

Habitat et déplacement dans les aires urbaines

Impacts énergétiques et environnementaux de la croissance périurbaine

Charles Raux
Jean-Pierre Traisnel

L'analyse des rapports de la ville et de l'énergie, occultée pendant plusieurs décennies à la faveur du faible coût du pétrole, connaît un regain d'intérêt spectaculaire, en ce début de siècle. Le renchérissement des énergies fossiles, les émissions de polluants divers dans l'atmosphère des villes et leur impact sur la santé, la contribution des activités humaines au réchauffement climatique, reposent la question des formes urbaines, et de la densité.

En particulier, l'objectif d'une division par 4 des émissions de gaz à effet de serre entre 1990 et 2050¹ soulève un grand nombre de questions, qui nécessitent une articulation entre plusieurs niveaux de réponse. Face à une vision centralisée de la production et de la distribution d'énergie qui s'est imposée dans la recherche d'une moindre dépendance de l'approvisionnement électrique national envers les énergies fossiles, le contexte de décentralisation donne plus de poids aux collectivités, notamment à partir de leur capacité à promouvoir des innovations dans les espaces, les structures et les réseaux. Cette entrée par l'innovation, qui n'est pas seulement de nature technologique, permet de s'interroger sur les inflexions de comportements, et sur le changement des modes de vie dans des sociétés urbaines plus conscientes des enjeux énergétiques et climatiques.

Le caractère non « soutenable » de l'étalement urbain (en particulier sous la forme de la maison individuelle en diffus) est admis assez largement, et la ville dense est perçue comme durable. Un rapport récent de l'Agence européenne de l'environnement (EAA, 2006) conforte à cette analyse. Mais les travaux de recherche, en France, sont encore peu nombreux pour nourrir ce constat².

La localisation des activités et des logements, articulée au système de déplacements est une des variables d'ajustement possible, pour une société plus neutre en carbone. Le recours aux énergies décentralisées, solaire, éolien, biomasse, qui semblent en plein essor, est-il susceptible de moduler les termes du débat, et de rendre moins critique la situation du périurbain, voire de s'accommoder des processus d'étalement urbain ? Une comparaison des diffé-

rentes formes urbaines et de leur capacité à contribuer aux besoins énergétiques par la solarisation des toitures, apportera quelques éléments de réponse. Le rôle des collectivités apparaît alors central pour une gestion appropriée de l'eau, des déchets et de l'énergie.

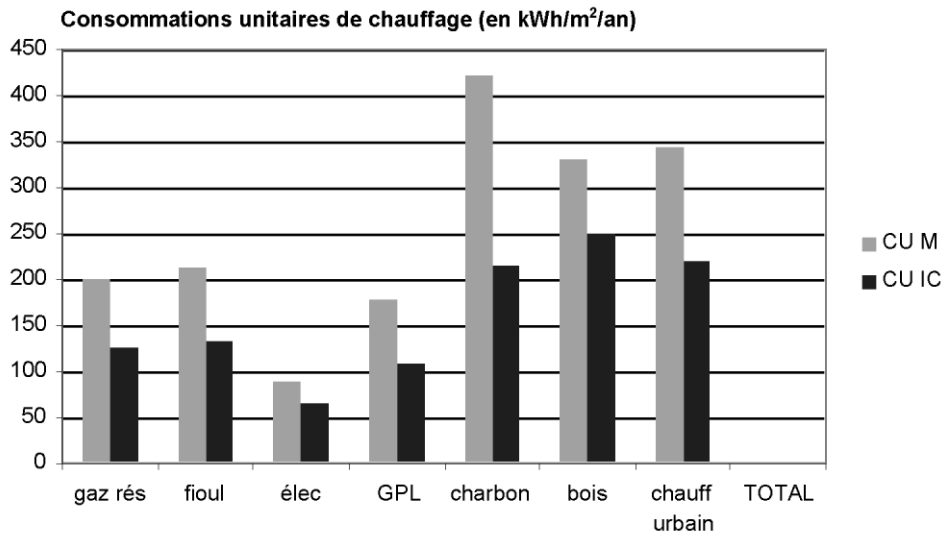
La recherche de l'efficacité énergétique dans le nexus habitat-transport

Dans le parc résidentiel existant, les consommations unitaires de chauffage dépendent non seulement de l'énergie de chauffage, souvent liée à l'âge de la construction – les logements les plus anciens sont encore chauffés au charbon, ou au fioul –, mais aussi de la typologie : selon l'énergie, les maisons individuelles consomment de 10 à 50% plus d'énergie de chauffage que les logements en immeuble collectif, par unité de surface habitable (figure 1). Ces niveaux de consommation énergétique sont très éloignés de ce qu'il est possible d'atteindre dans la construction neuve.

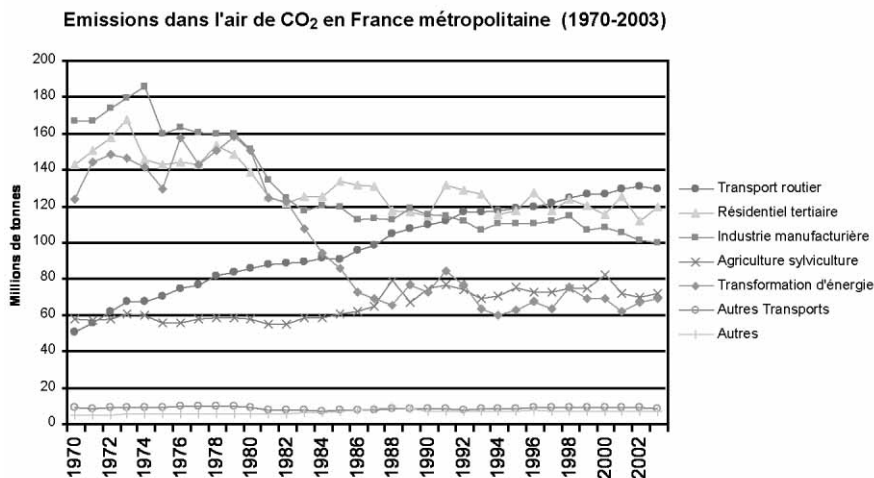
La construction de bâtiments neufs performants obéit à une réglementation thermique de plus en plus rigoureuse. Le taux extrêmement faible de renouvellement du

1. D'après le GIEC, compte tenu de la croissance actuelle de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère, un objectif raisonnable serait de stabiliser cette concentration à 450 ppm (contre 382 ppm aujourd'hui), pour limiter la hausse de température moyenne à une fourchette de 1,5 à 3,9°C. Pour obtenir cette stabilisation, il faudrait réduire les émissions annuelles mondiales en 2050 à 4 Gt de carbone, soit 0,6 t de carbone par habitant et par an. Pour la France, cela représente une division par quatre de ses émissions actuelles.

