



ETHEL

ENERGIE TRANSPORT HABITAT ENVIRONNEMENT LOCALISATIONS

ETHEL - II

Rapport Final (provisoire)

Juin 2009

Convention ADEME n° 06 10 C 0094



LET

Laboratoire d'Economie des Transports
UMR 5593 CNRS, Université de Lyon,
ENTPE



AUS-LTMU

Laboratoire Théorie des Mutations
Urbaines
UMR 7136 CNRS, Université Paris 8
Vincennes Saint Denis

Ce document devrait être référencé de la manière suivante :

Jean-Louis ROUTHIER, Jean-Pierre TRAISNEL, Jésus GONZALES-FELIU, Frédéric HENRIOT, Charles RAUX, (2009) ETHEL-II. Rapport final. Convention ADEME.

Contacts

| | |
|--|----------------------|
| M. Charles RAUX (coordinateur du projet) | |
| Laboratoire : Laboratoire d'Economie des Transports (LET) | |
| ISH, 14 avenue Berthelot, 69363 LYON CEDEX 07 | |
| email : charles.raux@let.ish-lyon.cnrs.fr | |
| Tél : 04 72 72 64 54 | Fax : 04 72 72 64 48 |

| | |
|--|----------------------|
| M. Jean-Pierre TRAISNEL | |
| Laboratoire : LTMU, Laboratoire Théorie des Mutations Urbaines, UMR AUS 7136 | |
| Institut français d'urbanisme, 4 rue Nobel, Cité Descartes, 77420 Champs sur Marne | |
| email : Jean-Pierre.Traisnel@univ-paris8.fr | |
| Tél : 01 64 68 91 91 | Fax : 01 64 68 96 87 |

Sommaire

| | |
|--|------------|
| Introduction | 1 |
| 1 Activité A « Transport de marchandises en ville » | 2 |
| 1.1 Cadrage des travaux | 2 |
| 1.2 Les outils de modélisation existants | 4 |
| 1.3 Tâche A 1 : Les évolutions de l’emploi et du nombre d’établissements dans diverses agglomérations | 8 |
| 1.4 Tâche A2 : Modéliser la demande de transport de biens de consommation finale 13 | |
| 1.5 Tâche A3 : Scénarios et résultats des simulations | 30 |
| 2 Activité B « Secteur résidentiel » | 46 |
| 2.1 Cadrage des travaux | 46 |
| 2.2 Tâche B1 : Modèle dynamique du parc | 46 |
| 2.3 Tâche B2 : Analyse énergétique et morphologique du parc de logements. | 63 |
| 2.4 Tâche B3 : Scénarios énergétiques et artificialisation du territoire | 102 |
| Références | 117 |

Résumé exécutif

Le premier volet du programme Ethel II s'attache à élargir l'analyse de l'impact d'hypothèses sociétales et technologiques sur les modes de vie, les localisations d'activités, les offres de transports et les comportements de déplacements, au cas des déplacements de marchandises en ville. Le point central de cette analyse sera le commerce de détail qui occupe une place essentielle dans la formation des flux de biens dans la ville. Plus précisément, nous analyserons l'interaction entre les flux d'approvisionnement des commerces et les déplacements d'achats des ménages.

Afin de simuler les deux types de mouvements de véhicules liés à l'approvisionnement des ménages, nous proposons une approche qui considère les deux parties de la chaîne d'approvisionnement des ménages en zone urbaine: d'un côté, la partie amont (distribution aux points de vente) est simulée à l'aide du modèle Freturb ; de l'autre côté, pour simuler le dernier maillon (déplacements entre les points de vente et les ménages), un modèle de prévision a été développé.

