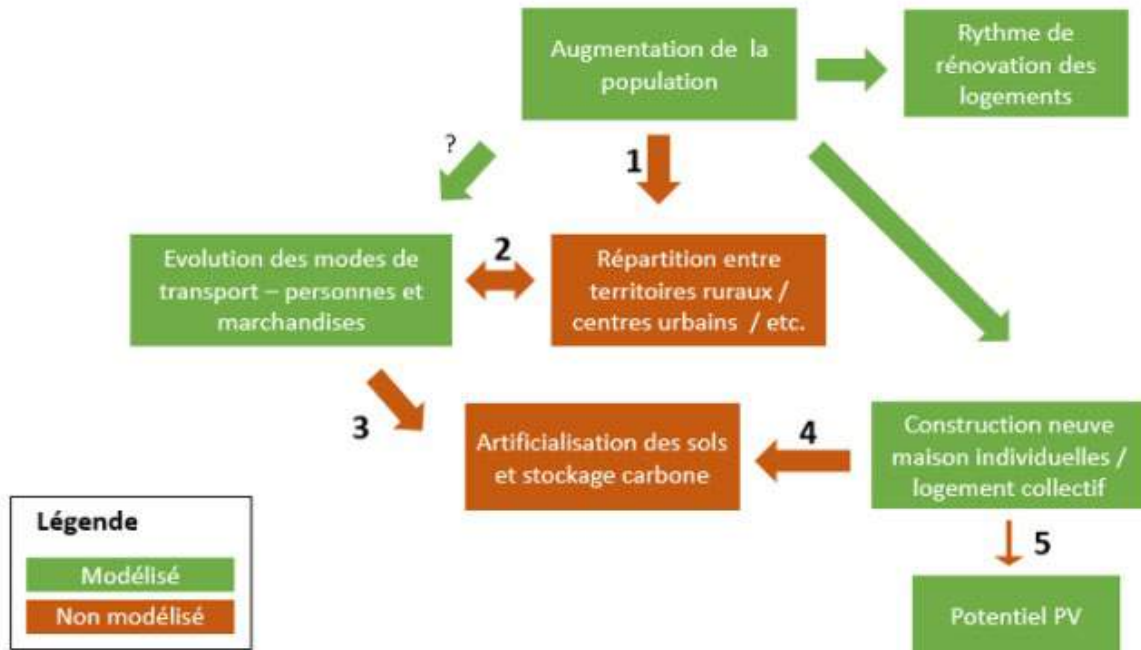


Figure Dimensions des formes macro urbaines modélisées ou non dans la Vision ADEME 2035 - 2050 - Institut négaWatt

Lien	Articulation	Approche	Outil possibles
1	Déclinaison de l'augmentation de la population par forme macro urbaine	Découpage selon les catégories INSEE, base des unités urbaines	
2	Lien transport de marchandises et transport de personnes avec les formes macro urbaines	Détailler les potentiels d'évolution des parts modales pour la mobilité régulière et locale par forme macro urbaine (au sens catégories INSEES base des unités urbaines)	GES-URBA Destination TEPos
3	Implication de l'évolution des modes de transport sur l'artificialisation des sols et stockage carbone	Estimation des évolutions en termes de voiries sur l'occupation des sols, puis évaluation des implications en termes de stockage carbone / enjeu probablement marginal	Aldo
4	Implication de la répartition maisons individuelles / collectives sur l'artificialisation des sols		GENIUS
5	Implication de la répartition maisons individuelles / collectives sur potentiel PV		GENIUS
6	Articulation entre transport et formes micro-urbaines		REMUS, MAPUCE
7	Implication de l'évolution des modes de transport sur l'artificialisation des sols et stockage carbone	Estimation des évolutions en termes de voiries sur l'occupation des sols, puis évaluation des implications en termes de stockage carbone	Aldo
8	Implication des formes micro urbaines sur l'artificialisation des sols & stockage carbone	Définir des catégories de formes micro urbaines et analyser les implications sur le stockage carbone. Etendre l'évaluation à toute la France	Aldo GES-URBA
9	Implication des formes micro urbaines sur les potentiels PV	Ajuster le modèle actuel au regard de cet enjeu à partir de catégories de formes micro urbaines	GENIUS / MAPUCE
10	Implication des formes micro urbaines sur les sous et sur consommations de l'usage des bâtiments (îlots de chaleur, compacité, etc.)	Ajuster le modèle actuel au regard de cet enjeu à partir de catégories de formes micro urbaines	GENIUS / MAPUCE
11	Implication des formes micro urbaines sur les consommations de matériaux	Définir des catégories de formes micro urbaines et analyser les implications sur les consommations de matériaux. Etendre l'évaluation à toute la France	Etude en cours InW ADEME consommation de matériaux pour les logements

Les enjeux à intégrer dans le modèle ADEME sont les suivants :

- 1. L'articulation entre dynamiques des formes macro-urbaines (densification, étalement urbain) et la mobilité régulière et locale, le transport de marchandises.**
- 2. L'articulation entre les formes micro urbaines (pavillons, haussmannien, etc.) et**
 - l'occupation des sols (stockage carbone),
 - la consommation (bioclimatique) et production énergétique (EnR),
 - la consommation des matériaux (énergie grise)

2. Développer une approche comptable de la structure de la France en termes de formes urbaines (état zéro du territoire).

La scénarisation à l'échelle nationale intégrant les formes urbaines nécessite de **disposer des bases de données disponibles et fiables sur la totalité du territoire**. En effet, le principal frein à l'intégration des formes urbaines dans les outils de modélisation énergétique est l'absence de base de données constituées des formes urbaines¹³.

Afin d'approfondir la question de la forme urbaine, il est nécessaire d'avoir à minima des données statistiques (pourcentages), mais elle est plus intéressante lorsqu'elle est également géographique (géométries géographiques géoréférencés et des bases de données, exploitables à l'aide d'un système d'information géographique - SIG). L'utilisation de l'outil SIG apparait alors une évolution intéressante de développement de l'outil de scénarisation de l'ADEME.

L'exploitation d'une base de données du territoire français intégrant les formes micro-urbaines suscite plusieurs problématiques :

- **la juste mesure de la résolution des données tout en garantissant une simplicité d'analyse et de scénarisation** : la couche « Urban Atlas » semble être une échelle adaptée particulièrement mais elle ne couvre pas l'ensemble du territoire, par ailleurs, la couche BD Topo à l'échelle du bâtiment n'est pas exploitable à l'échelle de la France.

- **la disponibilité, la fiabilité et mise-à-jour des données** : les bases de données comme la couche « BD Topo » de IGN ne sont pas disponibles gratuitement, par ailleurs les données « open street map » disponibles gratuitement ont une fiabilité faible.

L'enjeu est donc de renforcer, actualiser, fiabiliser ou constituer une base de données sur les formes urbaines à l'échelle nationale. La création de cette base de données nationale peut être envisagée par la classification des données cadastrales comme le propose l'outil développé dans le cadre du projet MApUCE (couche BDTopo).

¹³ Rapport ISEUT, 2014

3. Pistes la quantification des impacts énergie-carbone des formes urbaines à l'échelle France métropolitaine

Le travail de recensement a mis en évidence qu'aucun outil ne remplit l'ensemble des attentes à savoir couvrir l'ensemble du champ des impacts énergie-carbone des formes urbaines, à l'échelle nationale, avec une sortie de l'outil exprimant des valeurs en unité énergétique ou de carbone.

En vue de compléter l'outil de scénarisation ADEME à l'échelle de la France, différents cas d'utilisation des outils existants a été envisagée : l'utilisation directe d'un outil, l'extrapolation des formes urbaines, l'agrégation de scénarios prospectifs établis à une échelle plus restreinte.

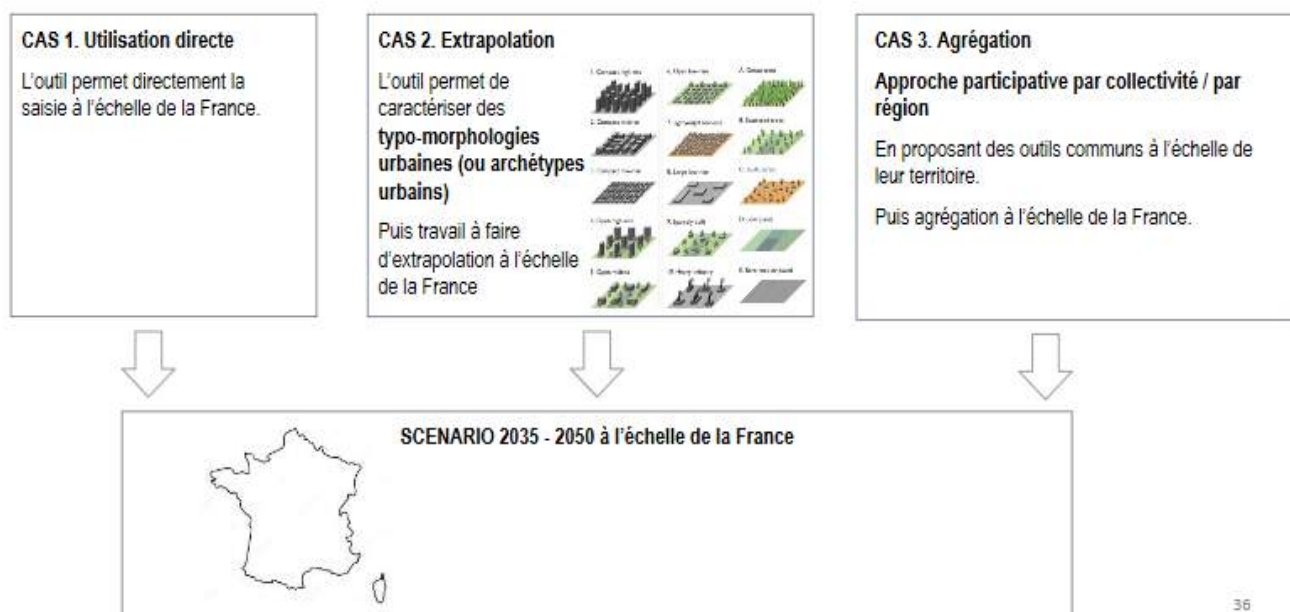


Figure 54 Les différentes stratégies d'intégration d'outils existants, TRIBU

Cas n°1 : Utilisation directe d'un outil à l'échelle nationale

Nous n'avons pas trouvé d'outil qui permette une utilisation directe en intégrant des données à l'échelle France qui intègrent les indicateurs à prendre en compte. Il s'embble possible, même si cela semble pas optimum, d'envisager un chaînage d'outils.