2. Pour une analyse dépassant la question environnementale, cf. Berque A. et al., 2006.



Consommations d'énergie de chauffage, par unité de surface habitable, dans les résidences principales en France (données 2000). MI : maisons individuelles ; IC : immeubles collectifs ; gaz rés : gaz naturel en réseaux. Source : Energies Demain/LTMU



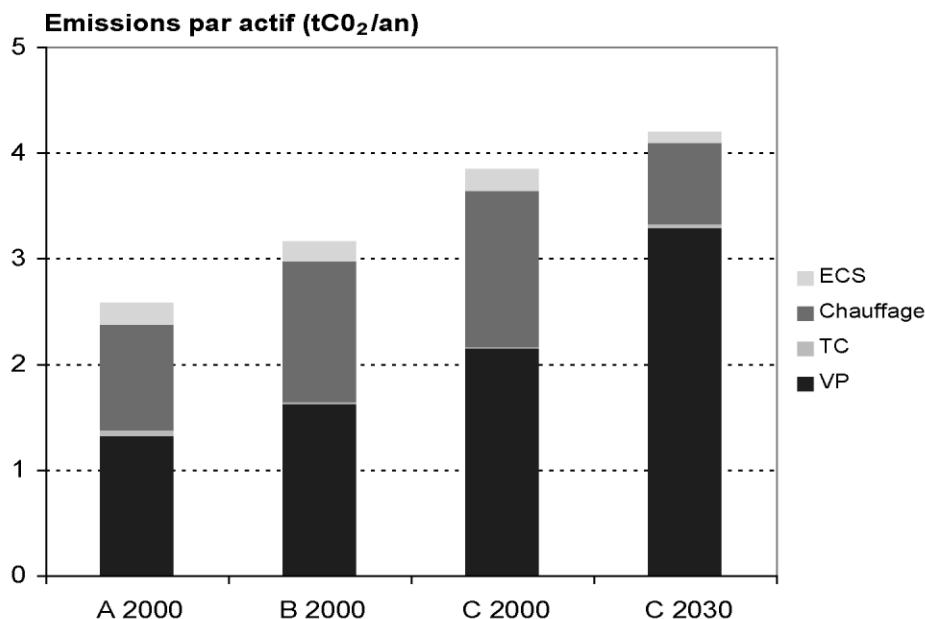
Evolutions des émissions de CO₂ (1970-2003). Source : CITEPA (2005)

parc – pour les résidences principales, ce taux est estimé à environ 0,2% par an, si l'on s'appuie sur les chiffres récents de destructions de logements – n'en fait pas une solution générale. L'impact en émissions de dioxyde de carbone (CO₂) des déplacements générés par les choix de localisation est préoccupant. Pour la période 1970-2003, la tendance globale des émissions de CO₂ combine des évolutions sectorielles contrastées. Le secteur des transports passe de la cinquième à la première place, tandis que les autres secteurs voient leurs émissions décroître : c'est le cas de l'industrie manufacturière (-37%), de la transformation d'énergie (-47%) mais également du résidentiel tertiaire (-22,5%). La progression des

émissions liées au transport routier, +150% sur la période soit un taux de croissance annuel moyen qui approche 3%, en fait le secteur prioritaire.

Les distances totales parcourues en voiture particulière ont augmenté de 45% en 15 ans, de 1988 à 2003. Cette croissance forte résulte de deux phénomènes, l'augmentation des distances parcourues par ménage résidant dans une zone donnée, ainsi que l'augmentation plus rapide de la population dans les zones les moins denses.

L'effet de la localisation de l'habitat peut être mis en évidence par la comparaison des émissions de CO₂ par actif, selon la catégorie de la commune de référence, en tota-



Les émissions par personne « active » pour le transport et le logement, selon trois catégories de zones de densité.
Source : LET-LTMU, recherche ETHEL

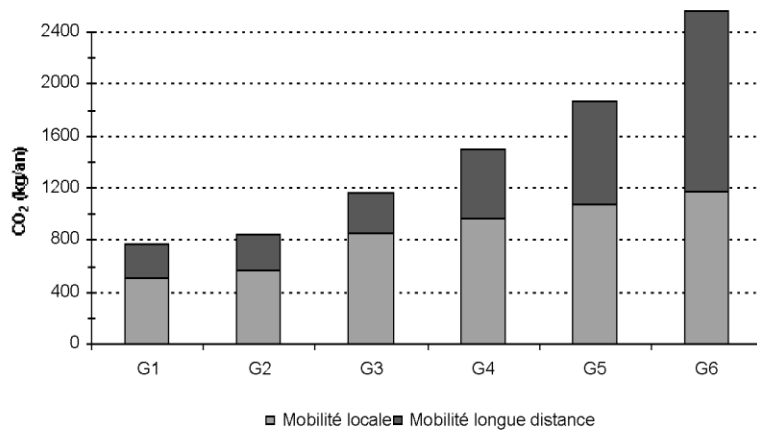
lisant les émissions moyennes par personne pour la mobilité locale³ et le logement, selon trois catégories de zones de densité : il s'agit de communes centre d'agglomération ou très denses (A), à moins de 10 km du centre et d'une densité supérieure à 2000 habitant au km², des communes périphériques moyennement denses (B) et des zones rurales ou communes périurbaines peu denses (C). A titre d'exemple, la figure ci-dessus présente ce type de résultat pour les personnes « actives », avec une projection en 2030 par comparaison avec la situation en 2000 pour la zone C. Pour l'année 2030, les émissions du parc automobile sont considérées à 120 g CO₂/km, soit une baisse significative par rapport à la situation actuelle, à 185 g CO₂/km. Par ailleurs, l'eau chaude sanitaire est supposée produite à cette date à 50% par le solaire thermique. Les trois zones sont significatives en termes d'effectifs de population. En effet, les actifs se répartissaient en 2000 en trois parts assez voisines : 8 millions en zone centre et dense, 8,1 millions en périphérie moyennement dense, 10,5 millions en rural et diffus.