Le modèle Freturb est un outil d'aide à la décision développé par le LET, qui intègre plusieurs modules. Il permet notamment d'estimer le nombre de kilomètres pour la distribution de marchandises aux différentes activités commerciales d'une agglomération française, en s'appuyant sur les résultats d'enquêtes sur les livraisons et les enlèvements dans les établissements des aires urbaines. Dans ce projet, deux modules de Freturb ont été utilisés :

- Le module de génération de mouvements de véhicules entre établissements, en fonction du type d'activité, de la taille de l'établissement et de plusieurs règles de fonctionnement de ces activités.
- Le module d'occupation de la voirie par les véhicules, qui permet d'obtenir le nombre de kilomètres.UVP générés par chaque zone, à partir des données fournies par le module de génération des mouvements, et des modes d'approvisionnement selon le type d'activité et la taille des établissements.

Nous avons utilisé Freturb pour étudier les effets des évolutions des activités commerciales et les changements dans les modes de distribution de marchandises.

L'autre modèle, qui a été développé dans le cadre du présent projet, permet de simuler les comportements des ménages en matière d'achats. Plus précisément, il détermine l'aire d'attraction de chaque zone pour les déplacements d'achats, la zone étant caractérisée par son offre commerciale. Afin de confronter les résultats du modèle avec ceux de la distribution de marchandises, nous avons tenu compte des seuls déplacements d'achat effectués en voiture particulière. En effet, ce sont ceux dont les effets négatifs sont les plus influents (congestion, émissions de gaz à effet de serre et d'autres substances polluantes, bruit, etc.), considérant que la contribution des transports en commun ou des modes doux à ces nuisances est négligeable.

Ce modèle séquentiel fonctionne en deux étapes : tout d'abord, les déplacements d'achat sont générés avec un modèle de prévision obtenu par régression multilinéaire, ensuite l'aire d'attraction de chacune des zones est calculée avec un modèle de type « aire de chalandise ». Ce modèle considère trois catégories d'espaces urbains : la zone centrale urbaine, qui correspond en général à la ville principale, la périphérie proche, qui comprend les communes de la première couronne, et la périphérie lointaine. Après calibrage du modèle sur les villes de Lyon et Dijon, ce modèle permet d'estimer avec une faible marge d'erreur les déplacements d'achat en voiture particulière générés par chaque zone, en fonction de l'offre commerciale par typologie de commerce (petit commerce, grande surface, très grande surface), de la

population et d'autres variables spécifiques pour chaque catégorie. Le modèle « aire de chalandise » est de type gravitaire et tient compte des différences de comportement dans les déplacements d'achat en petit commerce par rapport aux grandes et très grandes surfaces. Ce modèle estime les aires d'influence avec une marge d'erreur supérieure au modèle de génération, mais reste dans les ordres de grandeur des modèles de type gravitaire.

Une autre question est à considérer, à savoir les nouvelles formes de distribution, notamment la livraison à domicile et les systèmes de distribution s'appuyant sur un réseau de points relais. Afin de simuler ces modes de distribution, nous avons utilisé les résultats d'une enquête auprès des opérateurs de livraison à domicile, qui nous a permis de définir une démarche de simulation pour déterminer le nombre et la composition des tournées pour les deux modes de livraison.

Nous avons ensuite défini quatre scénarios « extrêmes » de stratégies d'approvisionnement des ménages pour l'aire urbaine de Lyon, en partant d'une situation très proche de l'actuelle (simulations sur les données de 2006) :

- La totalité de l'offre commerciale se situe dans des centres commerciaux. A partir des localisations actuelles, et en supposant que les nouveaux centres commerciaux vont être développés à proximité des pôles existants, une offre commerciale équivalente à celle de 2006, concentrée sur ces pôles, est définie en utilisant des équivalences entre les différents types d'activités commerciales.
- La totalité de l'offre commerciale est répartie dans le territoire sur des commerces de petite et moyenne taille. En partant des équivalences entre les différents types d'activités commerciales et en supposant une répartition des commerces proportionnelle à la population de chaque zone, les grandes et très grandes surfaces sont remplacées par des commerces de proximité.
- Tous les ménages sont livrés à domicile.
- Tous les ménages utilisent un système de distribution s'appuyant sur des points relais.

