

Prospective à l'horizon 2050 du développement urbain en France et implications énergétiques et spatiales des secteurs de l'habitat et de la mobilité quotidienne

2050 Forecast Of Urban Development In France And Energy And Space Implications For The Housing And Daily Mobility Sectors

Mindjid Maizia¹

Fondé sur un modèle construit à partir de corrélations empiriques observées entre 1999 et 2006 et établissant des liens mécaniques entre stock de logements, mobilité quotidienne et artificialisation du sol, cet article propose une prospective à l'horizon 2050 des consommations d'énergie des logements (de chauffage et d'eau chaude sanitaire) et des transports (migrations pendulaires en voitures particulières) et des consommations de sols non urbanisés. Trois scénarios contrastés y sont examinés : le premier, à travers une projection tendancielle, présuppose que les ménages poursuivent leur localisation dans les communes les plus attractives du point de vue de l'emploi et continuent de délaisser celles supposées ne pas l'être ; le second simule à l'horizon 2050 une migration résidentielle vers des communes dont les mobilités quotidiennes se réalisent à des distances moyennes de l'emploi de plus de dix kilomètres ; enfin, un troisième, à l'inverse du second, quantifie les effets sur les consommations d'énergie et sur l'occupation de l'espace, des migrations vers les communes situées à moins dix kilomètres de l'emploi.

Based on a model built on empirical correlations observed between 1999 and 2006 and establishing mechanical ties between housing stock, daily mobility and artificialisation of the land, this article proposes a 2050 forecast of energy consumption in households (heating and sanitary hot water) and in transport (pendular migrations in private cars) and in the consumption of non-urbanised land. Three contrasting scenarii are examined therein: the first, through a trend projection, presupposes that households continue to locate in communes that are attractive from the employment point of view and continue to forsake those that are deemed to be otherwise; the second simulates for 2050 a residential migration to communes whose daily commuting is achieved with average distances from work of more than ten kilometers; finally, a third, contrary to the second, quantifies the effects on energy consumption and space occupancy from migrations to communes located at less than ten kilometers from the work.

Mots-clé : Prospective, énergie, chauffage, eau chaude sanitaire, habitat, transport, occupation du sol.

Keywords : Forecast, energy, heating, sanitary hot water, housing, transport, land occupancy.

¹ Laboratoire CITERES, Polytech Tours, Département Aménagement, 64 avenue Jean Portalis 37200, Tours, France
mindjid.maizia@univ-tours.fr



Mindjid Maïzia — PHOTO F. DOR

La recherche « *Les gisements du développement urbain : Analyse quantitative à l'horizon 2050 des consommations énergétiques et des émissions de CO₂ des tissus urbains* » [1] a pour principal objectif de quantifier les effets des modes d'urbanisation sur les consommations d'énergie et d'espace. Cette recherche, financée pour le Ministère français de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de la Mer, considère l'urbanisation comme un jeu de migrations résidentielles : ce jeu est supposé modifier la structure des stocks locaux de logements, allouer aux arrivants les mobilités locales et peser sur l'organisation urbaine en termes d'occupation du sol. Il s'agit alors d'examiner les conséquences énergétiques et spatiales de telles dynamiques à partir d'une modélisation quantitative. Le modèle développé dans le