Si on prend en compte l'approche micro-urbaine de manière simplifiée, l'outil GES-Urba semble le plus intéressant de proposer une scénarisation à l'échelle nationale dans la mesure où il intègre l'énergie d'usage, des éléments sur le transport et des éléments sur le contenu carbone des bâtiments. L'outil ALDO, mobilisable à l'échelle nationale, permet d'intégrer plus largement la question du stock carbone. En vue d'associer les données de prospective urbaine à une échelle fine, il apparaît intéressant d'intégrer l'échelle micro-urbaine la méthode de classification comme le propose l'outil GENIUS, cependant il nécessitera un développement spécifique pour sa mettre en place.

Il peut aussi être envisagé de développer entièrement un modèle dans ce but : les modèles LUTI sont particulièrement flexibles pour modéliser ces questions comme dans ForCity, Urbansim.

	Bâti (énergie d'usage)	Transport personnes	Transport marchandises	Construction (énergie grise)	ENR	Réseaux, RCU, smart grid	Stock carbone
Actuel : Outil ADEME	2 classes morphologiques : maison / collectif	Non Part modale globale	Non Trafic global	Non	Non	Non	Secteurs agricoles Clim'Agri
Piste d'intégration des outils	GENIUS / MApUCE	GES-URBA REMUS	FRET-URBA	GES-URBA	GENIUS / MApUCE	REMUS ?	ALDO

Cette possibilité d'intégration nécessite une étude plus aboutie sur la capacité de chaînage des outils pour envisager la faisabilité : une possibilité différente est de proposer un développement sur mesure de l'outil.

Cas n°2 : Caractérisation de classes des formes urbaines pour une extrapolation à l'échelle nationale

Il s'agit d'extrapoler en identifiant des classes typo-morphologiques et en attribuant à chacune d'entre-elles une série de caractéristiques spécifiques liés aux indicateurs. Ceci est particulièrement intéressant pour les indicateurs micro-urbains. Plusieurs projets de recherche ont attribué des caractéristiques aux classes de formes urbaines.

Le recours à la classification des formes urbaines s'est révélé être une solution efficace pour analyser les indicateurs micro-urbains à l'échelle territoriale large. Plusieurs études ont développé des classifications typo-morphologiques principalement dans le cadre d'analyse prospective du microclimat urbain autour du phénomène d'îlot de chaleur. Le recours à la classification peut aussi être appliqué pour l'analyse des développements urbains, l'artificialisation des sols et l'énergétique urbaine.

Local Climate Zones (LCZ) de Stewart et Oke
 17 zones climatiques : 10 LCZ de type « bâti » (« building ») et 7 LCZ de type « non bâti » (« land cover »).

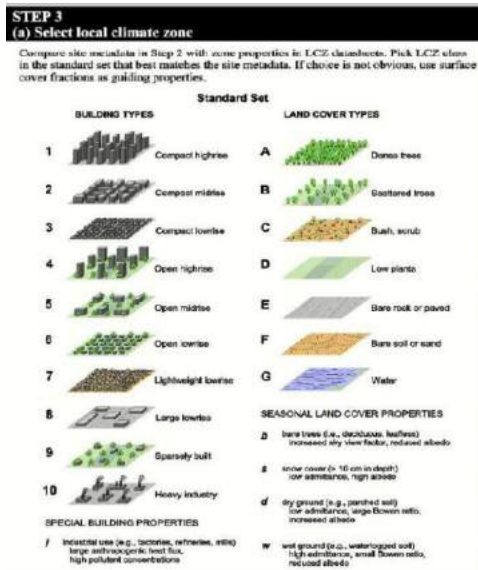
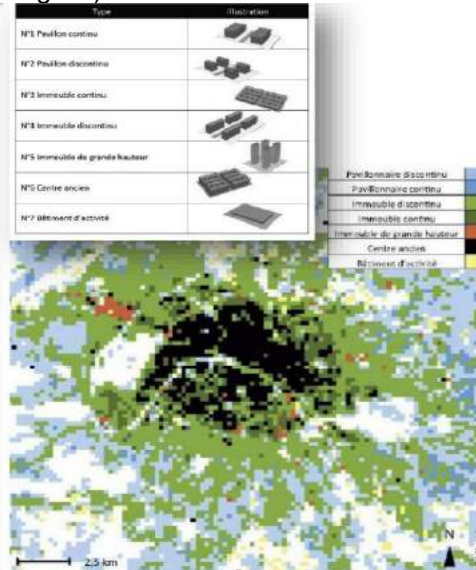


Figure 55 source IMU, AIU IDF, 2016

GENIUS (projet MUSCADE¹⁴)

7 formes urbaines de référence ou « îlots types » caractérisés par un seul type d'îlot et par une soixantaine d'indicateurs (hauteur, surface, âge...)



Ilots IMU de l'IAU, IDF

Travail de déclinaison de la méthode des LCZ contextualisée aux îlots parisiens, une cinquantaine d'indicateurs sont définis par classe.

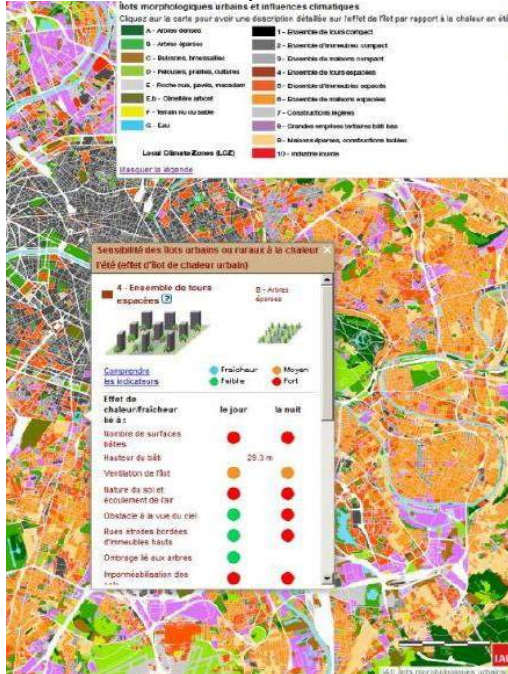


Figure 56 IMU, IAU IDF, 2016

Projet MAPUCE, LRA, IRSTV

10 classes de formes urbaines ont été identifiées. Un modèle d'analyse automatique a été développé.

1	PAVILLON DISCONTINU PD		La typologie "pavillon discontinu" correspond aux îlots composés de bâtiments d'un mètre quatre-vingt à deux mètres, souvent implantés au centre de chaque parcelle.
2	PAVILLON SEMI-CONTINU PSD		La typologie "pavillon semi-continu" correspond aux bâtiments de type maisons jumelées, implantés dans des lotissements en cité-jardin.
3	PAVILLON CONTINU SUR ÎLOT OUVERT PCO		La typologie "pavillon continu sur îlot ouvert" correspond au bâtiment de type maison en rangée, ou maisons de ville, mitoyennes sur deux faces, en épiement sur rue.
4	PAVILLON CONTINU SUR ÎLOT FERMÉ PCF		La typologie "pavillon continu sur îlot fermé" correspond aux bâtiments à patio en bande, constructions en couronne dans les centres urbains, à l'habitat intermédiaire.
5	IMMEUBLE DISCONTINU ID		La typologie "immeuble discontinu" correspond aux bâtiments généralement implantés au centre de l'îlot avec quatre façades.
6	IMMEUBLE CONTINU SUR ÎLOT OUVERT ICO		La typologie "immeuble continu sur îlot ouvert" correspond à un ensemble de bâtiments en partie alignés sur rue.
7	IMMEUBLE CONTINU SUR ÎLOT FERMÉ ICF		La typologie "immeuble continu sur îlot fermé" correspond aux bâtiments dans l'implantation classique d'un îlot fermé.
8	BÂTIMENT DE GRANDE HAUTEUR BGH		La typologie "bâtiment de grande hauteur" correspond aux bâtiments d'au minimum 12 étages appelés aussi « tour », « barre d'immeuble » ou « gratte-ciel ».
9	BÂTIMENT D'ACTIVITÉ BA		La typologie "bâtiment d'activité" est représentée par les bâtiments industriels, commerciaux ou agricoles voire les équipements sportifs.
10	ÎLOT INFORMEL		La typologie « îlot informel » correspond aux constructions éphémères, non répertoriées par les cadastres.