Nous avons obtenu pour chaque scénario le nombre total de kilomètres.UVP générés pour chaque zone en tenant compte des mouvements de véhicules pour le transport de marchandises inter-établissements et ceux liés à l'approvisionnement des ménages.

Nous observons qu'un système avec des pôles commerciaux très concentrés diminue considérablement le nombre de kilomètres.UVP de la distribution de marchandises, et même s'il concentre les destinations des déplacements d'achat, la situation actuelle n'est améliorée que marginalement (baisse de 10% des kilomètres.UVP).

Par contre, un système avec une forte expansion du commerce de proximité entraîne une réduction des kilométrages en voiture particulière, qui non seulement compense l'augmentation du nombre de kilomètres.UVP de la distribution aux commerces, mais réduit la distance totale parcourue de plus de 60%.

La livraison à domicile s'avère un système moins efficace, en utilisant l'organisation actuelle de livraison à base véhicules utilitaires légers. En effet, les tournées ne sont pas optimales et ce type de système de distribution est assez rigide, compte tenu des contraintes liées à la disponibilité des personnes qui reçoit la marchandise : les fenêtres temporelles sont courtes, beaucoup de ménages doivent être livrés, et la marchandise est livrée au porte à porte. Ces contraintes ne permettent pas une amélioration considérable du système sans changer les stratégies de distribution ou la qualité du service.

Enfin, les points relais semblent être la stratégie la plus efficace pour la réduction des distances parcourues en voiture, mais aussi pour l'optimisation des tournées de livraison, soit

aux dépôts de distribution, soit aux points relais. Le gain en nombre de kilomètres.UVP est supérieur à 80% par rapport à la situation actuelle.

Le deuxième volet du programme Ethel II, à savoir l'analyse énergétique du parc de résidences principales et de ses caractéristiques morphologiques, vise plusieurs objectifs. Dans les scénarios de type « Facteur 4 » à 2050, une analyse des conditions du bâti (sur la base de la typologie, de la période de construction, etc.) permet de fixer des limites aux actions de réhabilitation, de déterminer les options préférentielles pour les énergies de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire, fondant les dynamiques des scénarios énergétiques qui privilégieront le bois, le gaz ou l'électricité. Les différents types d'action seront identifiés, pour les deux principaux segments du parc :

- dans la construction neuve, nous analysons l'impact environnemental des typologies de logement privilégiées, pour les cibles de performance définies dans le Grenelle de l'environnement, BBC (bâtiment à basse consommation) puis "à énergie positive" (BEPOS) ;
- dans le parc existant (construction antérieure à 2005), nous analysons les interventions sur le bâti, la vitesse de rénovation des équipements énergétiques et les possibilités de substitution, vers des énergies non carbonées (solaire, biomasse, etc.).

Les deux postes de consommations énergétiques, du chauffage et de la production d'eau chaude sanitaire, sont privilégiés dans cette deuxième phase de la recherche ETHHEL. Les consommations de chauffage faisant l'objet de nombreuses études paramétriques dans les rapports de recherche « ETHHEL 1 », elles ne seront pas reprises dans leur intégralité, tout en prenant acte des conditions de rupture proposées par le Grenelle de l'environnement.

En revanche, le déficit concernant l'estimation des besoins en ECS est en partie comblé à ce stade. Une méthodologie d'estimation des besoins unitaires à 2050 est proposée, qui ne se fonde plus sur les projections tendanciennes. Si les consommations énergétiques liées à ce poste ont semblé secondaires par rapport à la domination des besoins de chauffage, ce n'est plus le cas dans les scénarios visant à mettre en application les engagements du Grenelle : dans des bâtiments très performants, les consommations liées à l'eau chaude sanitaire peuvent occuper la première place, sauf à réduire les besoins unitaires et à exploiter systématiquement le solaire thermique : pour cela, il est nécessaire d'estimer le gisement de toitures solarisables pour la production d'eau chaude sanitaire (ECS).