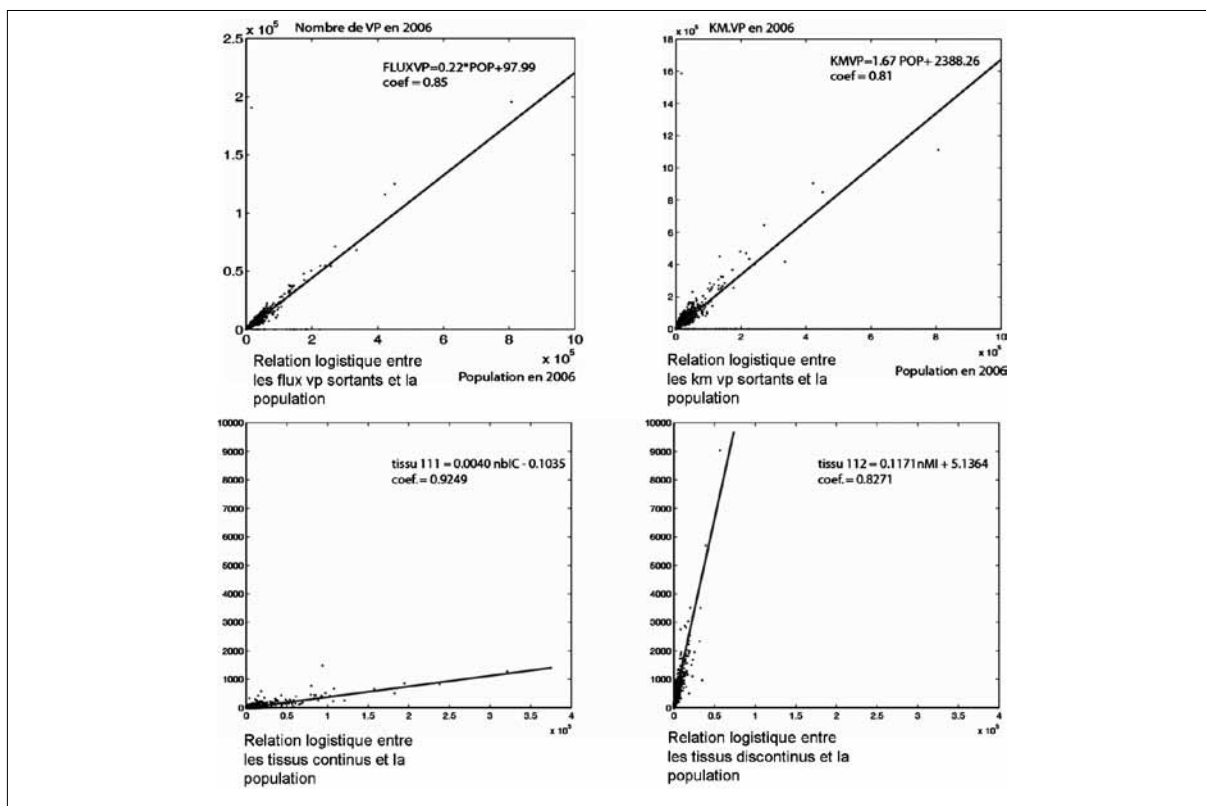


Fig 1. Relations empiriques du modèle

cadre de cette recherche repose sur une approche considérant que des liens mécaniques entre variables peuvent être construits à partir d'une ou de plusieurs corrélations empiriques observées à un instant donné (en 1999 et 2006, Fig. 1). Cette approche, plus descriptive que théorique, a l'avantage d'être robuste et adaptée à des prospectives à moyen et long terme. En effet, considérer que des liens empiriques peuvent construire la « mécanique » d'un modèle est raisonnable lorsqu'on envisage qu'aucune rupture (d'ordre technologique, comportementale, etc.) ne fera partie des « développements urbains possibles » que l'on rendra visibles lors des projections en prospective.

A l'instar des exercices habituels de prospective, l'étendue de ces possibles est ici construite sur la base des cas existants en 2006. En d'autres termes, la projection à l'horizon 2050 consiste à appliquer à l'ensemble du territoire (segmenté en communes) le modèle d'urbanisation qu'une ou plusieurs localités ont choisi d'adopter à l'heure actuelle. La prospective revient ainsi à généraliser les situations urbaines de quelques communes supposées « vertueuses » ou « dommageables » d'un point de vue des consommations d'énergie et des émissions de CO₂ et à éliminer de fait tous les cas supposés impossibles.

Hypothèses et architecture du modèle

La scénarisation du développement urbain est fondée sur la notion de « modèle de communes », elle-même réduite à une représentation vectorielle du fait urbain observé en 2006 selon cinq dimensions : l'importance démographique de la ville (sa population), la distance moyenne qui la sépare des lieux d'emploi, la part de tissu urbain continu² et discontinu³ définie selon la nomenclature de l'Institut Français de l'Environnement [2] et, enfin, celle de l'artificialisation du sol.

La production de scénarios prospectifs revient à ventiler la population vers ces « modèles de communes » à divers horizons et d'observer les effets énergétiques pour les secteurs de l'habitat et des transports et les effets en termes d'occupation du sol.

Construire un scénario consiste d'abord à considérer qu'en bâtissant des « modèles », les communes poursuivent leur développement urbain ou rural selon un sous-scénario démographique de référence. Ce sous-scénario est fondé sur les deux hypothèses centrales d'évolution de la population métropolitaine de l'Institut

national de la statistique et des études économiques (INSEE) : d'une part, sur celle relative à la population totale française à l'horizon 2050, d'autre part, sur le modèle OMPHALE réalisé à l'échelle départementale à l'horizon 2030 [3].

Comme nous le signalions plus haut, la modélisation, en termes de prospective, débute par la détermination de « modèles de communes » appartenant au paysage des situations urbaines ou rurales observables en 2006. Ces « modèles » deviennent, à ce titre, la cible de migrations résidentielles « virtuelles » de la population des autres communes. Les communes cibles connaissent ainsi, par simulation, un développement urbain amplifié par un solde migratoire tout en poursuivant leur dynamique de 1999 et 2006. Ces dynamiques déterminent la structure du parc de logements en termes typologiques, tout en respectant les plafonds démographiques fixés par le scénario central de l'INSEE et par les projections du modèle OMPHALE. Un scénario tendanciel revient, par cette approche, à considérer la totalité des communes du territoire mé-

2 Selon [2] : « Espaces structurés par des bâtiments et les voies de communication. Les bâtiments, la voirie et les surfaces artificiellement recouvertes représentent plus de 80 % de la surface totale. La végétation non linéaire et le sol nu sont exceptionnels. »

3 Selon [2] : « Espaces structurés par des bâtiments. Les bâtiments, la voirie et les surfaces artificiellement recouvertes coexistent avec des surfaces végétalisées et du sol nu, qui occupent de manière discontinue des surfaces non négligeables. »

tropolitain comme des cibles. A contrario, un scénario contrasté (en termes de « volontarisme ») est équivalent à sélectionner un ensemble très réduit de cibles (mais jamais de taille nulle).

Dans ce derniers cas, le modèle impose la construction virtuelle d'un parc de logements neufs extrêmement important avec des parts de marché de systèmes de chauffage progressant selon les dynamiques locales observées entre 1999 et 2006.

La structure du stock de logements agit alors sur les modalités d'occupation du sol en termes de quantité de surfaces artificialisées, principalement de tissus continus ou discontinus. Selon les relations empiriques du modèle, plus les cibles visées contiendront des maisons individuelles, plus on encouragera, « virtuellement », une urbanisation discontinue. A l'inverse, un modèle de commune dominé par des immeubles collectifs engendrera potentiellement une urbanisation plus compacte.

Enfin, le nouveau solde de population induira une mobilité locale en voiture particulière selon les règles propres à la cible. Ces règles concernent la distance moyenne observée en 2006, l'intensité des flux sortants pondérés par les effets d'offre en transport en commun. Plus la commune cible sera proche des

zones d'emploi et dotée d'une importante offre de transport en commun, plus les distances totales parcourues en voiture particulière, en comparaison à un scénario opposé, seront faibles.

Trois scénarios seront examinés ici. Le choix d'en retenir un nombre si restreint, s'explique, comme on le verra plus loin, par la modestie des écarts entre les résultats des modélisations (et donc par la faiblesse de l'éventail des possibles) en termes de consommations d'énergie finale et primaire, d'émissions de CO₂ des secteurs de l'habitat et des transports et en termes d'artificialisation du sol.