Figure 57 classification, MAPUCE, 2016

¹⁴ Modélisation Urbaine et Stratégies d'adaptation au Changement Climatique pour anticiper la Demande et la production Énergétique – projet ANR 2009-2013 coordonné par le GAME, associant CIRED, CSTB, LIENS, LRA, IAU IdF

La méthode classification - extrapolation apparaît très judicieuse mais nous n'avons pas trouvé d'étude suffisamment exhaustive qui caractérise les impacts énergie-carbone de ces classes. Il semble nécessaire d'établir une étude spécifique pour développer et proposer ce modèle.

Le mode opératoire serait alors le suivant :

> Renforcer, actualiser, fiabiliser les bases de données sur les formes urbaines à l'échelle nationale par une méthode de classification typo-morphologique des formes urbaines

Préalable à la démarche, il est nécessaire de constituer une base de données géographiques des formes urbaines à l'échelle nationale, via les outils tels que MApUCE, ou encore une adaptation de la couche Urban Atlas à l'ensemble du territoire français. L'usage de l'outil SIG, plus globalement, permettrait une approche territorialisée des scénarios ADEME.

> Caractériser les classes par les indicateurs énergie – carbone

Les outils de simulation à l'échelle micro-urbaine tels que Pléiades ACV Quartier, Sane City, CitySim, Solene-microclimat, pourraient se révéler intéressants pour la caractérisation des classes en travaillant en établissant des études paramétriques sur les typologies identifiées. L'autre solution est une approche statistique des consommations réelles sur une diversité de types de tissus urbains homogènes existants.

Le projet de recherche Multiplicité (Adolphe, 2018) a permis de caractériser le bilan énergétique de 3 archétypes urbains représentatifs de la ville de Toulouse sur la base d'une étude de sensibilité de l'impact des facteurs typo-morphologiques sur les besoins de chauffage, les besoins de refroidissement et la quantité d'énergie solaire incidente (l'irradiation solaire). Cette méthode pourrait être employée pour une diversité plus importante de typo-morphologies en vue de caractériser les indicateurs identifiés pour l'outil ADEME.

Les indicateurs micro-urbains suivants peuvent faire l'objet de classification typo-morphologique :

- Fonction du bâtiment
- Facteur de forme, compacité
- Type, date de construction du bâtiment
- Volume passif, largeur du bâti
- Facteur de vue du ciel, Prospect (ratio hauteur / largeur)
- Potentiel solaire EnR (surface de toiture)
- % végétal urbain
- Connectivité des réseaux de rue
- Facteur de vue du ciel, prospects

> Se donner la possibilité d'évaluer les dynamiques urbaines du territoire français dans le temps

Au-delà de la question de la méthode de modélisation, il y a une nécessité de proposer un outil qui puisse intégrer un suivi des objectifs à l'échelle nationale en mettant à jour les bases de données de façon périodique.

Synthèse de la proposition d'un outil :

Données d'entrée	Intégration directe des données géographiques : INSEE Corine Land Cover, Urban Atlas (mais seulement sur les agglomérations)	Classes typo-morphologiques - Analyse spatiale automatique sur la base de BD topo (IGN) (méthode MAPuCE) - Données Urban Atlas (mais seulement sur les agglomérations)	Saisie manuelle
Calcul des indicateurs	- Echelle et type de l'établissement urbain - Occupation du sol - % végétal et volume de biomasse urbaine	Caractérisation pour chaque classe : - Fonction du bâtiment - Facteur de forme, compacité - Type, date de construction du bâtiment - Volume passif, largeur du bâti - Facteur de vue du ciel, Prospect (ratio hauteur / largeur) - Potentiel solaire EnR, (surface de toiture) - Connectivité des rues - % de végétal (micro-échelle)	Action de scénarisation - Type d'aménagement, travaux
Sorties	Consommations d'énergie finale par secteur énergétique Potentiel de production d'électricité photovoltaïque Émissions de gaz à effet de serre Surfaces artificialisées		

Figure 58 Pistes de modèle d'intégration des indicateurs de forme urbaine à une échelle de prospective énergétique nationale, TRIBU

Cas n°3 : Agrégation des scénarios locaux (région, EPCI) à l'échelle nationale

Dans le CAS n°3, il s'agit de proposer une démarche « bottom-up » de construction du scénario ADEME, en proposant un outil commun de prospective énergétique et carbone pour chaque région ou collectivité. Cette approche qui mobilise les territoires peut générer une dynamique territoriale en lien avec les SRADDET et les PCAET et **insuffler une mobilisation autour des enjeux de transition énergétique et écologique**. La prospective à une échelle plus fine peut aussi permettre une **meilleure intégration du contexte territorial**. Cette démarche pourrait ainsi découler sur des plans d'actions plus précis, plus adaptées au contexte socio-économique et climatique de chaque territoire.

Dans cette démarche, il y a toujours nécessité d'opter pour des outils communs à une échelle territoriale large. Les outils existants comme GES-Urba, NEST TERR, Artelys Crystal City, Opportunitee, Prosper, Destination TEPOS peuvent être adaptés à cette démarche mais ne prennent pas en compte les formes micro-urbaines.

CONCLUSION

Les formes urbaines impactent la consommation énergétique et les émissions carbone du territoire français dans la mesure où elles déterminent les besoins en déplacements, les consommations et la production énergétique des bâtiments, l'énergie grise lié à la construction et le stockage carbone de la biomasse.

La prise en compte des formes urbaines dans l'outil de scénarisation « Vision 2035-2050 » de l'ADEME permettrait de mettre en cohérence les scénarios de perspectives énergétiques avec la prospective urbaine. Il s'agirait particulièrement de relier les formes macro-urbaines et la mobilité régulière et locale, le transport de marchandise, ainsi que les formes micro-urbaines avec l'occupation des sols (stockage carbone), la consommation (bioclimatique) et production énergétique (EnR) et la consommation des matériaux (énergie grise).

Le travail de recensement n'ayant pas permis de sélectionner un outil adapté, il semble nécessaire de développer un nouvel outil ou sur la base d'un chaînage d'outils pour intégrer la composante « forme urbaine » dans l'outil de scénarisation de l'ADEME. Ainsi, les tâches suivantes peuvent être mises en place :

- **le renforcement ou la constitution d'une base de données géographique nationale sur les formes urbaines** à l'échelle nationale proposant une classification typo-morphologique des formes urbaines. L'utilisation de l'outil SIG avec une capacité de traitement géographique des données apparait une évolution intéressante de développement de l'outil de scénarisation de l'ADEME ;
- **la caractérisation des classes** définies dans la base de données de formes urbaines, **par les indicateurs énergie – carbone sélectionnés** sur la base d'études paramétriques en simulation et/ou d'analyse statistiques de formes urbaines existantes ;
- **la possibilité de suivi dans le temps des indicateurs** en fonction de l'évolution du territoire ;
- **la mobilisation des territoires** pour générer une dynamique locale et régionale et permettre une **meilleure intégration du contexte territorial, climatique, socio-économique**.

L'intégration de la composante « forme urbaine » dans le travail de scénarisation de l'ADEME, ouvre la porte à la prise en compte d'une multiplicité d'enjeux connexes, qu'ils soient environnementaux, économiques et sociaux, comme l'adaptation au changement climatique et l'îlot de chaleur urbain, la qualité de l'air, la gestion de l'eau pluviale, la biodiversité, la précarité énergétique, la résilience, etc... ils sont interdépendants et rassemblent une diversité d'acteurs de l'aménagement du territoire.