Les émissions de CO₂ apparaissent contrastées en fonction de la localisation du logement. En effet trois paramètres vont croître du centre à la périphérie : la surface habitable (volume chauffé), les distances totales parcourues (pour la mobilité locale), ainsi que la part modale de la voiture particulière. En considérant la seule mobilité locale il apparaît ainsi que les distances parcourues en voiture particulière augmentent plus rapidement dans les communes peu denses et éloignées du centre urbain ; à l'inverse, le recours aux transports en commun décroît dans ces mêmes communes.

Tandis qu'une politique volontariste dans le logement permettrait de diminuer d'un facteur 2 voire 3 les émissions de gaz à effet de serre correspondantes, la croissance des émissions dûes au transport dans les zones périurbaines et rurales annihilerait ce gain. La localisation a donc un impact considérable sur le bilan global, quand bien même le bâtiment serait très performant : pour un logement de 100 mètres carrés chauffé au gaz, un effort sur le bâti de 60 kWh/m²/an soit le passage de la Réglementation Thermique 2005 au label Habitat Passif, est annulé par une distance parcourue en voiture particulière de 20 km par jour, et un véhicule utilisé 340 jours par an, émettant 180 gCO₂/km, ce qui est la moyenne française actuelle. Si on considère la population de l'ensemble des communes de moins de 10.000 habitants, qui regroupent la moitié de la population métropolitaine, et qui sont au cœur des interactions entre espaces ruraux et espaces urbains, on constate que le pic de croissance de la population correspondante tend à s'éloigner des centres des aires urbaines au cours du temps : ce pic est passé d'une distance de 15 km dans la décennie 1990-1999, à 25 km après 2000 (Morel B., Redor P., 2006). En 2004, la distance domicile-travail moyenne était de 25,9 km (Baccaïni B. *et al*, 2007).

Une maison zéro énergie (ou neutre en carbone) devrait par conséquent intégrer dans son bilan énergétique les

3. La « mobilité locale » est définie comme la somme des déplacements effectués à moins de 80 km à vol d'oiseau du domicile, l'autre étant dénommée « mobilité à longue distance ».



Emissions liées à la mobilité globale selon le revenu (par sextile), données 1994. Source : Raux et alii (2006) d'après l'Enquête Transport et Communication 1994

déplacements induits par sa localisation, car le lieu du domicile est encore fortement corrélé aux déplacements domicile-travail : 90% des salariés domiciliés dans les couronnes périurbaines des aires urbaines de moins de 50 000 habitants quittent leur commune pour aller travailler (Baccaini B. *et al.*, 2007).

La mobilité longue distance, effet de la densité résidentielle ?

Les revenus structurent fortement les mobilités. Dans chaque classe de revenu, les mobilités locales et la dépendance à l'automobile croissent des centres vers les périphéries : l'usage de la voiture particulière est décroissant avec la taille de l'agglomération mais croissant avec l'éloignement du centre⁴. En revanche, le kilométrage total parcouru (tous types de déplacements et donc tous modes confondus) est moins sensible aux caractéristiques de localisation résidentielle, en raison du poids de la mobilité longue distance⁵, fortement croissante avec le revenu (Orfeuil J.P., Soleyret D, 2002).

La position sociale joue un rôle clé pour la mobilité longue distance mais aussi pour la mobilité locale : les extrêmes se situent dans un rapport de 1 à 3 pour les émissions de CO₂ liées à la mobilité globale, et de 1 à 5 pour la seule mobilité longue distance, dans une décomposition des revenus en six classes (figure ci-dessus).

Cependant, il conviendrait de mieux connaître les interactions entre mobilité locale et mobilité longue distance selon la localisation résidentielle : le faible niveau d'aménités environnementales et la difficulté de contact avec la nature de certaines situations urbaines peuvent en effet conduire à une augmentation du nombre de déplacements en longue distance, à l'exemple de Paris. De nombreux

paramètres jouent sur les déplacements de loisirs (week-end, vacances, etc.) : le temps et le budget qui peuvent être libérés par une mobilité locale moins dépendante de l'automobile, mais aussi la proximité des « hubs » tels que les aéroports internationaux.

Quelles pistes d'action énergétique pour les transports ?

Pour que les transports contribuent significativement à l'objectif du « Facteur 4 » en 2050, trois pistes différentes mais complémentaires peuvent être considérées : l'amélioration des technologies existantes, de nouveaux arrangements dans les services de transport, et enfin, les actions sur les comportements des usagers.

L'amélioration des technologies se heurte à l'absence d'alternative au couple magique que forment le moteur à combustion interne et le carburant pétrolier : ce dernier offre une densité d'énergie massique et volumique hors de portée des alternatives que sont le gaz naturel, l'hydrogène ou les batteries. Une possibilité serait alors la production massive d'hydrocarbures de synthèse, en substitution à un pétrole de plus en plus rare, que ce soit à base de biomasse, de liquéfaction du charbon ou du gaz : mais dans ce cas, il faudrait que la séquestration du CO₂ devienne une réalité. Une autre possibilité serait la production et la commercialisation à grande échelle de véhicules hybrides rechargeables sur le secteur, ce qui passe par une production massive d'électricité sans CO₂, c'est-à-dire d'origine nucléaire.

4. Cf. Raux et al (2006).

5. La mobilité longue distance représente 40% des distances parcourues par les voyageurs.

Améliorer les arrangements dans les services de transport implique de considérer séparément les transports de personnes (60% des émissions de gaz à effet de serre de la route) et les transports de marchandises (40%), car ces deux catégories relèvent de déterminants différents. Dans les zones péri-urbaines et les espaces ruraux en voie de polarisation urbaine, il n'existe pas vraiment d'alternative à la voiture, qui émet en moyenne environ 150 g CO₂ par véhicule-km tandis que l'autocar émet environ 35 g CO₂ par passager-km : mais tout dépend des taux de remplissage respectifs. Pour les zones urbaines, la voiture est en moyenne à 250 g CO₂ par véhicule-km, l'autobus à 80 g CO₂ par passager-km et le mode ferré à moins de 10 g CO₂ par passager-km (en France compte tenu de la part du nucléaire dans l'électricité). Mais là encore, tout dépend des taux de remplissage respectifs : une voiture avec trois personnes à bord émet à peu près autant qu'un bus au passager-kilomètre. Il ne suffit pas de décréter une offre en transports collectifs pour que ces derniers se remplissent. En outre, il faut financer cette offre, qui a en moyenne, hors région parisienne, un coût social⁶ par déplacement pas très différent de celui de la voiture particulière.