Le premier scénario, à travers une projection tendancielle, est ici envisagé comme tenant lieu de référence. A ce titre, il présuppose que les ménages poursuivent leur localisation dans les communes les plus attractives et continuent de délaisser celles supposées ne pas l'être. Un second scénario baptisé « scénario d'éloignement » simule à l'horizon 2050 une migration des ménages vers des communes dont les migrations alternantes se réalisent à des distances moyennes de l'emploi de plus de dix kilomètres. Un troisième scénario, à l'inverse du second, examine les effets des migrations résidentielles vers les communes situées à moins dix kilomètres de l'emploi.

Le parc de logements : bilan énergétique et émissions de CO₂

L'évolution du parc de logements et des systèmes thermiques

Il n'est pas utile de développer ici les divers scénarios relatifs à l'évolution de la population française à l'horizon 2050. Rappelons simplement que la quantité attendue de logements résulte de la croissance numérique du nombre d'habitants que devrait contenir le territoire métropolitain (plus la Corse) et de la réduction progressive de la taille des ménages pendant la période. Le peuplement moyen d'un logement devrait atteindre à l'échéance 2050 près de 2,04 per-

sonnes/logement si l'on accepte l'hypothèse qu'il se stabilisera aux alentours de 2030. Le parc des résidences principales passerait ainsi de près de 26 millions d'unités en 2000 à un peu moins de 34 millions en 2050 (Fig. 2).

Outre son évolution numérique, le parc connaîtra des transformations d'ordre technique dans les solutions bâties, notamment en ce qui concerne l'enveloppe. Dans cette présentation, on estime que la mise en œuvre des dispositions des réglementations thermiques ne connaîtront aucun retard et respecteront les

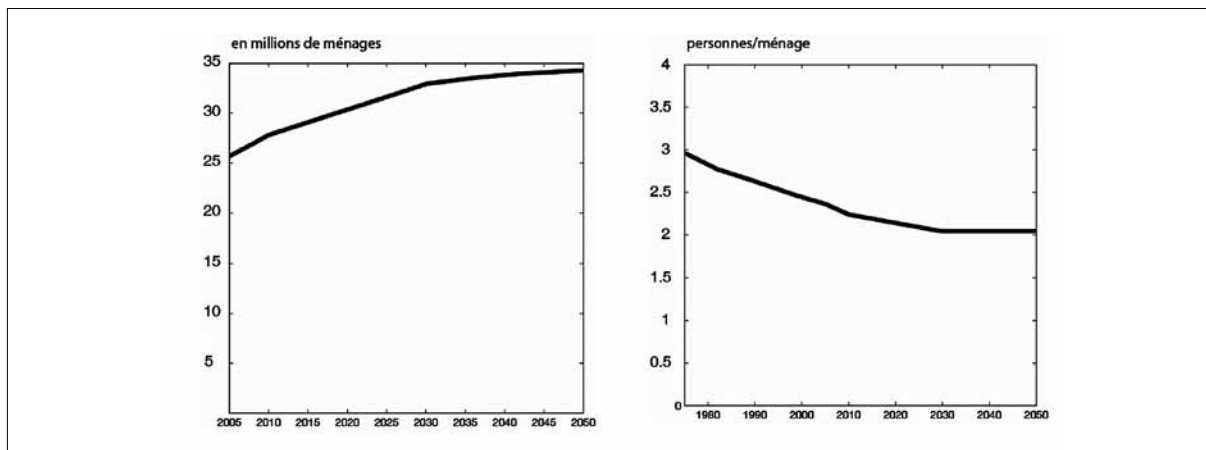


Fig 2. Évolution démographique à l'horizon 2050. a) Nombre total de ménages selon le scénario central et le modèle OMPHALE de l'INSEE. b) Taille moyenne des ménages selon OMPHALE et projection linéaire jusqu'à 2050

échéances de 2012 et 2020. Examinées uniquement du point de vue de l'appel de charges (de la demande), ces échéances concernent, dans le logement neuf, l'application des niveaux de consommations du label BBC (Bâtiments Basse Consommation).

Outre un plafond des consommations totales des bâtiments en énergie primaire ne dépassant pas 50 kWh/m² (avec des pondérations selon les zones climatiques et l'altitude), ce label impose une production thermique d'eau chaude sanitaire (ECS) représentant au moins 50% des consommations du logement. Réglementaire en France à partir de 2012, il est réputé parfaitement atteint dans le logement neuf grâce à des installations de solaire thermique et à une orientation appropriée du bâti. La productivité des capteurs thermiques et le taux de couverture des besoins sont approchés grâce à une méthode d'interpolation du rayonnement solaire (en tenant compte de la nébulosité) et un calibrage avec la méthode SOLO [4]. La pénétration de ces installations dans le neuf est ainsi totale de 2012 à 2050 quelle que soit la zone climatique. Le rendement de génération des systèmes d'appoint suit celui des systèmes de chauffage. Le taux de réduction des consommations d'eau poursuit, de 2000 à 2050, une croissance linéaire jusqu'à atteindre un taux de 70%.

Dans les simulations qui viendront plus bas, on exclut du calcul la compensation électrique des logements (qui deviennent par ce biais des BEPOS, Bâtiments à Energie Positive), compensation devenant obligatoire en France à partir de 2020. En effet, le calcul étant limité ici aux consommations de chauffage et d'ECS, il aurait été nécessaire d'intégrer, afin de mesurer l'ampleur de la production électrique du bâti à partir des techniques photovoltaïques, celles des autres postes, en particulier l'éclairage et les systèmes auxiliaires. En outre, la question de la compensation est avant tout une question de production énergétique. Or nous avons fait le choix, dans cette présentation, d'examiner exclusivement la problématique de la demande.