BIBLIOGRAPHIE

Lien énergie et forme urbaine

1. ADEME, ADOLPHE Luc, BONHOMME Marion, BRETAGNE Geneviève, CASAUX-GINESTET Géraldine, CONTART Patrice, FARAUT Serge, MARTINS Tathiane et TORNAY Nathalie, août 2018. « MutlipliCités : Optimisation énergétique multiscalaire et modélisation multicritères des formes urbaines ». LRA-ENSA Toulouse, APR MODEVAL URBA 2015. 406 pages.
2. ADEME, BOUTTÉ Franck Consultants et Futuribles, août 2016. "Densité et formes urbaines : Etat de l'art, éléments de prospective et réalisation de fiches". 115 pages.
3. APUR, juin 2009. « Formes urbaines en Ile de France et émissions de gaz à effet de serre ».
4. ARANTES Laëtitia, janvier 2013. « L'intégration des données énergétiques dans la conception architecturale située ». Matériaux, mécanique, génie civil, électrochimie. Laboratoire AE&CC, Ecole Doctorale IMEP2. 472 pages.
5. ARANTES Laëtitia, MARRY Solène, BAVEREL Olivier et QUENARD Daniel, « Efficacité énergétique et formes urbaines : élaboration d'un outil d'optimisation morpho-énergétique », Cybergéo, novembre 2016
6. BADARIOTTI Dominique, BANOS Arnaud et MORENO Diego, 2006. « Conception d'un automate cellulaire non stationnaire à base de graphe pour modéliser la structure spatiale urbaine : le modèle Remus ». Cybergéo : European Journal of Geography [En ligne]. N°403.
7. BADARIOTTI Dominique, novembre 2011. « Morphologie urbaine et mobilité : outils et méthodes d'analyse conjointe des bases de données morphologiques et de mobilité ». Fonder les Sciences du Territoire, Université de Strasbourg. Pages 11 à 15.
8. BENZERZOUR Mohamed, octobre 2004. « Transformations urbaines et variations du microclimat : application au centre ancien de Nantes et proposition d'un indicateur "morpho-climatique" ». Mécanique, Thermique et Génie Civil. Laboratoire CERMA, Ecole d'Architecture de l'Université de Nantes. 344 pages.
9. BONTRON Jean-Claude, 2013. « L'empreinte énergétique des modèles d'urbanisation et d'habitat ». CAIRN. N°218, pages 71 à 79.
10. BOUZOUINA, QUETELARD et TOILIER, octobre 2013. « Emissions de CO2 liées à la mobilité domicile-travail : une double lecture par le lieu de résidence et le lieu de travail des actifs à Lyon et à Lille ». Développement durable et territoires. Vol. 4, n°3.
11. BOZONNET Emmanuel, 2005. « Impact des microclimats urbains sur la demande énergétique des bâtiments - Cas de la rue canyon. Sciences de l'ingénieur et génie civil. Université de la Rochelle. 177 pages.
12. CETE de l'Ouest, « Place des réseaux de chaleur dans les nouveaux quartiers, Effets de la densité et de la mixité sur la pertinence énergétique d'un réseau de chaleur », mars 2012
13. CHABROL Maximin, décembre 2015. « Re-examining historical energy transitions and urban systems in Europe ». Energy Research & Social Science. 8 pages.
14. COMMISSARIAT GÉNÉRAL À L'EGALITÉ DES TERRITOIRES, juillet 2018. « Rapport sur la cohésion des territoires ».
15. CONTI Benoît, juillet 2017. « Quantification du volume des émissions de CO2 liées aux déplacements domicile-travail des actifs interurbains des aires urbaines grandes et moyennes en France ». ERSA-Gr, ASRDLF. 24 pages.
16. DEPECKER, BRAU, PALLIER, septembre 1981. « Economies d'énergie et forme des bâtiments - L'analyse morpho-énergétique ». Revue CVC.
17. DJAAFRI Mohamed, juin 2014. « Forme urbaine, climat et énergie - Quels indicateurs et quels outils ? ». Architecture et Environnement. Laboratoire Architecture et Environnement, École Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme. 176 pages.
18. GAN, CHAN, TSE, LO et CHENG, mai 2017. « A comparative analysis of embodied carbon in high-rise buildings regarding different design parameters. Journal of Cleaner Production.
19. GARDEZI Syed Shujaa Safdar, SHAFIQ Nasir, ZAWAWI Noor Amila Wan Abdullah, KHAMIDI Muhd Faris, FARHAN Syed Ahmad, novembre 2015. « A multivariable regression tool for embodied carbon footprint prediction in housing habitat ». Habitat International. N°53, pages 292 à 300.
20. GART, 2008. « Urbanisme commercial et politiques de déplacements. Jalons pour un aménagement économique durable ».

21. GILL Bernhard, MOELLER Simon, 2018. « GHG Emissions and the Rural-Urban Divide. A Carbon Footprint Analysis Based on the German Official Income and Expenditure Survey. Ecological Economics. N°145, pages 160 à 169.
22. GRENIER Anne, 2007. « Ville et énergie. Spécificité et complexité de la question en France », dans « La ville dans la transition énergétique ».. Les annales de la recherche urbaine. N°103, pages 128 à 136.
23. HARGREAVES Anthony, CHENG Vicky, DESHMUKH Sandip, LEACH Matthew, STEEMERS Koen, 2017. « Forecasting how residential urban form affects the regional carbon savings and costs of retrofitting and decentralized energy supply ». Applied Energy. N°186, page 549 à 561.
24. HESPUL, « Les chiffres clés de l'énergie dans un projet d'aménagement »
25. HESPUL, « Prise en compte de l'énergie dans les projets d'aménagement de l'urbanisme de planification aux projets opérationnels »
26. HOUET, MARCHADIER, BRETAGNE, MOINE, AGUEJDAD, VIGUIÉ, BONHOMME, LEMONSU, HIDALGO, MASSON, septembre 2016. « Combining narratives and modelling approaches to simulate fine scale and long-term urban growth scenarios for climate adaptation ». Environmental Modelling & Software. Vol 86, pages 1 à 13.
27. HUANG Bin, XING Ke et PULLEN Stephen, décembre 2015. « Energy and carbon performance evaluation for buildings and urban precincts : review and a new modelling concept ». Journal of Cleaner Production. Pages 1 à 12.
28. KARL Thomas, DIAZ Henry et KUKLA George, novembre 1988. « Urbanization : Its Detection and Effect in the United States Climate Record ». American Meteorological Society. Pages 1099 à 1123.
29. KOUBAA TURKI Laila, RABOUDI Khaoula et BEN SACI Abdelkader, 2018. « Stratégies de prospect du droit solaire par l'immersion ». SHS Web of Conferences 47. N°18.
30. LABEEUW France-Laure, DUJARDIN Sébastien, LAMBOTTE Jean-Marc et TELLER Jacques, 2011. « Morphologie urbaine et consommation énergétique du bâti résidentiel pour répondre aux objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre ». Université de Liège.
31. LOTTEAU Marc, LOUBET Philippe et SONNEMANN Guido, août 2017. « An analysis to understand how the shape of a concrete residential building influences its embodied energy and embodied carbon ». Energy and Buildings. N°154, pages 1 à 11.
32. MAÏZIA Mindjid, MENARD, NICOLAS, TELLER, VIEJO et LACOSTE, 2008. « Les gisements du développement urbain : Analyse quantitative à l'horizon 2050 des consommations énergétiques et des émissions de CO2 des tissus urbains ».
33. MAÏZIA Mindjid, septembre 2007. « L'énergétique urbaine et la morphologie des villes - L'analyse du bâti parisien ». Les annales de la recherche urbaine. N°103. Pages 79 à 85.
34. MARRY Solène, ARANTES Laëtitia, 2013. « Étalement et densité : quels enjeux urbains à l'œuvre dans la conception des formes urbaines ? ». URBIA : Les Cahiers du développement urbain durable, Observatoire universitaire de la Ville et du Développement durable. Pages 195 à 217.
35. MARSHALL Julian, mai 2008. « Energy-efficient - Urban Form : Reducing urban sprawl could play an important role in addressing climate change ». Viewpoint, Environmental Science & Technology. Pages 3133 à 3137.
36. MARSHALL, mai 2008. « Energy-Efficient Urban Form », Environmental science and technology.
37. NORMAN Jonathan, MACLEAN Heather et KENEDY Christopher, mars 2006. « Comparing High and Low Residential Density : Life-Cycle Analysis of Energy Use and Greenhouse Gas Emissions ». Journal of urban planning and development. Pages 10 à 21.
38. OUSSENNAN Réda, janvier 2014. « Relation entre morphologie et performance énergétique – La recherche d'indicateurs morpho-énergétiques ». Ecole Nationale Supérieur d'architecture de la ville et des territoires de Marne-La-Vallée. 185 pages.
39. RATTI Carlo, RICHENS Paul, 2004. « Raster analysis of urban form ». Environment and Planning B: Planning and Design. Vol 31, pages 297 à 309.
40. SALAT Serge, 2011. « Un nouveau système d'indicateurs spatiaux ». Les villes et les formes - Chapitre 1. 24 pages.
41. SALAT Serge, NOWACKI Caroline, 2010. « De l'importance de la morphologie dans l'efficacité énergétique des villes » dans « Énergie et territoires ou comment construire les territoires de demain face à la nouvelle donne climatique et énergétique ». Liaison énergie-francophonie. N°86, pages 141 à 146.
42. SARKISIAN, SHOOK et ZHANG, 2014. « Developing a Basis for Design – Embodied Carbon in Structures ». 12 pages.
43. SIMONEN Kathrina, RODRIGUEZ Barbara et DE WOLF Catherine, novembre 2017. « Benchmarking the Embodied Carbon of Buildings ». Technology - Architecture + Design. Pages 208 à 218.