Il sera aisé de constater que les surfaces de toitures, lorsque les conditions morphologiques et urbaines le permettent, sont en général suffisantes pour accueillir les quelques mètres carrés nécessaires par logement au solaire thermique. En revanche, les surfaces de production d'électricité photovoltaïque sont plus contraignantes, en particulier dans la configuration BEPOS (bâtiment à énergie positive) considéré comme le niveau BBC (bâtiment basse consommation) compensé : les gabarits de logements neufs respectant le niveau BEPOS sont ainsi analysés, montrant les configurations acceptables selon la zone climatique. Une analyse morphologique permettant d'estimer les gisements de toitures photovoltaïques est ainsi proposée, bien que le potentiel final en térawatt-heure (TWh) d'énergie finale ne soit pas encore complètement évalué.

Exposés en B3, et en raison de l'évolution des notions relatives au développement urbain durable, les scénarios énergétiques de la construction neuve prennent en compte les segments qui doivent être privilégiés : formes urbaines continues, réversibilité vers les réseaux de chaleur, etc. L'analyse morphologique des tissus urbains est encore incomplète pour identifier les nombreuses configurations propices aux réseaux de chaleur. Pour le parc existant, des ordres de grandeur sont néanmoins proposés, pour le passage des équipements de chauffage

central collectif (CCC) à la biomasse. Tous les réseaux de chaleur sont supposés convertis au bois-énergie dans les scénarios énergétiques.

Parmi les quatre scénarios énergétiques proposés, qui permettent une première comparaison de la construction future (2010-2050), un seul a fait l'objet d'une simulation complète (chauffage et ECS, neuf et réhabilitation) : le scénario BOIS/GAZ/ELECTRICITE¹, qui privilégie le bois dans un champ d'application prédéfini, puis le gaz lorsque la commune est desservie, et enfin l'électricité, énergie pour laquelle il y a toujours une solution technique (de type PAC en relai de l'effet Joule).

Ce scénario, qui n'est pas le plus performant en consommations énergétiques ni en émissions de CO₂, présente néanmoins l'avantage de dessiner un premier repère pour un scénario réaliste, qui reste à construire. En privilégiant le bois, ce scénario se caractérise par :

- des consommations totales assez élevées, en raison des rendements de génération relativement faibles ;
- une bonne conversion en CO₂ ;
- un passage en 2020 qui doit être affiné, afin de respecter les engagements européens ;
- une dépendance à la ressource qui doit être également confirmée (en confrontant les demandes régionales aux ressources disponibles).

Enfin, le mode d'urbanisation de type périurbain consomme du territoire naturel ou agricole : cette artificialisation du sol entre en concurrence avec les usages énergétiques prévisibles, en particulier pour la production de la biomasse qui se substituerait aux ressources fossiles dans la perspective du "Facteur 4" à l'horizon 2050. Cette analyse, esquissée, demanderait un développement plus fourni.

¹ L'analyse complète des résultats des quatre scénarios, en cours, fera l'objet d'une publication dans les Cahiers du CLIP en octobre 2009.

Introduction

La lutte contre l'effet de serre est une priorité nationale, notamment dans le résidentiel/tertiaire et les transports. Par la croissance de leurs émissions de gaz à effet de serre (GES), ces deux secteurs tendent à effacer les progrès obtenus entre 1990 et 2001 dans l'industrie (-17,1%), la production énergétique (-16%) et le traitement des déchets (-5,7%). Les transports (+21,6%) et les bâtiments (+18%) montrent en effet des évolutions préoccupantes, malgré les avancées technologiques sur le neuf (automobiles et bâtiments). L'accroissement des distances parcourues par les personnes et des surfaces chauffées, dans un tissu urbain diffus de type pavillonnaire, la forte croissance des distances parcourues dans le transport de marchandises, avec une prépondérance croissante de la route, contribuent à la dérive des consommations d'énergie fossile. La réduction des consommations dans les secteurs de l'habitat et des transports contribuerait également à l'indépendance énergétique du pays. Cette question de société interroge les modes de vie, les politiques publiques, les collectivités – dans les actions relevant de l'aménagement du territoire –, la dynamique des innovations technologiques dans le bâtiment et la motorisation des véhicules.