Pour les marchandises, quand on observe le ratio de CO₂ à la tonne-kilomètre, le mode ferré se situe à moins de 10 g, le tracteur routier de 26 tonnes de charge utile à 90 g (mais la camionnette à 1 kg). Là encore, il ne suffit pas de décréter le transfert du camion vers le rail, dont la zone de pertinence se situe actuellement au-delà de plusieurs centaines de kilomètres. La logistique routière, par sa flexibilité, sa fiabilité et sa rapidité d'acheminement, offre aujourd'hui à ses clients des avantages bien supérieurs aux autres modes, que même une prise en compte des coûts environnementaux a du mal à contrebalancer. Le mode routier apparaissant difficile à contourner, les recherches s'orientent vers des véhicules de livraison pour les « derniers kilomètres », peu émissifs voire électriques.

Il faut donc, troisième piste, influencer les comportements des usagers des transports. Plusieurs forces se conjuguent pour aller à l'encontre d'une réduction des atteintes à l'environnement. Du côté des transports de personnes l'étalement urbain favorise l'usage de la voiture sur des distances toujours plus longues. L'équipement des ménages en automobile, qui croît avec les revenus sur le long terme, vient renforcer ce phénomène. De même, la croissance des revenus favorise les escapades à longue distance, dans lesquelles l'avion – dont le prix chute – joue un rôle de plus en plus important. Enfin, la croissance du nombre de retraités crée une source de nouvelle clientèle pour ces déplacements de loisirs à longue distance. Du côté des transports de marchandises, l'optimisation financière de la gestion des stocks pousse aux envois fréquents de petites quantités, ce qui favorise la route au détriment de modes lourds comme le train ou le fluvial, et surtout une baisse de la taille des véhicules ou du taux de remplissage, deux facteurs de dégradation de la performance d'émissions par tonne-kilomètre. La course aux gains de productivité pousse à la spécialisation des unités de production, et donc à

la multiplication des kilomètres parcourus par les marchandises intermédiaires et finales.

Et pourtant, comme le montre la baisse de la consommation de carburant pour les voitures particulières et sa stagnation pour les véhicules utilitaires depuis 2002, la sensibilité au prix du carburant n'est pas nulle. On sait qu'en moyenne à long terme, une hausse du prix du carburant de 10% entraîne une baisse de la consommation de 7%. Il est donc pertinent de chercher à renforcer l'incitation par les prix. Cela peut prendre deux formes : la fiscalité à travers une « taxe carbone » qui viendrait s'ajouter aux taxes existantes sur le carburant ; un mécanisme de quotas (ou permis) visant les quantités de carburant consommées, distribuées ou vendues aux consommateurs finaux de carburant et échangeables sur un marché.

Le recours aux énergies décentralisées dans l'habitat

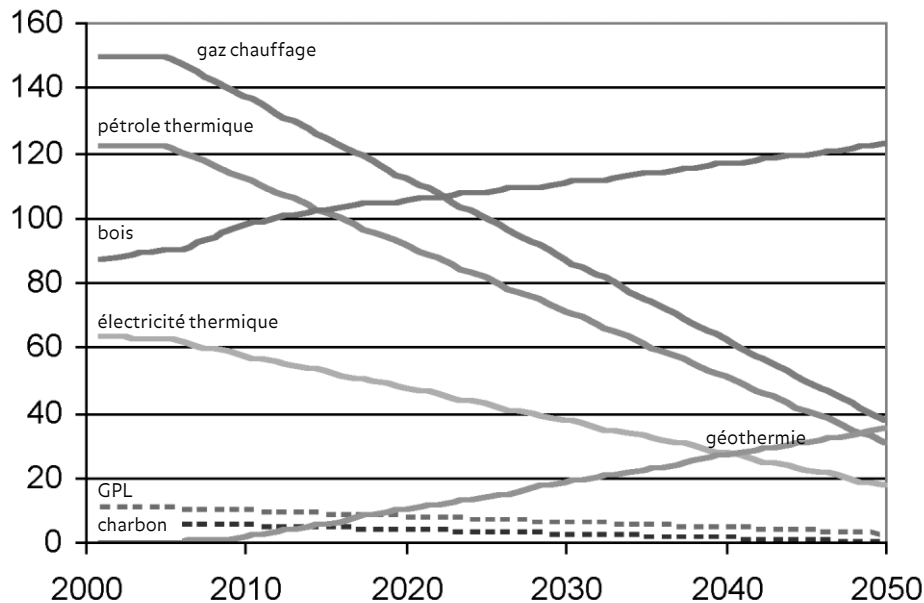
Plusieurs moyens d'action existent dans le parc résidentiel, qui permettent de tendre vers ce même objectif du « facteur 4 » en 2050. Dans le parc existant, qui représente environ 24 millions de résidences principales en 2005, une baisse de 50% de la consommation spécifique moyenne de chauffage peut être atteinte, à raison d'une réhabilitation de 400.000 logements par an.

Ce facteur 2 moyen sur les consommations d'énergie de chauffage peut s'avérer suffisant, si les substitutions d'énergie fossiles par des énergies renouvelables s'opèrent en complément de façon massive. Les gestes de réhabilitation du bâti peuvent alors s'échelonner, depuis des interventions mesurées dans l'ancien (isolation des combles, isolation par l'extérieur des façades secondaires ou sur cour, vitrages performants, ventilation contrôlée, équipement énergétique performant), jusqu'à des réhabilitations plus lourdes dans la construction intensive des décennies 1960-1980, de type « mur manteau » en isolation extérieure.

La progression des labels de type BBC (bâtiment basse consommation à 50 kWh/m², en énergie primaire, en prenant en compte le chauffage, l'eau chaude sanitaire, la ventilation et les auxiliaires) s'appuyant sur des technologies matures, laisse espérer un passage assez rapide vers des constructions dites passives, en raison de l'équilibre thermique entre les apports gratuits (gain solaire par les vitrages et apports internes) et les déperditions pour l'enveloppe. Ces constructions seraient généralisées dès 2020. Les consommations de chauffage se limiteraient alors en énergie finale à 15 kWh/m².