44. SUNGWON Lee, BUMSOO Lee, 2008. « The Influence of Urban Form on GHG Emissions in the U.S. Household Sector ». *Energy Policy*. 25 pages.
45. TARDIEU Charlotte, juillet 2015. « Transition énergétique dans les projets urbains : conditions de mise en œuvre ». *Architecture, aménagement de l'espace*. Université Lille 1 Sciences et technologies. 439 pages.
46. TORABI MOGHADAM Sara, TONIOLO Jacopo, MUTANI Guglielmina, LOMBARDI Patrizia, octobre 2017. « A GIS-Statistical Approach for Assessing Built Environment Energy Use at Urban Scale ». *Sustainable Cities and Society*. 45 pages.
47. TORNAY Nathalie, SCHOETTER Robert, BONHOMME Marion, FARAUT Serge, MASSON Valéry, 2017. « GENIUS : A methodology to define a detailed description of buildings for urban climate and building energy consumption simulations ». *Urban Climate*. N°20, pages 75 à 93.
48. TRAN Dong-Binh, POMBINI Arnaud, IGNATOWICZ Michal, MORENO Diego, FRIGUI Rassil, AGUILERA Anne et BADARIOTTI Dominique, décembre 2014. « Morphologie urbaine et mobilité dans la Communauté Urbaine de Strasbourg ». *Cybergeo : European Journal of Geography*. Document 702. <http://journals.openedition.org/cybergeo/26665> ; DOI : 10.4000/cybergeo.26665, consulté le 04 février 2019.
49. TRIGAUX, ALLACKER et DE TROYER, 2014. « Model for the environmental impact assessment of neighbourhoods ». *WIT Transactions on Ecology and The Environment, Environmental Impact II*. Vol 181. Pages 103 à 114.
50. VARAROATH MEAS Michel, octobre 2016. « la séquestration naturelle de carbone en milieu urbain : un outil de lutte contre les changements climatiques à promouvoir ». Centre universitaire de formation en environnement et développement durable, université de Sherbrooke. 135 pages.
51. YANCHUN Yi, SISI Ma, WEIJUN Guan et KE Li, avril 2017. « An Empirical Study on the Relationship between Urban Spatial Form and CO2 in Chinese Cities ». *MDPI, Sustainability*. Vol 9, 12 pages.

Etat de l'art outils

1. ADEME, BAILLY Boris, HAINAUT Hadrien, MAZAUD Léone-Alix, SUAUD Charlotte, janvier 2018. « Approche intégrée et multicritères de la modélisation territoriale éléments de cadrage pour la gestion des données territoriales ». *Care & Consult*. 82 pages.
2. ADEME, décembre 2016. « Outils numériques d'aide à la décision pour la planification territoriale stratégique, l'urbanisme et l'aménagement opérationnel : comment choisir ? ». *Care & Consult*. 24 pages.
3. ADEME, juin 2016. « Approche intégrée et multicritères dans les outils d'aide à la décision à vocation territoriale Éléments de cadrage pour la gestion des données territoriales ». *Care & Consult*. 33 pages.
4. ADEME, juin 2018. « Villes et territoires durables (urbanisme, systèmes énergétiques, sols) ». Séminaire r&d ADEME, la recherche au service de la transition énergétique. 60 pages.
5. ADEME, mai 2016. « MultipliCités : Optimisation énergétique multi-échelle et modélisation multicritère des formes urbaines ». Séminaire r&d ADEME, la recherche au service de la transition énergétique. 67 pages.
6. ADEME, mai 2016. « Parcours A : Urbanisme durable : modélisation & évaluation environnementales et sonores ». Séminaire r&d ADEME, la recherche au service de la transition énergétique. 49 pages.
7. ADEME, mai 2016. « Projet ASCENS : Articulation des Stratégies Climat Energie et planification Spatiale : quels leviers d'amélioration ? ». Séminaire r&d ADEME, la recherche au service de la transition énergétique. 82 pages.
8. ADEME, réalisée par BURGEAP, ICE, EGIS, CSTB, EIVP, et LVMT, avec AULAGNIER Simon, BOURDIC Loeiz, COHEN Martin, POUTREL Séverin, COLOMBERT Morgane, CÔME Jean-Marie, DRIS HAMED Insaf, GASSER Béatrice, JARRIN Thibaut, LESPINGAL Olivier, LATERRASSE Jean, NOWACKI Caroline, SAGLIO Antoine, SALAT Serge, ZERGUINI Seghir, novembre 2011. « Etat de l'art des indicateurs et des outils de calcul de consommation énergétique et de gaz à effet de serre - de l'échelle du quartier à celle de l'agglomération ». 49 pages.
9. CETE LYON ET MÉDITERRANÉE, « Éléments pour la prise en compte de l'énergie dans les documents d'urbanisme – Fiche outil ». 10 pages.
10. MASSON Valery, « MUSCADE : Modélisation Urbaine et Stratégies d'adaptation au Changement Climatique pour Anticiper la Demande et la production Énergétique ».

Outils

1. ADEME, juin 2012. « Émissions de Gaz à Effet de Serre et Opérations d'aménagement - Comparaison de scénarios d'aménagement -Outil GES Opam - Guide technique et des facteurs d'émission ». CERTU. 68 pages.
2. ADEME, juin 2012. « Émissions de Gaz à Effet de Serre et Opérations d'aménagement - Comparaison de scénarios d'aménagement -Outil GES Opam – Manuel de l'utilisateur ». CERTU. 54 pages.
3. ADEME, juin 2012. « Émissions de Gaz à Effet de Serre et Opérations d'aménagement - Comparaison de scénarios d'aménagement - Outil GES Opam – Présentation ». CERTU. 16 pages.
4. ADEME, mars 2016. « Documentation des facteurs d'émissions de la Base Carbone ® ». 287 pages.
5. ADEME, novembre 2011. « Émissions de Gaz à Effet de Serre et Opérations d'aménagement - Comparaison de scénarios -Outil GES SCOT - Guide technique et des facteurs d'émission ». CERTU. 115 pages.
6. ADEME, novembre 2011. « Émissions de Gaz à Effet de Serre et Opérations d'aménagement - Comparaison de scénarios -Outil GES SCOT – Manuel de l'utilisateur ». CERTU. 75 pages.
7. ADEME, novembre 2011. « Émissions de Gaz à Effet de Serre et Opérations d'aménagement - Comparaison de scénarios -Outil GES SCOT – Présentation ». CERTU. 20 pages.
8. ADEME, octobre 2008. « Guide pour une utilisation expérimentale « spécifique a l'urbanisme » du bilan carbone ® territoire v 5.0 ». 18 pages.
9. ADEME, septembre 2012. « Émissions de Gaz à Effet de Serre et Opérations d'aménagement - Comparaison de scénarios -Outil GES PLU - Guide technique et des facteurs d'émission ». CERTU. 87 pages.
10. ADEME, septembre 2012. « Émissions de Gaz à Effet de Serre et Opérations d'aménagement - Comparaison de scénarios -Outil GES PLU – Manuel de l'utilisateur ». CERTU. 71 pages.
11. ADEME, septembre 2012. « Émissions de Gaz à Effet de Serre et Opérations d'aménagement - Comparaison de scénarios -Outil GES PLU – Présentation ». CERTU. 19 pages.
12. ADOLPHE Luc, BONHOMME Marion, BONNEAUD Frédéric, BRETAGNE Geneviève, CASAUX-GINESTET Géraldine, CONTART Patrice, FARAUT Serge, MARTINS Tathiane, TORNAY Nathalie, septembre 2016. « MultipliCités : Optimisation énergétique multiscale et modélisation multicritères des formes urbaines ». 136 pages.
13. ALHAMWI Alaa, MEDJROUBI Wided, VOGT Thomas et AGERT Carsten, juillet 2017. « GIS-Based Urban Energy Systems Models and Tools: Introducing a Model for the Optimisation of Flexibilisation Technologies in Urban Areas ». Applied Energy. Vol 191, 13 pages.
14. ARTUR. « Logiciel FRETURB version 3 - Bon de Commande - Licence d'utilisation ».
15. BOCHER, PETIT, mai 2017. « Méthodes et outils pour la construction de la base de données MApUCE. ». FNAU. 26 pages.
16. BONHOMME Marion, AIT HADDOU Hassan, ADOLPHE Luc, novembre 2012. « GENIUS : A tool for classifying and modelling evolution of urban typologies ». PLEA2012 - 28th Conference, Opportunities, Limits & Needs Towards an environmentally responsible architecture. 6 pages.
17. BONHOMME Marion, décembre 2013. « Contribution à la génération de bases de données multi-scalaires et évolutives pour une approche pluridisciplinaire de l'énergétique urbaine ». Laboratoire de recherche en architecture, Laboratoire Matériau et Durabilité des Construction, Université de Toulouse. 46 pages.
18. BONHOMME Marion, décembre 2013. « Contribution à la génération de bases de données multi-scalaires et évolutives pour une approche pluridisciplinaire de l'énergétique urbaine ». LMDC et LRA, Université de Toulouse. 557 pages.
19. CAPEZZALI Massimiliano, CHERIX Gaetan. « MEU – Une plateforme web et cartographique pour le management et la planification énergétique de zones urbaines ». 8 pages.
20. CEREMA. « GES ET URBANISME : 3 OUTILS pour réduire les émissions de GES dans les SCoT, PLU et opérations d'aménagement ». Réussir la planification et l'aménagement durables cahier technique mobilité. Fiche Outil n°4, pages 39 et 40.
21. CEREMA. « Vos contacts au Cerema Territoires et ville ». 2 pages.
22. CIREM, PFEIFFER Basile, « Travaux sur la ville au CIREM ». 12 pages.
23. COMITE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DES INDUSTRIES CLIMATIQUES, mai 2002. « Les consommations d'Energie des bâtiments existants ». ENSAIS. 42 pages.
24. CONSEIL RÉGIONAL D'ILE DE FRANCE, CORDEAU Erwan, novembre 2007. « Bilan carbone de la région Ile-de-France ». Institut d'aménagement et d'urbanisme de la région d'Île-de-France. 140 pages.
25. CURB TOOL, juin 2017. « Climate Action for Urban Sustainability – User Guide ». 66 pages.
26. CURB TOOL. « Frequently Asked Questions ». 2 pages.
27. DE LAPPARENT Mathieu, octobre 2015. « Les modèles LUTI : état de l'art, exemples internationaux et effets d'agglomération ». Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, TRANSP-OR. 14 pages.