Enfin, aucune hypothèse d'actions techniques sur le bâtiment n'a été ici formulée. Cette recherche, en cherchant à isoler les effets induits par la dimension urbaine, écarte tous gestes réalisables à l'échelle du bâti (notamment la réhabilitation thermique des enveloppes). Seules les tendances lourdes relatives aux systèmes de chauffage sont intégrées dans l'analyse prospective. Ces hypothèses sont empruntées à [5]. On estime alors que les rendements des émetteurs de l'électricité demeureront constants (0,95) pendant que les autres types de systèmes gagneront environ 0,2 en rendement global (génération, distribution et émission, Fig. 3).

Les consommations d'énergie de chauffage et d'ECS selon les scénarios de localisation des ménages

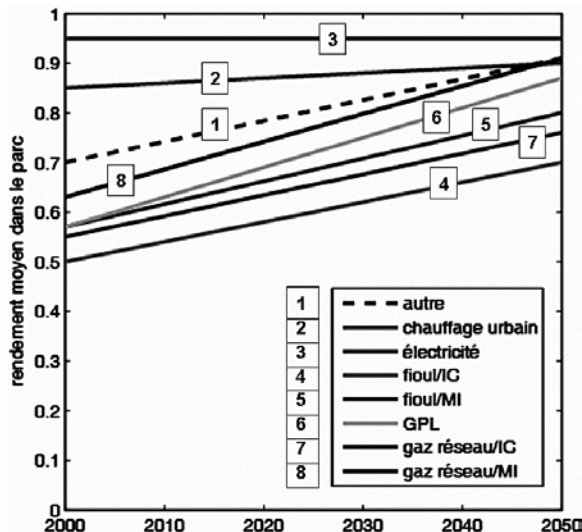


Fig 3. Evolution des rendements globaux des systèmes de chauffage selon [5] et pour le chauffage urbain M. Maizia, CITERES

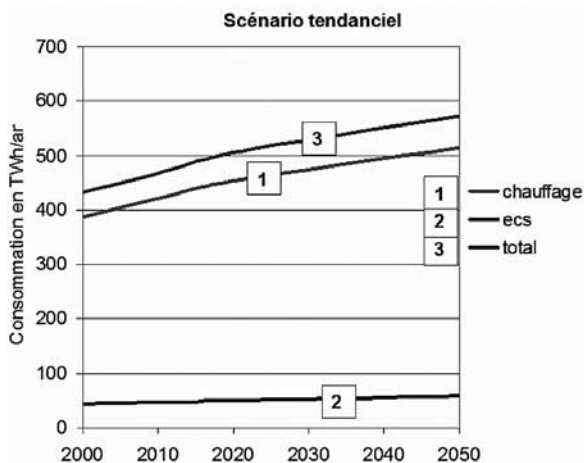


Fig 4. Consommations en énergie finale (en TWh/an) du chauffage et de l'ECS à l'horizon 2050 selon un scénario tendanciel.

De l'ordre de 385 TWh/an en 2000, les consommations de chauffage passeraient, selon un scénario tendanciel, à 515 TWh/an en 2050 (soit une croissance de l'ordre de 32 %) lorsque l'on ne tient pas compte des réhabilitations qui pourraient être réalisées dans cet intervalle et que l'on admet l'ensemble des hypothèses du modèle et celle relatives à l'évolution des rendements des systèmes évoquées plus haut (Fig. 4). Les consommations d'ECS progresseraient de près de 44 à 57 TWh/an (une croissance en pourcentage du même ordre que celle du chauffage). Les consommations par ménage diminueraient légèrement grâce aux efforts réalisés sur le bâti édifié à partir de 2012 et sur les rendements des systèmes de chauffage tout le long de la période. De près de 18,6 MWh/an/ménage, la consommation d'énergie finale pour ces deux postes avoisineraient à l'horizon 2050 environ 17 MWh/an/ménage. Ces gains par ménage de moins de 10 % sont quasi identiques pour le chauffage et l'ECS mais ont des causes bien distinctes : les gains sont principalement dus, pour le chauffage, aux effets mécaniques du jeu de parc de logements, le poids des logements construits selon le label BBC à partir de 2012 pesant sur la moyenne ; pour l'ECS, ce sont les effets de pénétration des économiseurs d'eau couplés à l'amélioration des rendements des chaudières fonctionnant principalement au gaz qui explique la plus grande partie de ce gain.

Si les tendances observées entre 1999 et 2006 se poursuivaient, la structure du parc, en proportion, se modifierait très peu hormis le déstockage significatif de près d'un million de maisons individuelles (Fig. 5). Outre la non prise en cause des efforts de réhabilitation, c'est cette entrée massive de logements anciens (antérieurs à 1949) possédant de grandes surfaces habitables qui explique le niveau assez élevé des consommations en énergie finale du chauffage. Cette augmentation est peu compensée par l'amélioration des rendements de génération et par la croissance des parts de marché du chauffage électrique. Cette dernière passerait en effet à 12 millions de logements (contre un peu plus de 7 millions en 2006) et devrait contribuer à diffuser des rendements de génération proches de 0,95 mais à alourdir quelque peu le bilan en énergie primaire des segments anciens (ce qui ne serait pas le cas du parc

neuf grâce, notamment, à l'adoption de pompes à chaleur permettant de respecter le plafond établi par le label BBC). Dans un tel scénario, le gaz en réseau perdrait des parts de marché dans l'immeuble collectif (1 million) pour en gagner autant dans la maison individuelle et pour réduire son poids relatif par rapport à 1999. Signalons que cette permutation n'en serait

réellement pas une d'un point de vue énergétique car l'échange ne se ferait pas sur les mêmes bases de surfaces habitables, ni sur celles des besoins de chauffage. Les seuls systèmes de chauffage en réseaux qui bénéficieraient d'une croissance significative seraient le chauffage urbain qui atteindrait près de 2,5 millions d'unités, exclusivement dans l'immeuble collectif.