6. Les coûts sociaux agrègent, selon les modes, les coûts supportés par la collectivité (investissement et maintenance des routes, investissements et subventions aux transports collectifs) et par les usagers (dépenses automobiles, tickets et abonnements de transports collectifs), ainsi que les estimations monétaires des nuisances environnementales.

Consommations de chauffage+ECS (énergie finale en TWh/an)



Projection à 2050 des consommations d'énergie de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire du parc résidentiel en métropole, dans un objectif « facteur 4 » en 2050.

Dans cette promotion de l'habitat très performant, les initiatives locales apparaissent les mieux armées pour créer des dynamiques d'acteurs exemplaires : plusieurs conseils régionaux et municipalités ont adopté une politique d'ensemble visant à diminuer la consommation d'énergie dans les bâtiments de leur territoire, voire de leur propre patrimoine bâti. En mars 2006, trois conseils régionaux (Franche Comté, Languedoc Roussillon, Alsace), trois associations locales, un collectif d'industriels de l'isolation, deux établissements financiers et le CSTB, ont créé l'association « Effinergie », visant à promouvoir un label issu de l'expérience suisse Minergie (Carassus J, 2006).

La réduction des consommations d'énergie liée à la production d'eau chaude sanitaire est plus délicate. Si un gain de 30% peut être généralisé en 2050 sur les besoins théoriques, par un recours à des dispositifs techniques appropriés, l'effort essentiel repose sur des substitutions ENR (énergies nouvelles et renouvelables) de deux types : la généralisation des pompes à chaleur dans le cas d'équipements électriques, apportant une contribution de la géothermie, et celle du solaire thermique⁷.

Dans un scénario réduisant de façon systématique par un facteur 4 le recours à toutes les énergies carbonées (charbon, fioul, gaz, électricité), trois types d'énergies renouvelables devraient être développés, qui contribueraient fortement à la satisfaction des besoins de chauffage et d'eau chaude sanitaire (figure ci-dessus) :

– le bois énergie, qui verrait sa contribution passer de 80 TWh en 2000 à plus de 120 TWh en 2050, soit une progression de + 50% ;

– le solaire thermique, essentiellement pour la production d'eau chaude sanitaire, dont la contribution atteindrait 12,5 TWh en 2050 ;

– la géothermie sur pompe à chaleur ; dans ce cas, la part qui pourrait être assimilée à de l'énergie renouvelable s'élèverait à 35 TWh en 2050, à condition de consommer parallèlement 17,5 TWh d'électricité, ce qui reste inférieur au niveau actuel, de 65 TWh d'électricité pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire.

Pour le premier type de réponse, la part de réseaux de chaleur alimentés au bois devrait être prépondérante : cette solution s'accorde avec des densités de besoins thermiques élevés, ce qui est le cas des formes urbaines continues, plus fréquentes dans le bâti ancien. Les collectivités ont un rôle prépondérant à saisir dans cette nouvelle culture de la production décentralisée d'énergie. En effet, la plupart des régions françaises disposent de ressources en bois importantes, propres à alimenter des unités de cogénération dont les rejets thermiques peuvent être valorisés à proximité des ensembles urbains. L'ADEME estime que cette ressource en biomasse (déchets compris), de plus de 12 Mtep en 2005, atteindrait 42 Mtep/an (millions de tonnes équivalents pétrole) dès 2040, dont une bonne part serait cependant affectée aux agrocarburants⁸.

7. Le scénario retenu considère que la totalité du parc construit dans l'intervalle 2007-2050 ainsi qu'une part de 30% du stock de logements seraient équipés sur la base de un mètre carré de capteur solaire par personne.

8. Cf. le programme de recherche AGRICE. Voir également Roy C., 2005.

Les mérites énergétiques de la mitoyenneté

Les tendances récentes confirment le dynamisme du secteur diffus. En 2006, 402.000 logements ordinaires (hors logements en résidence) ont été mis en chantier, dont 180.000 maisons individuelles en rural et en diffus (soit près de 45%), ce qui contribue à la déconcentration de l'habitat. Le rythme de croissance de ce marché semble se ralentir, après s'être établi à + 5% par an⁹, pour les années 2003 à 2005. L'encouragement des maires à libérer l'offre foncière pourrait contribuer à la poursuite de cette tendance. Les moteurs du mouvement reposent sur l'inflation des prix du foncier, l'offre étant insuffisante en zones urbaines, ainsi que sur l'affaiblissement du rôle des bassins d'emploi dans la concentration des ménages. La tendance à la dispersion semble également résulter d'un rejet de l'urbanisme collectif (les grands ensembles de la Reconstruction), et de l'accès généralisé à l'automobile et du faible coût des énergies fossiles jusqu'ici. La demande des ménages se tourne en majorité vers la maison individuelle qui offre une meilleure réponse à la demande d'espaces de rangements, de terrasse et de jardin, de véranda, de garage, mais qu'on souhaiterait à moins de 15 minutes des transports en commun. Ainsi, la périurbanisation concerne une part croissante de la population, avec un effet de centrifugation des ménages à faible revenu, qui se voient exclus des centres et éloignés des services, avec un coût souvent mal maîtrisé des déplacements induits.

Faut-il pour autant renoncer à une quelconque maîtrise du phénomène, en se satisfaisant des possibilités de valorisation de l'énergie solaire dans le diffus, qui pourraient compenser les désagréments énergétiques et environnementaux d'une mobilité essentiellement individuelle et

automobile ? Un retour par l'analyse comparative des typologies, dans l'intervalle entre le pavillon individuel et l'immeuble collectif de type tour ou barre, permet de mesurer les avantages des formes intermédiaires, en ce qu'elles répondent en premier lieu au besoin d'individualisation du logement, par les équipements généralement réservés à la maison individuelle (espace, prolongements extérieurs de type terrasse ou jardin). L'effet de contiguïté apporté par la continuité de la forme urbaine réduit les besoins de chauffage, tandis que le coût des réseaux (voirie, eau, assainissement, énergie) par logement est plus faible. Enfin, la minéralisation du sol et la consommation de sols naturels ou agricoles sont fortement réduites.