28. DREAL PACA, décembre 2010. « GES SCOT / Outil d'évaluation des émissions de gaz à effet de serre dans le SCOT ». Fiche n°4, 5 pages.
29. DURAND Béatrice, novembre 2014. « Du bon usage de la simulation énergétique des villes ». Puca le quatre pages. N°20, 4 pages.
30. EGGENBERGER Markus, ROSARIO PARTIDARIO Maria, septembre 2000. « Development of a framework to assist the integration of environmental, social and economic issues in spatial planning ». Impact Assessment and Project Appraisal. Vol 18, pages 201 à 207.
31. FERGUSON, BORREDON, FRERE, novembre 2016. « Le programme OPEN4 - rapport final ». 140 pages.
32. FORCITY, mai 2015. « Dossier de Presse ». 13 pages.
33. IAU, juillet 2018. « Projet SIMAURIF (SIMulation de l'interAction Urbanisation-transports en Région Ile-de-France.) : Perfectionnement et valorisation ». 97 pages.
34. IAU, juin 2011. « ULTISIM : vers un modèle intégré transport-urbanisme européen – Première phase ». 85 pages.
35. IES. « INDICATE : Indicator-based Interactive Decision Support and Information Exchange Platform for Smart Cities ». 2 pages.
36. INSTITUTE OF INFORMATION SYSTEMS, rédigé par REY Jean-Pierre, DUC Alain, 2012. « MEU 2012 – Management Energétique Urbain Développement de l'outil d'aide ». 1 page.
37. KEIRSTEAD James, février 2009. « Modelling urban energy systems with SynCity ». 18 pages.
38. KEIRSTEAD James, SHAH Nilay, décembre 2012, « bp-Imperial College Urban Energy Systems Project ». Urban Energy Systems. 57 pages.
39. LONG Nathalie, KERGOMARD Claude, décembre 2005. « Classification morphologique du tissu urbain pour des applications climatologiques – Cas de Marseille ». Revue Internationale de Géomatique. Vol 15, pages 487 à 512.
40. LOTTEAU Marc, YEPEZ-SALMON Grace, SALMON Nicolas, 2015. « Environmental assessment of sustainable neighborhood projects through NEST, a decision support tool for early stage urban planning ». Procedia Engineering. Vol 115, pages 69 à 76.
41. MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT, DE L'ÉNERGIE ET DE LA MER, octobre 2016. « Guide méthodologique pour la réalisation des bilans d'émissions de gaz à effet de serre des collectivités ». 24 pages.
42. NYTSCH-GEUSEN Christoph, décembre 2015. « Sustainable and energy-efficient redevelopment of city quarters – Analytical and planning tools for energy assessment and rehabilitation of urban districts (Open eQuarter) ». Université de Berlin. 32 pages.
43. NYTSCH-GEUSEN Christoph, KAUL Werner, WEHAGE Philipp, FÄRBER Michael, 2016. « Nachhaltige und energieeffiziente Bestandsentwicklung von Stadtquartieren – Entwicklung eines Analyse- und Planungstools zur energetischen Bewertung und Sanierung von Stadtquartieren (Open eQuarter) ». Université de Berlin. 193 pages.
44. NYTSCH-GEUSEN Christoph, KAUL Werner, WEHAGE Philipp, FÄRBER Michael, 2016. « Output Parameter of Open eQuarter ». Université de Berlin. 2 pages.
45. OSEO, ADVANCITY, septembre 2015. « SERVEAU : Simulation, Evaluation et Réduction de la Vulnérabilité Energétique des Aménagements Urbains ». 366 pages.
46. PARISTECH, PEUPORTIER Bruno, POPOVICI Emil et TROCME Maxime, « Analyse de cycle de vie à l'échelle du quartier ». Bilan et perspectives du projet ADEQUA. 8 pages.
47. SIEL, ENERGIES DEMAIN, juin 2016. « Prosper : l'outil de prospective énergétique territoriale ». 2 pages.
48. SIEL, ENERGIES DEMAIN. « PROSPER : outil de prospective stratégique territoriale de transition énergétique ». Atelier TEPOS. 22 pages.
49. TOILIER Florence, ALLIGIER Louis, PATIER Danièle et ROUTHIER Jean-Louis, mai 2005. « Vers un modèle global de la simulation de la logistique urbaine : FRETURB, version 2 – Rapport final ». Laboratoire d'Economie des Transports, Unité Mixte de recherche du CNRS, Université Lumière Lyon 2. 105 pages.
50. TORNAY Nathalie, BONHOMME Marion, FARAUT Serge, juin 2015. « GENIUS, a methodology to integrate building scale data into urban microclimate and energy consumption modelling ». ICUC9 – 9th International Conference on Urban Climate. 6 pages.
51. WADDELL Paul, 2002. « UrbanSim : Modeling Urban Development for Land Use, Transportation, and Environmental Planning ». APA Journal. Vol 68, n°3, pages 297 à 314.
52. WADDELL Paul, mars 2011. « Integrated Land Use and Transportation Planning and Modelling: Addressing Challenges in Research and Practice ». Transport Reviews. Vol 31, n02, pages 209 à 229.

53. WALSH Claire, FORD Alistair, BARR Stuart, DAWSON Richard, juillet 2012. « Spatio-temporal modelling framework for the integrated assessment of cities ». Centre for Earth Systems Engineering Research, School of Civil Engineering and Geosciences, Newcastle University. 13 pages.

Scénario Bâtiment

1. ADEME. « Cahier des charges : rénovation des logements 2050 ». 5 pages.

Scénario Energie Climat

1. ADEME, octobre 2017. « Synthèse - Actualisation du scénario énergie – ADEME 2035 – 2050 ». 12 pages.
2. ADEME, octobre 2017. « Actualisation du scénario énergie – ADEME 2035 – 2050 ». 48 pages.
3. ADEME, rédigé par ENERGIES DEMAIN, août 2015. « Un mix électrique 100% renouvelable ? Analyses et optimisations - Modélisation de la demande : méthode et principaux résultats ». 67 pages.

Scénario Urbanisme

1. ADEME, février 2018. « Quelles villes pour demain : Maitriser l'étalement urbain et repenser la ville ». 17 pages.
2. ADEME, par PRADEL Pauline et DUFFRENE Marc-Elian (Care & Consult), février 2018. « Faire la ville dense, durable et désirable – Agir sur les formes urbaines pour répondre aux enjeux de l'étalement urbain ». 72 pages.
3. ADEME, par SANNA Daniela, décembre 2017. « Stratégie urbanisme durable de l'ADEME 2018-2022 - Inspirer, accompagner et animer les acteurs de l'urbanisme dans la transition écologique et énergétique pour des territoires désirables, partagés, équilibrés ». 16 pages.
4. ADEME, par THEYS Jacques et VIDALENC Éric, septembre 2013. « Repenser les villes dans la société post-carbone ». 310 pages
5. ADEME, septembre 2016. « Nos logements en 2050 – Quelles évolutions pour notre habitat ? ». 16 pages.
6. CGET, juillet 2018. « Rapport sur la cohésion des territoires ». 44 pages.
7. OBSOCO (CROZET Agnès), CHRONOS (MARZLOFF Léa), octobre 2017. « Rapport d'étude - Observatoire des usages émergents de la ville ». 265 pages.
8. OBSOCO, CHRONOS, avec MOATI Philippe, DESCARREGA Boris, MARZLOFF Bruno, BREYNE Arthur, octobre 2017. « Synthèse et mise en perspective - Observatoire des usages émergents de la ville ». 49 pages.
9. TRAISNEL Jean-Pierre (CNRS), décembre 2016. « Tendances et scénarios – Habitat et tertiaire face aux enjeux énergétiques ». Ateliers de Prospective IAURIF. 12 pages.

Tendances urbanisme et occupation des sols

1. COMISSARIAT GENERAL AU DEVELOPPEMENT DURABLE, par BOUVART Coline, BRENDER Pierre, DUCOS Géraldine, octobre 2018. « Objectif « zéro artificialisation nette - Éléments de diagnostic ». 4 pages.
2. RÉGION RHONE-ALPES, par L'AGENCE D'URBANISME RHONE-ALPES, juin 2014. « L'urbanisme commercial en Rhône-Alpes ». 36 pages.
3. ADEME, février 2019. « Quelles villes pour demain ? L'urbanisation gagne du terrain, avec des impacts tant sur l'environnement que sur notre qualité de vie. Alors, comment rendre les villes à la fois plus durables et désirables ? ». 1 page.
4. BECHET, BISSONNAIS, RUAS, AGUILERA, ANDRE, ANDRIEU, AY, BAUMONT, BARBE et VIDAL BEAUDET, décembre 2017. « Sols artificialisés et processus d'artificialisation des sols : déterminants, impacts et leviers d'action [Rapport de recherche] ». INRA, IFSTTAR. 623 pages.