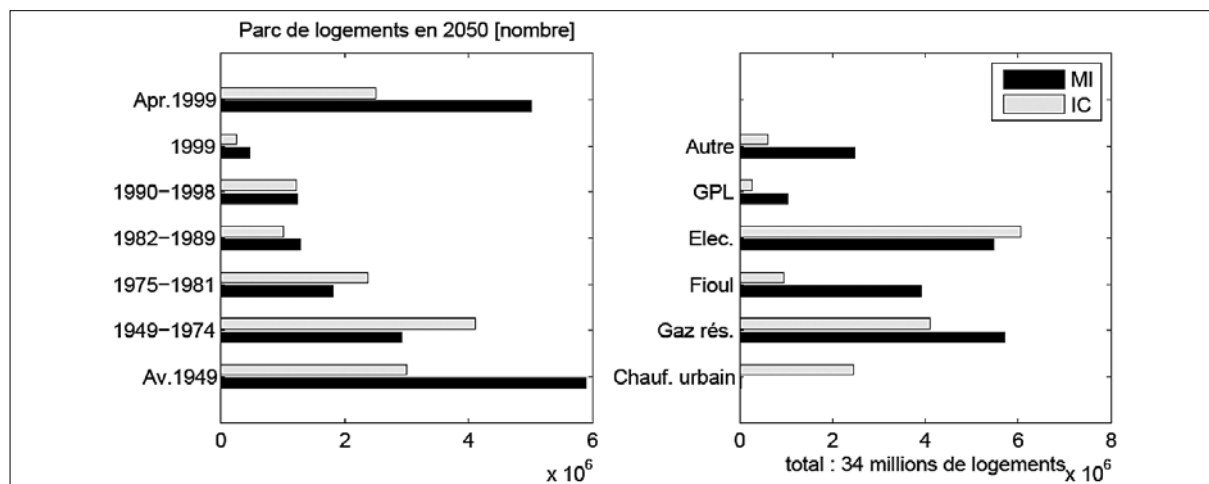


Fig 5. Structure du parc de logements par type, période de construction et système de chauffage à l'horizon 2050 selon un scénario tendanciel

Le scénario d'éloignement à plus de dix kilomètres de l'emploi conduirait quant à lui à une croissance des consommations de chauffage et d'ECS de l'ordre de 22% (soit 526TWh/an). La faiblesse relative par rapport au scénario tendanciel (de l'ordre de 8%) s'explique par le nombre de logements neufs supplémentaires qu'il faudrait construire pour mettre en œuvre cet éloignement (près du double par rapport au scénario précédent) et le poids plus important des édifices répondant aux exigences BBC. Notons que ces deux propriétés du stock de logements se retrouvent dans tous les scénarios. Les consommations moyennes par ménage pour le chauffage et l'ECS passeraient ainsi de 18,6 en 2000 à un peu plus de 16 MWh/ménage/an en 2050.

Dans ce scénario, le poids de la maison individuelle neuve serait quatre fois supérieur à celui de l'immeuble collectif et accélérerait l'érosion de ce dernier segment dans le stock existant en 2006. Le parc de logements avoisinerait 30 millions d'unités, soit près de quatre millions de moins de ce que suggère la tendance. Cette diminution de la taille du parc, qui amplifie la réduction des consommations en énergie finale, s'explique par un peuplement des logements convergeant vers celui de la maison individuelle (et de ce fait sensiblement supérieur à la tendance). Les systèmes en réseau favorables à l'immeuble collectif, tant le gaz que le chauffage urbain, seraient les grands perdants d'un tel scénario, puisqu'ils perdraient respectivement pas moins de 500 000 et un million d'unités par rapport à 2006. Néanmoins, il apparaît que le chauffage

électrique ne profiterait que peu de cette régression des systèmes en réseau : le bois et dans une moindre mesure le fioul gagneraient en effet autour d'un million de logements. La croissance des parts de marché de l'électrique serait, comme dans le scénario précédent, plutôt énergétique au regard des surfaces habitables de la maison individuelle.

De façon analogue, un scénario de rapprochement à moins de dix kilomètres de l'emploi nécessiterait la construction de logements neufs dont le poids devrait impliquer une baisse significative de la demande de chauffage et d'ECS. Mais à l'inverse des deux premiers scénarios, la dynamique du stock permettrait une décroissance des consommations de chauffage de l'ordre de 13% par rapport à 2000 (environ 340 TWh/an), les consommations en énergie finale d'ECS poursuivant leur croissance dans les mêmes ordres de

grandeur que ceux des deux premiers scénarios. Ce qui ramènerait le gain pour les deux postes à environ 10 % par rapport à 2000. En passant les consommations finales moyennes à 12 MWh/ménage/an, ce scénario, par ses effets structurels de parc et malgré un stock plus important que celui du scénario précédent (avec un surplus de plus de 3 millions d'unités), mènerait à des réductions des consommations de chauffage et d'ECS de l'ordre de 46 et 34% par rapport aux scénarios tendanciels et d'éloignement à l'emploi.

Ce scénario favorable à l'immeuble collectif accentuerait l'érosion de la maison individuelle et conduirait à un partage sensiblement égal entre les deux types pour le logement neuf (avec un léger avantage pour le logement en immeuble collectif). Les systèmes de chauffage nécessitant des infrastructures en réseau verraient leur nombre augmenter notamment les segments fonctionnant au gaz (alors qu'il avoisinerait les mêmes parts de marché que ce que suggère la tendance pour le chauffage urbain).