Le taux de contiguïté (par les murs mitoyens, par les planchers intermédiaires entre deux logements) permet de réduire la surface d'enveloppe (comprenant la surface en contact avec le sol) par unité de surface habitable, de plus d'un facteur 2 entre une maison de plein pied et une configuration en duplex superposés (R+3), sous forme de maisons de ville mitoyennes, configuration classique dans les villes du nord de l'Europe. Le gain en besoins de chauffage entre maison isolée et maison de ville reste supérieur à 30%, avec des niveaux de prestations énergétiques compatibles avec les exigences réglementaires des prochaines décennies : les déperditions par renouvellement d'air deviennent alors prioritaires, ce qui réduit l'écart entre les différentes typologies, mais pour un coût d'intervention sur l'enveloppe bien plus faible.

9. Cf. La construction de maisons individuelles, Une tenue remarquable, Point de conjoncture, Bilan et perspectives du marché et questions d'actualité à début 2006. UNCMCI, Conférence de presse du jeudi 23 février 2006.

Taux de solarisation des toitures d'immeubles de logements pour « zéro énergie fossile »

	Consommation totale (*) (kWh/an)	Solaire Thermique (+) (m ²)	Solaire Photovoltaïque (m ²)	Total Solaire (m ²)	Taux de Solarisation (°) (% de toiture)
Pavillon en R+1 (Shab = 100 m ²)	3500	3	35	38	55 %
Maison de ville R+1 (Shab = 100 m ²)	2800	3	28	31	45 %
Maison de ville R+3 (Shab = 200 m ²)	2 x 2200	6	44	50	72 %

(*) Chauffage et eau chaude sanitaire, pour des prestations identiques de niveau Habitat passif, en zone climatique H1.

(+) Pour une contribution de 50% à la production d'eau chaude sanitaire.

(°) La surface de toiture disponible comprend un débord de toiture de un mètre en façade sud

Source: Manifeste pour les paysages, à l'initiative de la Fédération des Conservatoires d'espaces naturels et la Fédération Nationale des SAFER, Janvier 2006.

Le modèle de la maison de ville, dans des contextes de l'Europe du Nord comme des Pays-Bas, illustre la possibilité de se libérer du débat entre le tout pavillonnaire et le grand ensemble, en réhabilitant la notion de densité dans une typologie compatible avec la demande de maison individuelle. Les densités, qui avoisinent les 10 logements à l'hectare dans les opérations de lotissements pavillonnaires typiques de l'étalement urbain, peuvent atteindre 75 logements à l'hectare en maisons de ville dans les opérations de redensification. En métropole, la construction des maisons individuelle en diffus, (180.000 logements/an sur des parcelles de plus de 1000 m²) consomme annuellement près de 1% des terres agricoles non utilisées, sans prise en compte des voiries (routes et stationnement des véhicules), qui nécessitent en complément 8 fois plus de surfaces minéralisées par personne en lotissement pavillonnaire qu'en milieu urbain dense comme le tissu haussmannien.

La consommation de territoire pourrait ainsi être considérablement réduite chaque année, si la tendance des dernières décennies était inversée¹⁰ : en dix ans (de 1995 à 2005), la population a crû de 4% et les terres urbanisées se sont étendues de + 17%, soit quatre fois plus vite. Les routes et parkings occupent 3% du territoire, et s'étendent au rythme de 8.000 hectares par an pour le réseau routier et autoroutier.

La production d'électricité d'origine photovoltaïque pourrait disposer cependant de toitures plus étendues dans le pavillonnaire périurbain. Mais une estimation du bilan entre les besoins énergétiques du logement et sa production annuelle montre que la configuration en maisons de ville (en R+3) n'est pas pénalisée par la recherche de l'équilibre énergétique annuel. Il faut en effet rappeler que l'engouement naissant pour le bâtiment à énergie positive, qui produit plus d'énergie qu'il n'en consomme annuellement, incite à la réalisation de logements très performants, en bâti et en équipements énergétiques, en comparaison des exigences réglementaires en application. Pour un niveau de prestations de type « habitat passif » identique pour les différentes typologies, la consommation unitaire de chauffage est nettement réduite en maison de ville, ce qui permet de limiter la surface de toiture équipée en photovoltaïque, dont la production annuelle est estimée à 100 kWh par mètre carré pour une orientation sud. Le taux de solarisation totale de la toiture (solaire thermique inclus) s'établit dans ce cas à 72% de la toiture, contre 55% pour le pavillon isolé (tableau page précédente).

Cependant, dans le cas de toitures totalement solarisées, le potentiel pour la recharge de véhicule électrique est plus grand que pour le pavillon : l'estimation reste ouverte, de l'autonomie en mobilité apportée par ce complément de surface. Dans le cas de maisons en bande, une alternative se présente, d'une distribution en eau chaude (eau chaude sanitaire et chauffage) par réseau de chaleur, lorsque celui-ci est alimenté en énergies renouvelables.

La recherche par les collectivités locales d'une approche intégrée

Les ensembles urbains apparaissent mieux armés pour réguler leurs échanges avec les réseaux, dans la mesure où les besoins et les ressources peuvent être mutualisés en courtes distances et où les procédés de stockage – encore à l'état de projet – semblent plus diversifiés.

Le projet de la Suède, de parvenir à une économie « Zéro énergies fossiles » à 2020, est à ce titre riche d'enseignement. La production d'électricité actuelle repose sur 50% de ressources hydrauliques et 50% de nucléaire. Pour le bâtiment, les réseaux de chaleur représentent 20% des consommations totales d'énergie. Ils devraient s'accroître, en complément de l'usage des pompes à chaleur. La part des fossiles est ainsi limitée à 10% dans le résidentiel, et 8% dans les réseaux de chaleur. En particulier, dans le nouveau quartier Hammarby Sjöstad à Stockholm, ancien site portuaire et industriel, la collectivité a projeté d'appliquer un facteur 2 sur l'ensemble des impacts environnementaux des bâtiments et des transports (eau, énergie, déchets, nuisances).