Données échelles nationales

1. ADEME, par ALFARÉ Aurélien, LETZ Thomas, VERZAT Benoît, avril 2018. « Données pour la planification énergétique territoriale - Présentation de deux supports pour faciliter la collecte des données ». 8 pages.
2. AGRESTE, 2014. « Croisement entre occupation et utilisation du territoire en 2014 ». Agreste Chiffres et Données Agriculture. N°229, pages 32 à 35.
3. CEREMA, par RICHARD Olivier, novembre 2017. « Comprendre la mobilité pour agir – Des outils en évolution ». Séminaire Observation Urbaine / actualités. 6 pages.
4. COMISSARIAT GENERAL AU DEVELOPPEMENT DURABLE, avril 2009. « La France vue par CORINE Land Cover, outil européen de suivi de l'occupation des sols ». Le point sur. N°10, 4 pages.
5. EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, COMMISSION EUROPEENNE, mai 2017. « Copernicus Land Monitoring Service – Local Component : Urban Atlas ». 2 pages.
6. TERUTI, LUCAS, 2017. « Utilisation du territoire – Occupation des sols ». GrapAgri. Page 14.

INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES

TABLEAUX

Tableau 1 Impacts énergie carbone et formes urbaine, TRIBU	12
Tableau 2 Impacts énergie-carbone d'un territoire, TRIBU, Librement inspiré de LABEEUW, DUJARDIN, LAMBOTTE et TELLER, Morphologie urbaine et consommation énergétique du bâti résidentiel pour répondre aux objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre, 2011	13
Tableau 3 : Etat de la recherche sur les impacts énergie-carbone des formes urbaines, TRIBU	30
Tableau 3 Sélection des indicateurs, TRIBU	82

FIGURES

Figure 1 Méthodologie d'investigation de l'étude (TRIBU, Institut NegaWatt, Solagro)	9
Figure 2 Notion de forme urbaine, TRIBU, à partir de divers travaux (SALAT, 2011; ADEME, 2016; Labeeuw et al, 2011)	11
Figure 3 Evolution des densités de population entre 1936 et 1999, DATAR	14
Figure 4 Formes urbaines en Ile de France et émissions de gaz à effet de serre, APUR, 2009, extrait du rapport ADEME, Formes urbaines et densité, 2016	15
Figure 5 Institut NegaWatt, sur la base de l'enquête nationale transport-déplacements de 2008	15
Figure 6 INSEE, Le nouveau zonage en aires urbaines de 2010	16
Figure 7 Extrait de CGET, Rapport national sur la cohésion des territoires, juillet 2018	17
Figure 8 : Evolution de la distance moyenne à la ville-centre de la construction neuve Source : MEDDTL/SOeS, Sítadel / Schéma extrait de ADEME, Formes urbaines et densité, 2016	18
Figure 9 : Parc de résidences en habitat collectif ou individuel en 2018 (en milliers) Sources : Insee et SDES, estimation annuelle du parc de logements.	18
Figure 10 : Evolution des mises en chantier de logements : à gauche en logements entre 1960 et 2008, à droite en milliers de logements entre 2000 et 2014 – sources : SOeS, Sítadel2, MEDDE - Schéma extrait de ADEME, Formes urbaines et densité, 2016	19
Figure 11 : Occupation des sols en France Métropolitaine en 2014 (à gauche) et répartition des sols artificialisés en France Métropolitaine en 2014 (à droite) – Source : ADEME, d'après AGRESTE/ Teruti-Lucas – Extrait de ADEME, Formes urbaines et densité, 2016	20
Figure 12 : Evolution des zones artificialisées comparée à celle de la population (absence de données entre 2004 et 2005 pour les zones artificialisées) – Source : Ministère de l'agriculture, Teruti-Lucas et INSEE- Extrait de ADEME, Formes urbaines et densité, 2016	20
Figure 13 : Surfaces imperméabilisées en métropole de 1981 à 2030 (km ² bâtis et revêtus, % de la surface métropolitaine) – source : calculs CGDD d'après Teruti-Lucas 1981-2012 (séries raccordées), projection 2012-2030 en fonction des tendances démographique et économique – Extrait de Commissariat Général au Développement durable, Objectif « zéro artificialisation nette », 2018	21
Figure 14 : : Extension forte et contrastée de l'artificialisation des sols entre 2000 et 2006 – Source : UE-SOeS, CORINE Land COVER, 2006 – Extrait de CGDD, La France vue par CORINE Land Cover	21
Figure 15 : Changements d'occupation des sols entre 2006 et 2015 - Source Enquête TERUTI-LUCAS 2015, Agreste, 2017	22
Figure 16 : Progression de l'artificialisation des sols en France métropolitaine par type d'usage (source: SSP, enquêtes Teruti-Lucas 2006 et 2014), Schéma extrait de ADEME, Densité et formes urbaines , 2016	22
Figure 17 : Types d'implantations et de demandes pour le développement d'espaces commerciaux – Source : Urbanicom, octobre 2005 – Extrait de GART, Urbanisme commercial et politiques de déplacements. Jalons pour un aménagement économique durable, 2008	23
Figure 18 : Existence de lignes de Transport collectif qui, sans passer par le centre de l'agglomération, relie zones commerciales et zones d'habitat – Extrait de GART, Urbanisme commercial et politiques de déplacements. Jalons pour un aménagement économique durable, 2008	24
Figure 19 : Population à l'horizon 2040, Extrait de CGET, Rapport national sur la cohésion des territoires, juillet 2018	25
Figure 20 : Aspiration des Français à vivre ailleurs, Source : ADEME - Faire la ville dense durable et désirable, 2018, données TNS Sofres, 2007	26
Figure 21 : Aspiration des Français en termes de logement / Source : ADEME - Faire la ville dense durable et désirable, 2018, données TNS Sofres, 2007	26

Figure 22 : Une typologie des différents modes d'agriculture urbaine / Source : Julien FOSSE, "Décryptage n°18, La Fabrique écologique, Septembre 2018	28
Figure 23 : Exemple de modèle LUTI: le modèle REMUS (voir PARTIE 4)	31
Figure 24 : source du schéma: APUR, Formes urbaines en Ile de France et émissions de gaz à effet de serre, juin 2009 à partir des travaux de Newman et Kenworthyet, 1989	34
Figure 25 : source des schémas: APUR, Formes urbaines en Ile de France et émissions de gaz à effet de serre, juin 2009	35
Figure 26 : Données sources : Enquête nationale transport-déplacements de 2008 et Comptes de transport de la nation	35
Figure 27 : Données sources : Enquête nationale transport-déplacements de 2008 et Comptes de transport de la nation	36
Figure 28 : Emission moyenne de CO2 à la commune de résidence (source: Bouzina, Quetelard et Toilier, 2013)	36
Figure 29 : Emission moyenne de CO2 à la commune de travail (source: Bouzina, Quetelard et Toilier, 2013)	37
Figure 30 : L'évolution de la consommation d'énergie par habitant pour la mobilité régulière et locale - analyse des données du scénario négaWatt 2017 source : Institut négaWatt 2019	39
Figure 31 : Evolution des consommations énergétiques de la mobilité régulière et locale en France - analyse des données du scénario négawatt 2017 - source Institut négaWatt 2019	39
Figure 32 : Comparaisons de scénarios extrêmes relatif à l'urbanisme commercial exprimés en km hebdomadaires	42
Figure 33 : Le paradoxe énergétique urbain, Marion Bonhomme, 2013	55
Figure 34 : source : NUSS Stéphane, Les consommations d'énergie des bâtiments existants, COSTIC, 2002	56
Figure 35 Consommations d'électricité et de combustibles des bureaux publics en 2012, source : energieplus-lesite.be	57
Figure 36 : Analyse de la compacité et des consommations de chauffage de 14 morphologies urbaines / source Depecker et al, 2001	60
Figure 38 : ARANTES, MARRY, BAVEREL et QUENARD, "Efficacité énergétique et formes urbaines: élaboration d'un outil d'optimisation morpho-énergétique", Cybergéo, 2016	61
Figure 39 Schéma d'un canyon urbain (source : Mills, 2005)	63
Figure 40 Oke, 1981	65
Figure 41 Nombre d'heure de soleil le 21 décembre, TRIBU, 2018	Erreur ! Signet non défini.
Figure 42 Intensité maximale de surchauffe urbaine en fonction de la population de la ville (Oke, 1973)	68
Figure 43 Cadastre solaire, Annecy	70
Figure 44 Comparaison du contenu carbone du tissus peu dense avec celui d'un tissu dense, Norman, 2006	73
Figure 45 Lotteau, 2017 relations entre compacité et contenu carbone	74
Figure 46 Simulation des émissions de gaz à effet de serre en fonction du nombre d'étage à plan de masse et matériaux égaux (hors production EnR) - source ENERTECH 2019	75
Figure 47 Représentation schématique de l'influence du nombre d'étages sur plusieurs éléments clés de la performance énergie climat des formes urbaines - source Institut négaWatt	Erreur ! Signet non défini.
Figure 48 Méthode d'analyse croisée, TRIBU	84
Figure 49 Schéma de la méthode de sélection des outils, TRIBU	Erreur ! Signet non défini.
Figure 50 Principe des outils, schéma TRIBU	85
Figure 51 : Outils et échelles, TRIBU	Erreur ! Signet non défini.
Figure 52 Vue du modèle de l'îlot Confluence, projet ARIADNE	87
Figure 53 Méthode développée dans le cadre de MAPUCE (Amossé, 2016)	98
Figure 54 : CEREMA, carte de couverture 2016 des Enquêtes Ménage déplacements	108
Figure 37 Les différentes stratégies d'intégration d'outil existants, TRIBU	115
Figure 38 source IMU, AIU IDF, 2016	117
Figure 39 IMU, IAU IDF, 2016	118
Figure 40 classification, MAPUCE, 2016	118
Figure 41 Piste de modèle d'intégration des indicateurs de forme urbaine à une échelle de prospective énergétique nationale, TRIBU	119