En énergie primaire (sachant que la progression des consommations de chauffage en énergie finale serait, selon une projection tendancielle, de l'ordre de 30 %), la forte pénétration du chauffage électrique dans le stock existant en 2006 et dans le logement neuf construit dans la période engendrerait un alourdissement supplémentaire de la facture énergétique de près de 41% (de 477 à 672 TWh/an). Cet alourdissement se retrouve pour l'ECS à raison de 43 % de croissance (de 55,3 à 79,2 TWh/an). Grâce à une contribution plus ample du neuf, le scénario d'éloignement conduirait à une progression des consommations en énergie primaire de l'ordre de 37 % pour le chauffage (652 TWh/an) et de 44 % pour l'ECS (77 TWh/an) ; le différentiel avec les consommations d'ECS des projections tendancielle s'expliquant par le poids de la maison individuelle dans

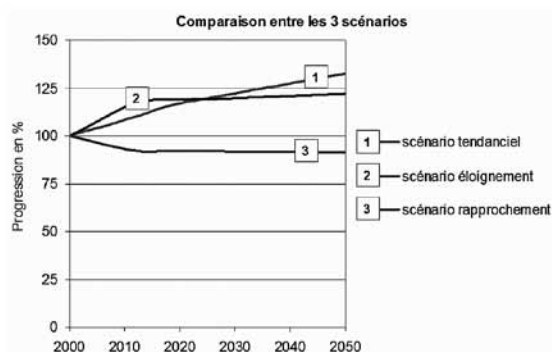


Fig 6. Evolution des consommations d'énergie finale du chauffage et de l'ECS à l'horizon 2050 en base 100 selon les trois scénarios

Consommations finales (TWh/an)	Situation en 2000	Situation en 2050 selon tendance	Situation en 2050 selon éloignement	Situation en 2050 selon rapprochement
chauffage	387	515	473	340
ECS	43	57	53	53
Total	431	573	527	393

Tableau 1. Effets énergétiques des trois scénarios pour le secteur de l'habitat

le stock de 2050 et par l'importance de sa surface habitable, élément accentuant les besoins en eau.

Les bénéfices du rapprochement de l'emploi et de l'habitat seraient, en énergie primaire, totalement perdus à cause de l'électrification massive des logements.

La mobilité domicile-travail en vp : bilan énergétique et émissions de CO₂

Les scénarios d'évolution de la performance énergétique et émissive de CO₂ du parc vp

A l'image de l'exercice réalisé pour le secteur de l'habitat, il est indispensable, avant de déterminer les effets énergétiques de la mobilité domicile-travail en voiture particulière, de préciser l'ampleur des gains apportés par l'amélioration technologique des véhicules. A l'instar de celle que l'on peut envisager pour les générateurs ou les émetteurs dans le secteur du bâtiment, l'élaboration de scénarios d'évolution du rendement moteur à l'échelle du parc automobile est un exercice qui demeure délicat vu les nombreuses modifications des structures du marché et la volatilité des stratégies des constructeurs et des choix industriels adoptés en périodes de conjoncture économique. Le modèle COPERT [6] fournit néanmoins un tel scénario.

Ce modèle propose une évolution structurelle du parc automobile et repose sur une prospective à 2020 prévoyant une amélioration globale des émissions unitaires de CO₂ de 1995 jusqu'à 2005 puis une dégradation à terme. Cette projection résulte du changement macroscopique dans la composition du stock automobile et des efforts microscopiques réalisés à l'échelle des véhicules. L'extrapolation linéaire de cette progression à l'horizon 2050 mènerait alors à une augmentation des émissions unitaires par rapport à 1995 de l'ordre de 7%, ce qu'il paraît difficile d'admettre à la lumière des tendances les plus récentes.

On a donc préféré ici, même si cela semble assez contestable car ne relevant pas de d'observations

D'un gain de 13% en énergie finale, on passerait à une stabilisation des consommations en énergie primaire. L'addition des consommations en ECS engendrerait même une inversion de tendance avec une croissance totale de l'ordre de 2 %.

directes, adopter des scénarios contrastés (volontaristes ou au fil de l'eau). Le premier scénario maintient ainsi jusqu'à 2050 les niveaux actuels d'émissions soit 175 g CO₂/km (S175g). Le second envisage une mise sur le marché dès 2012 de véhicules neufs dont les émissions ne dépassent pas en moyenne 120 g CO₂/km. La pénétration de ce marché permettrait alors d'atteindre ce palier entre 2020 et 2030, palier se prolongeant jusqu'en 2050 (S120g) ou épousant une pente non linéaire lui permettant d'atteindre à cet horizon 105 g CO₂/km. Deux derniers scénarios volontaristes, peu probables, envisagent, d'une part, un niveau d'émission de 70 g CO₂/km (S70g), d'autre part, un facteur 4 réalisé directement sur les véhicules (SF4véhicule), soit une émission unitaire de 44 g CO₂/km. Ces deux derniers scénarios permettent de mettre en évidence le poids des km.vp parcourus par rapport aux efforts techniques réalisés sur les rendements moteurs.

Les consommations d'énergie et les émissions de CO₂ induites par la mobilité domicile-travail selon les scénarios de localisation des ménages

Calculées sur la base d'un PCI moyen du carburant de 43 MJ/kg et un temps de travail de 196 jours par an, les consommations annuelles induites par la mobilité domicile-travail avoisineraient les 50 TWh/an en 2000 (Fig. 7). Cette mobilité, proche de 65,3 milliards de km parcourus, devrait croître à l'horizon 2050 (à partir des seuls effets démographiques et en considérant les distances moyennes égales à celles de 2006), de l'ordre de 22 % soit 77,8 milliards de km pour une consommation de 61,5 TWh/an. Un éloignement à l'emploi de plus de dix

kilomètres doublerait cette progression en portant cette dernière à 44 % par rapport à 2000 (soit 72,5TWh/an). Le rapprochement entre l'emploi et l'habitat permettrait de ramener les distances parcourues à un peu plus de cinq milliards de km soit une réduction des consommations par rapport à 2000 d'environ 20 %.