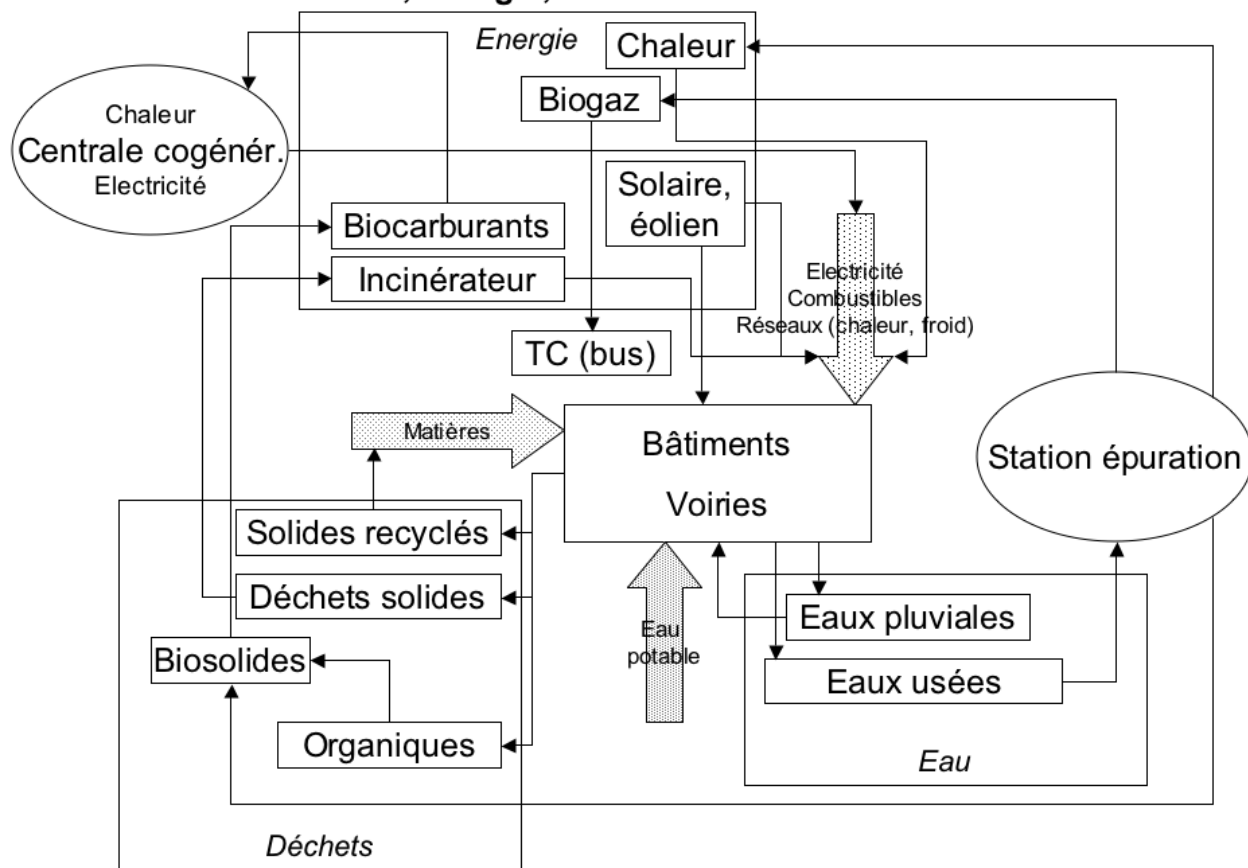
La planification urbaine a été fondée sur une suite de mots-clés : multifonctionnalité, reconversion des sols artificialisés – pour une meilleure maîtrise du foncier et la préservation des espaces naturels, le dialogue, la soutenabilité et l'urbanité.

Cela s'est traduit, pour les déplacements, par une incitation à minimiser l'usage de la voiture, en développant des aires de parking de préférence en sous-sol, les aires de stationnement sur la voirie risquant d'en encourager l'utilisation quotidienne. Le ratio est de 0,6 place par logement, la demande réelle se situant à 0,7 ; chaque logement est à une distance inférieure à 500 mètres d'une station de transports en commun. Pour l'usage du territoire, chaque logement devrait disposer d'un jardin, ou d'une terrasse extérieure, de 15 m² minimum, avec des conditions d'ensoleillement minimales ; les espaces verts sont soumis à la règle de 15 mètres carrés par logement dans un rayon de 300 mètres.

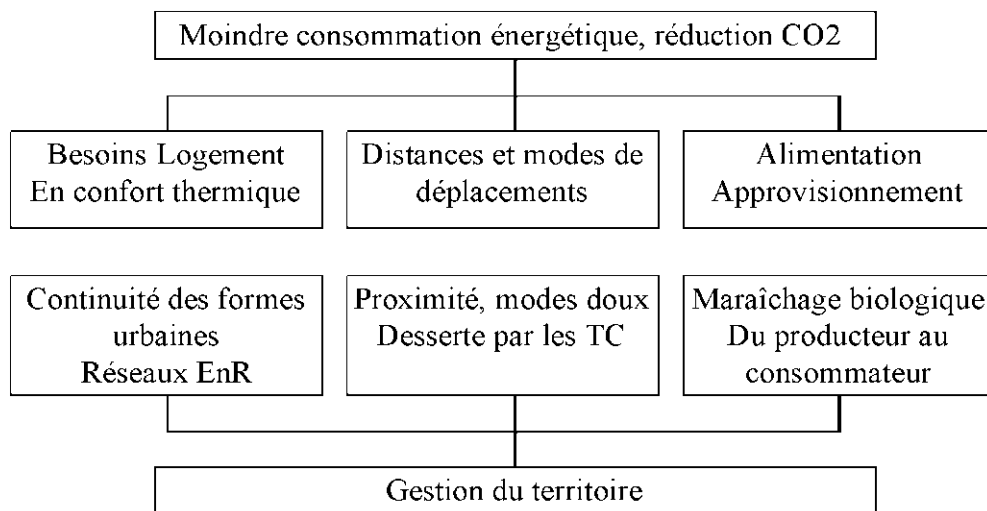
Enfin, trois partenaires, la Compagnie des eaux Stockholm Vatten, les services de déchets de la Ville et la société Birka Energi de réseaux de chaleur, se sont accordés pour élaborer un programme environnemental intégrant les complémentarités entre les déchets, le traitement des eaux usées et pluviales et l'énergie, selon un modèle « d'éco-cycle » (figure 6). En particulier, le réseau de chaleur est alimenté à 50% par incinération des déchets, à 35% par récupération de chaleur sur le traitement des eaux usées et à 15% de pellets bois.