SIGLES ET ACRONYMES

ACV	Analyse du Cycle de Vie
ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
APUR	Atelier Parisien d'Urbanisme
BD	Base de Données
CEREMA	Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement
CGET	Commissariat général à l'Égalité des territoires
CNRS	Centre National de la Recherche Scientifique
CO2	Dioxyde de Carbone
COSTIC	Comité Scientifique et Technique des Industries Climatiques
CSTB	Centre Scientifique et Technique du Bâtiment
EnR	Energies Renouvelables
GES	Gaz à Effet de Serre
IAU	Institut D'aménagement et D'urbanisme
IDF	Ile-De-France
IGN	Institut National de l'Information Géographique et Forestière
IMU	Ilot Morphologique Urbain
INSEE	Institut National de la Statistique et des Études Économiques
IRIS	Ilots Regroupés pour l'Information Statistique
LET	Laboratoire d'Economie des Transports
LUTI	Land Use Transport Interaction
PLU	Plan Local d'Urbanisme
RCU	Réseau de Chaleur Urbain
SCoT	Schéma de Cohérence Territoriale
SIG	Système d'Information géographique

SNBC	Stratégie Nationale Bas Carbone
TRIBU	Techniques Recherches et Innovations pour le Bâtiment et l'Urbain

ANNEXE // AUTRES OUTILS ANALYSES

Météor, Wattstrat, France

C'est un outil de modélisation territoriale centré sur les enjeux énergie-climat. Il permet de définir des scénarios selon un modèle technico-économique (bottom-up) de simulation de la demande énergétique finale à long terme qui repose sur une représentation détaillée de la consommation d'énergie par secteur, par usage et par forme d'énergie. Il permet prendre en compte des spécificités sociales, économiques et climatiques du territoire. Une interface permet à l'utilisateur de définir les modules pertinents de consommation d'énergie à considérer, (niveau de désagrégation) et de choisir les modalités de simulation appropriées pour le territoire. MedPro comprend également un module de projection des courbes de charges, un module pour l'offre d'énergie et un module pour les émissions de gaz à effet de serre. Cet outil n'est plus commercialisé mais distribué gratuitement en open source sur le site <https://www.wattstrat.com/meteor/>.

CURB, World Bank in partnership with AECOM Consulting, Bloomberg Philanthropies and the C40 Cities Climate Leadership Group.,

CURB, Climate Action for Urban Sustainability est un outil simplifié de prospective pour aider les villes dans leur stratégie d'action contre le changement climatique.

INDICATE, IES, VE, Royaume-Uni

Indicator-based Interactive Decision Support and Information Exchange Platform for Smart Cities, INDICATE aims to develop an interactive cloud-based tool, which will provide dynamic assessment of the interactions between buildings, the electricity grid, the Electric Vehicle (EV) grid and Renewable and ICT technologies.

«Open eQuarter », edk-Berlin, Ministère du bâtiment d'Allemagne, Allemagne, Berlin

Plugin QGIS, sur la performance énergétique des bâtiments, travail de datation des bâtiments afin de déterminer leur performance énergétique, outil open-source

ENERTER, Energies Demain, France

Calcule les consommations en fonction du type de logement et des occupants.

Equité, BURGEAP, France

Outil qui permet le diagnostic des enjeux énergétiques et climatiques du territoire, test et comparaison de scénarios d'aménagement (critères rénovation énergétique et précarité), suivi de la mise en œuvre de plans d'action dans le temps et dans l'espace.

MEU - Management Énergétique Urbain, EPFL, Suisse, Lausanne

Management énergétique urbaine. Etat des lieux énergétique des zones urbaines, scénarios énergétiques sur la demande et la production, base de données sur les systèmes énergétiques urbains.

TERRistory, AURAE, France

C'est outil web interactif, gratuit, d'aide à la décision basé sur la visualisation de données (flux, graphiques, cartes,...). Au-delà de l'analyse du fonctionnement d'un territoire, l'outil TerriSTORY vise à terme de pouvoir élaborer des scénarii prospectifs et d'en mesurer l'impact environnemental, économique et social. Il est accessible à l'adresse suivante : <https://terristory.fr/>

REMUS, Laboratoire Image Ville et Environnement ; Laboratoire d'informatique du traitement de l'information et des systèmes ; Laboratoire ville mobilité transports, France

Outil développé dans le cadre du PROGRAMME DE RECHERCHE ET D'INNOVATION DANS LES TRANSPORTS TERRESTRES, modèle d'analyse des formes urbaines dans le but de mobilité et de réseaux.

SYNCITY, Imperial College, Royaume-Uni (2009)

S'adresse aux concepteurs des villes nouvelles. Vise à fournir, à l'échelle de la ville, une aide à la décision sur la sélection du mix énergétique et des solutions de production associées, l'optimisation des différentes fonctions de la ville, et l'optimisation du réseau de transport. Surtout pour un usage R&D.

CitySIM, LESO, EPFL

Outil de simulation de la demande énergétique des bâtiments basé sur le bilan énergétique. Il permet de simuler les flux énergétiques de plusieurs bâtiments en tenant compte de paramètres importants comme la composition des murs ou le climat. Des données clés telles que les besoins de chauffage ou en refroidissement peuvent alors être exploitées.

ArboClimat, ADEME-Arbre en Ville, ECIC, France-Hauts de France

Outil de calcul sur l'impact sur la séquestration du carbone et sur le climat urbain des plantations d'arbres en ville.

Volet qualitatif sur le rôle de l'arbre en ville (guide téléchargeable) et outil xls en constante évolution. Stockage de carbone considéré uniquement sur le volet biomasse. Pas de pas de temps précis pouvant permettre une simulation des flux dans le temps, mais cela semble un développement possible et accessible. Plutôt à portée pédagogique, mais potentiellement déclinable à l'échelle France avec deux indicateurs : stockage carbone dans les arbres urbains et potentiel bois énergie correspondant, décliné sur de nombreuses espèces.

Urbansim, Paul Waddell, US, Californie

UrbanSim est un modèle de simulation du développement urbain, open-source qui existe depuis 15 ans. Cet outil a été utilisé à Paris, par l'IAU IDF pour développer SimAURIF. <http://www.urbansim.com>

Solene-Microclimat, CRENAU, IRSTV, France

SOLENE microclimat est un outil de simulation numérique permettant de modéliser le climat urbain à l'échelle du quartier. Développé au CRENAU, laboratoire de l'école d'architecture de Nantes, cet outil permet de questionner les questions de l'aménagement urbain et de ses répercussions sur diverses problématiques : îlot de chaleur urbain, confort thermique, consommations énergétiques du bâtiment, etc...

BENTO, Energie Demain, France

BENTO (Base de transition Énergétique et Numérique des TerritOires) pour Rennes Métropole vise à mettre en place une description du parc bâti, de ses performances énergétiques, de ses usages, de ses occupants et de leurs consommations qui puisse être alimentée et utilisée par l'ensemble des acteurs du cycle de vie du bâti et du territoire.

OPEN4, ICAM, CNRS,

Outil d'aide à la décision qui prend la forme d'un logiciel de projection de l'empreinte écologique des décisions urbaines à destination des petites et moyennes communes périurbaines dans le but d'atteindre le facteur 4. Il se base sur les données de GES-Urba avec une interface graphique.

L'ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Elle met ses capacités d'expertise et de conseil à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale. L'Agence aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, les économies de matières premières, la qualité de l'air, la lutte contre le bruit, la transition vers l'économie circulaire et la lutte contre le gaspillage alimentaire.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de la Transition Ecologique et Solidaire et du ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

<https://www.ademe.fr/>

LES COLLECTIONS DE L'ADEME



ILS L'ONT FAIT

L'ADEME catalyseur : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.



EXPERTISES

L'ADEME expert : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous un regard.



FAITS ET CHIFFRES

L'ADEME référent : Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.



CLÉS POUR AGIR

L'ADEME facilitateur : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation



HORIZONS

L'ADEME tournée vers l'avenir : Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.

ÉVALUATION PROSPECTIVE DES FORMES URBAINES DANS LE CADRE DE LA TRANSITION ÉNERGETIQUE ET ÉCOLOGIQUE

L'objectif de l'étude est d'engager une réflexion sur la manière d'articuler concrètement prospective énergétique et prospective géographique, en proposant des pistes d'intégration de la brique « formes urbaines » dans les scénarios énergie-climat « Visions 2035-2050 » de l'ADEME.

Sur la base d'un état de l'art, il s'agit d'identifier et sélectionner les indicateurs d'évaluation énergie-carbone de la forme urbaine les plus influents dans un travail de prospective urbaine et énergétique.

L'étude recense et analyse les outils de prospective énergétique existants en vue de sélectionner ceux qui pourraient s'adapter à une scénarisation à l'échelle nationale.



www.ademe.fr