Les efforts techniques concernant les émissions des véhicules suffiront-ils à contrebalancer les tendances de croissance des deux premiers scénarios ? Permettront-ils d'atteindre le facteur 4 pour la mobilité

facteur 4 à l'échelle des véhicules correspondrait à des facteurs 3,25, 2,75 et 5 pour, respectivement, les projections tendancielle, l'éloignement et le rapprochement domicile-travail.

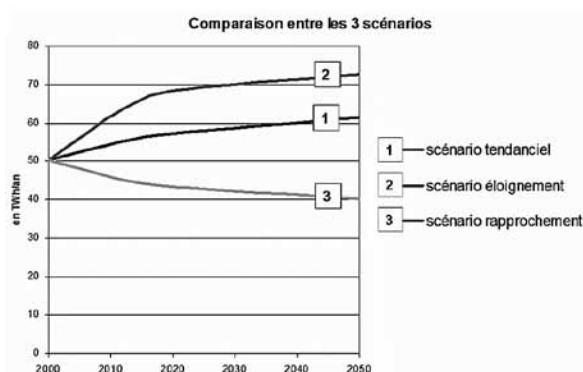


Fig 7. Consommations en énergie finale (en TWh/an) des déplacements domicile-travail en vp à l'horizon 2050 selon des scénarios éloignement au lieu d'emploi

domicile-travail ? Un parc automobile émettant en moyenne 120 g CO₂/km permettrait, à l'horizon 2050, de compenser les effets d'éloignement à l'emploi et réduirait de 17% ceux induits par les croissances tendancielle. En diminuant les émissions de l'ordre de 20 %, le rapprochement à moins de dix kilomètres de l'emploi, sans effort sur le facteur d'émissions du parc automobile, serait ainsi plus efficace que la généralisation du véhicule à 120 g CO₂/km. A partir d'un tel niveau d'émission, le rapprochement de l'habitat et de l'emploi permettrait quant à lui d'atteindre un facteur 2. Ce facteur serait atteint pour les scénarios tendanciels et d'éloignement qu'à partir d'une pénétration parfaite du véhicule à 70 g CO₂/km, il serait quasiment égal à 4 avec un rapprochement à l'emploi à des distances inférieures à dix kilomètres. Enfin le

Occupation du sol et artificialisation

Les projections d'artificialisation du sol à l'horizon 2050 à partir d'une rétrospective 1990-2006

Le modèle empirique développé dans ce travail montre que les modalités d'urbanisation, en termes d'occupation du sol, sont fortement corrélées à la structure du parc de logements. Il est intéressant, néanmoins, d'examiner les développements de la tache urbaine à venir sans tenir compte de ces corrélations afin, dans un second temps, d'en apprécier la pertinence dans une meilleure mesure. Il s'agit donc ici de construire un scénario d'occupation du sol à l'aune d'un examen exclusif de la dynamique des surfaces continues, discontinues et artificialisées.

Ce scénario simule une croissance linéaire en se fondant sur le prolongement de deux tendances relatives à l'occupation du sol bien distinctes : d'une part, celle observée entre 2000 et 2006, d'autre part, celle correspondant au développement entre 1990 et 2006 (soit quinze ans d'intervalle). Dans les deux cas, le territoire passerait de 2,5 millions d'ha (en 1990) de sol artificialisé à 3,5 millions d'ha en 2050, soit une augmentation de l'étalement urbain de 40% par rapport à 1990 (30% par rapport à 2000 et 26% par rapport à 2006) : entre 812 000 ha et un million d'hectares de surface agricole et naturel seraient ainsi rognés. La part de tissus discontinus demeurerait inchangée (environ 75 % du sol artificialisé) alors que celle du tissu continu décroîtrait au point de devenir encore plus négligeable.

L'artificialisation du sol selon les scénarios de localisation des ménages

Ces résultats se retrouvent dans le scénario de référence lorsqu'on réintègre le lien avec le parc de logements. Rappelons que ce scénario a été construit à partir d'une extrapolation de la dynamique du parc observée entre 1999 et 2006 et sur la base d'un rythme de croissance (ou de décroissance) à l'échelle communale constant (en valeur absolue). Ce rythme poursuit donc la tendance de localisation de l'habitat observé dans la période en intégrant les divers processus de migration résidentielle.

Sur la base d'un tel calcul, l'artificialisation du sol atteindrait la même étendue que celle obtenue à partir du prolongement linéaire vu plus haut, à savoir un peu plus de 3,5 millions d'hectares (plus de 800 000 hectares supplémentaires par rapport à 2006). Cette convergence entre les deux scénarios s'explique par la constance relative des parts qu'occuperaient les maisons individuelles et les immeubles collectifs dans le stock de 2000 à 2050.

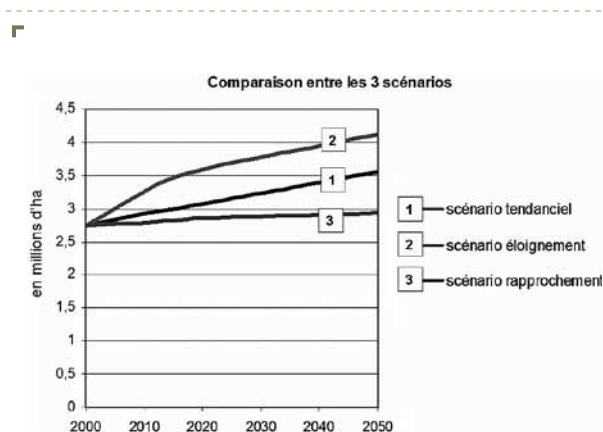


Fig 8. Évolutions de la surface artificialisée totale en millions d'ha à l'horizon 2050 selon les scénarios tendanciel, d'éloignement et de rapprochement à l'emploi.

Conclusion

Que peut-on retenir de ces trois scénarios de localisation ? Essentiellement trois points.