10. Source: Manifeste pour les paysages, à l'initiative de la Fédération des Conservatoires d'espaces naturels et la Fédération Nationale des SAFER, Janvier 2006.

Métabolisme urbain: eau, énergie, déchets



Représentation schématique de l'éco-cycle de Hammerby, valorisant les complémentarités entre les trois domaines de l'eau, de l'énergie et des déchets.



Effets des circuits courts sur le double critère de la consommation énergétique et de la gestion du territoire.

Du point de vue de l'aménagement urbain, le principe des circuits courts est appelé à se généraliser. L'objectif consiste à optimiser le métabolisme urbain, entendu comme système de circulation de matières et d'énergie, caractéristique non seulement de la ville comme entité physique, mais à la base de notre mode de vie, qu'il ait pour cadre le rural ou la ville centre. Les trois postes principaux de consommations énergétiques liés au logement, son exploitation directe, les déplacements associés et l'alimentation, contribuent à parts sensiblement égales aux émissions de gaz à effet de serre d'un ménage, dans nos sociétés développées. Une gestion maîtrisée du territoire, limitant l'artificialisation des sols par une forme urbaine continue et une part de voirie plus faibles, permet simultanément de réduire la contribution de ces trois postes au réchauffement global, par le développement de réseaux intégrés (eau, énergie, déchets), par la production d'énergie décentralisée, par une offre collective de déplacements des personnes, enfin par une proximité des consommateurs et des producteurs. Pour une part croissante de l'alimentation, cette proximité nécessite de réserver des surfaces de maraîchage biologique à haute valeur ajoutée à l'intérieur des zones urbanisées.

Dans cet esprit, les projets de villes ou de quartiers durables favorisent les typologies de logements qui, en complément des avantages déjà soulignés en matière d'équipements énergétiques, répondent le mieux aux différents critères de flexibilité fonctionnelle et de diversité d'occupa-

tion des locaux, en offrant par exemple en rez-de-chaussée sur rue des locaux d'activités le long des axes principaux, selon le principe SOHO (*Small Office, Home Office*). Les possibilités de report modal de la voiture vers les transports collectifs, à la demande ou non, sont d'autant plus élevées que la diversité fonctionnelle est plus forte. Par sa monofonctionnalité proche de celle des grands ensembles et sa faible densité, le périurbain, qui rassemblait en 2004 12% des emplois salariés pour 22% des domiciles de salariés¹¹, est la configuration qui rend ses habitants les plus dépendants de la voiture individuelle.

Chaque type de zone urbaine doit recevoir des réponses appropriées. Les collectivités commencent à développer des visions plus intégrées et plus prospectives du développement économique et social de leur territoire, notamment dans le domaine énergétique. Cela inaugure-t-il un nouveau regard sur la ville, peut-être moins critique sur les rapports ville-nature ? D'ores et déjà, centre et périphérie conjugués, entre les deux modes dominants de fabrication de la ville – ville sur la ville *versus* urbain diffus – donnent naissance à des hybrides, les premiers éco-quartiers.

11. Les situations des pôles urbains et des zones rurales sont plus équilibrées : un actif résidant dans un pôle urbain a plus de chances de trouver un emploi proche de chez lui qu'un actif périurbain, tandis que l'espace à dominante rurale présente un équilibre relatif en part des emplois et des salariés (*INSEE Première*, n° 1129).

Références bibliographiques

Baccaïni B., Sémécurbe F., Thomas G., (2007), « Les déplacements domicile-travail amplifiés par la périurbanisation », *Insee Première*, 1129.

Berque A., Bonnin Ph., Ghorra-Gobin C., *La ville insoutenable*, Paris, Belin, (2006).

EEA, (2006), Report No 10/2006, *Urban sprawl in Europe. The ignored challenge*. http://reports.eea.europa.eu/eea_report_2006_10/en/eea_report_10_2006.pdf

Carassus J., (2006), *Comparaison internationale Bâtiment et Energie*, Rapport intermédiaire, PREBAT, décembre 2006, ADEME/PUCA/CSTB

CITEPA, (2005), *Rapport d'inventaire national. Inventaire des émissions de polluants atmosphériques en France – séries sectorielles et analyses étendues*.

Morel B., Redor P., (2006), « Enquêtes annuelles de recensement 2004 et 2005, La croissance démographique s'étend toujours plus loin des villes », *Insee Première*, 1058.

Orfeuël J.P., Soleyret, D. (2002), « Quelles interactions entre les marchés de la mobilité à courte et longue distance ? », *Recherche Transports Sécurité*, 76, pp. 208-221.

Raux C., Traisnel J.-P., Pochet P., Maizia M., Croissant Y., Bagard V., Peguy P.-Y., (2006) *Analyse et modélisation des comportements transports-habitat-localisations*. ETHEL. Rapport R3. Action Concertée CNRS – Ministère de la Recherche. LET, Lyon.

Roy C., (2005), *Coordination de la valorisation de la biomasse*, Contribution au Groupe de travail « Facteur 4 ».

Biographies

CHARLES RAUX est ingénieur de recherche CNRS au Laboratoire d'Economie des Transports, UMR du CNRS associée à l'Université de Lyon et à l'ENTPE. Ses principales recherches aujourd'hui incluent : la tarification des déplacements (notamment le péage urbain), l'utilisation des permis négociables dans les transports pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, et les nouvelles approches dans la modélisation de l'interaction entre transport et localisations des activités, notamment par les modèles multi-agents. Il a écrit récemment deux ouvrages, paru et à paraître à la Documentation Française : « Les permis négociables dans le secteur des transports » et « Le péage urbain ».

charles.raux@let.ish-lyon.cnrs.fr

JEAN-PIERRE TRAISNEL est ingénieur de recherche CNRS au Laboratoire Théorie des mutations urbaines, département de l'UMR Architecture Urbanisme et Sociétés. Ses recherches sont principalement orientées vers des travaux de prospective de type facteur 4 en architecture et en urbanisme. Deux études consacrées à l'habitat et au développement durable ont été publiées dans les cahiers du CLIP, club d'ingénierie prospective en énergie et environnement. Il a également contribué à l'ouvrage collectif *La Ville insoutenable*, publié en 2006.

jean-pierre.traisnel@univ-paris8.fr