- 1 Quel que soit le scénario, on constate que les dynamiques en jeu sont orientées vers un fort développement de la maison individuelle. Comme si celle-ci était moins sensible, en comparaison à l'immeuble collectif, aux choix de localisation de l'habitat et de l'emploi. Ce constat résulte principalement de la dynamique extrêmement vigoureuse du secteur de l'habitat individuel observé entre 1999 et 2006 et d'une modélisation qui ne remet pas en cause les mouvements à l'intérieur du stock de logements pendant cette période. On retrouve cette propriété dans l'évolution des parts de marché du chauffage électrique : peu contraint par la typologie du logement et sa localisation, ce système de chauffage a investi avec vigueur le stock au point d'assurer sa croissance pour tous les scénarios. Les scénarios de rapprochement de l'habitat et de l'emploi peuvent conduire à des réductions de consommations d'énergie encore plus importantes par la seule structure du parc à condition que l'on découple la question de la typologie des logements (et de leur système de chauffage) de celle de leur localisation dans le territoire. Or il n'est envisageable de considérer une rupture entre structure de parc et localisation et de l'emploi que si l'on remet en cause les liens empiriques que nous avons mis en évidence dans notre modèle.
- 2 En outre, les effets de structure du stock n'arrivent pas, malgré des scénarios exagérant la construction de logements neufs performants, à compenser des tendances haussières dues à l'augmentation numérique des logements, des surfaces habitables et des distances parcourues lors des navettes domicile-travail. Au mieux, une généralisation de l'emploi à moins de dix kilomètres permettrait-elle dans l'intervalle 2000-2050 de stabiliser les consommations à partir de 2030 - après un palier à 440 TWh/an aux alentours de 2020 - grâce à une part du logement collectif significative et une réduction drastique des besoins de chauffage obtenue à partir des exigences BBC. Mais cette stabilisation ne serait pérenne que si la pression démographique était suspendue durablement. En d'autres termes, parvenir à des trajectoires baissières des consommations d'énergie à partir du seul jeu de localisation de l'habitat et de l'emploi, ne serait possible qu'à partir d'un rapprochement itératif et de plus en plus exigeant de ces derniers. Or, c'est exactement l'inverse qui se produit entre 1999 et 2006. En augmentant, les distances moyennes aggravent la facture énergétique de la mobilité quotidienne plus que ne le fait la croissance numérique des flux. La technologie à l'échelle du véhicule permettrait au mieux d'annuler les effets de croissance des flux et ne pourrait inverser les effets de croissance résultant de l'augmentation des distances à l'emploi. Le secteur de l'habitat pourrait-il jouer un rôle de compensation ? Nous avons montré, même si nous n'avons pas cherché à déterminer la part d'énergie électrique produite par les bâtiments à partir de 2020, que la réponse à cette question est clairement négative lorsqu'on se limite à un jeu de localisation des logements. Et si l'on considère les efforts de réhabilitations thermiques du parc existant ? Là encore la réponse sera négative. Nous avons montré dans d'autres recherches [7] que les efforts techniques à l'échelle du bâtiment permettraient au mieux de réduire les consommations du secteur de l'habitat et d'atteindre au plus juste le facteur 4 sans pour autant disposer de gisements suffisants pour satisfaire les besoins de postes supplémentaires.

3 Enfin, les effets structurels des deux premiers points se retrouvent dans l'évolution de l'artificialisation du sol. Tous les scénarios montrent que l'urbanisation continuera d'absorber les surfaces agricoles périphériques par extension continue ou par mitage (question non examinée ici mais très défavorable à la maison individuelle). Seule l'ampleur de cette dilution de la surface urbanisée diffère d'un scénario à un autre. Le surcroît de surface artificialisée est dû à la dynamique du parc favorable, comme nous l'avons vu, à la maison individuelle. Comment réduire alors cette expansion ? La seule réponse que l'on puisse donner dans le cadre de cette recherche, serait, à l'image de ce que nous évoquions dans le premier point, de rompre la relation empirique qui lie le mode d'artificialisation du sol avec la structure du parc de logements. En effet, les simulations reposent sur les modes d'urbanisation en vigueur entre 1990 et 2006. Or ces derniers peuvent être remis en cause et, à l'image de l'amélioration des rendements énergétiques des systèmes de chauffage ou des véhicules particuliers, peuvent faire l'objet de progrès en termes de « rendement d'occupation du sol ».

Références

1. MAÍZIA M., CEZE C., RIMMEL L., JOLITON D., BERGE S., MENARD R., VIEJO GARCIA P., LEROLLES H., TELLER J., *Les gisements du développement urbain : Analyse quantitative à l'horizon 2050 des consommations énergétiques et des émissions de CO₂ des tissus urbains*, rapport de recherche, PUCA, Paris (2010)
2. INSTITUT FRANÇAIS DE L'ENVIRONNEMENT, *CORINE land cover France - Fiches techniques* (2006)
3. JACQUOT A., *Projection de ménages pour la France métropolitaine à l'horizon 2030 : Méthode et résultats*, ISEE, Direction des Statistiques Démographiques et Sociales
4. CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT, *SOLO : méthode de calcul des performances thermiques des installations solaires de production d'eau chaude sanitaire*, CSTB (1992)
5. LAURENT M.-H., BARTHEL L., TRAISNEL J.-P., NIBEL S., MAÍZIA M. ET. AL, *Le système énergétique des bâtiments résidentiels de demain*, Rapport final version 1 (2006)
6. NTZIACHRISTOS L., SAMARAS Z., *COPERT III Computer programme to calculate emissions from road transport, Methodology and emission factors (Version 2.1)*, Technical report No 49, ETC/AEM, European Environment Agency, (2000)
7. MAÍZIA M., *Prospective des consommations d'énergie et des émissions de CO₂ dans l'habitat : les gisements offerts par les pompes à chaleur*, Cahier du CLIP, vol. 18, Paris (2007)