Le projet de recherche ETHEL vise à mieux comprendre les déterminants de la croissance des émissions de GES à travers l'interaction entre transports et usages de l'espace pour pouvoir agir sur ces déterminants et ainsi infléchir cette dynamique de croissance.

Dans la phase I d'ETHEL, l'approche était restreinte aux transports de personnes et à l'habitat résidentiel. C'est pourquoi il est proposé dans ETHEL – phase II d'élargir l'approche au cas des transports de marchandises. En effet, d'une part le transport de marchandises en ville représente le quart de la contribution de la circulation urbaine (qui grosso modo représente la moitié des circulations routières à l'échelle nationale), d'autre part le transport de marchandises au total (courte et longue distance) représente environ 40% de la consommation des produits pétroliers par le mode routier (qui représente lui-même 83% de la consommation des produits pétroliers par le secteur des transports).

Deux activités sont donc proposées, la première relative au transport de marchandises en ville, une deuxième relative à l'affinement des modèles énergétiques des logements et de leurs morphologies spatiales.

1 Activité A « Transport de marchandises en ville »

Ce premier volet du programme Ethel II s'attache à élargir l'analyse de l'impact d'hypothèses sociétales et technologiques sur les modes de vie, les localisations d'activités, les offres de transports et les comportements de déplacements, au cas des déplacements de marchandises en ville. Le point central de cette analyse sera le commerce de détail qui occupe une place essentielle dans la formation des flux de biens dans la ville. Plus précisément, nous analyserons l'interaction entre les flux d'approvisionnement des commerces et les déplacements d'achats des ménages.

Après un cadrage terminologique, problématique et méthodologique, nous présenterons les résultats afférents aux différentes tâches de cette activité.

1.1 Cadrage des travaux

Le système d'approvisionnement urbain fait intervenir une grande diversité d'acteurs (industrie de biens de consommation et intermédiaires, distributeurs (des plates-formes aux commerces de détail en passant par divers intermédiaires (commerce de gros), consommateur (déplacements d'achat; livraisons à domicile) puis les divers services d'élimination des déchets. On peut y ajouter les chantiers de construction et d'entretien des réseaux urbains, ainsi que l'ensemble des moyens d'approvisionnement des services urbains. Dans le graphique suivant, les flèches désignent le cheminement de la marchandise.

Dans la suite de ce rapport, nous utiliserons la terminologie suivante :

- **Une livraison** est l'opération de déchargement de la marchandise dans un établissement à partir d'un camion lors d'un arrêt.
- **Un enlèvement** est l'opération de chargement de la marchandise à partir d'un établissement dans un camion.

Une livraison ou un enlèvement peuvent inclure plusieurs colis mais un seul véhicule. Enfin, un **mouvement** désigne la visite d'un véhicule qui vient livrer ou enlever de la marchandise (ou les deux).

Le décompte des mouvements est une mesure efficace de l'activité de transport d'un établissement. En effet, cela permet de compter le nombre de camions qui visitent chaque établissement en une période donnée. Une enquête sur les mouvements d'un établissement associée à une enquête auprès des chauffeurs permet d'obtenir des informations croisées entre les pratiques logistiques des établissements et leur demande de transport. Les enquêtes lourdes réalisées dans trois villes de Bordeaux, Dijon et Marseille ont permis de mettre en évidence des lois déterminantes pour expliquer la formation des flux de transport de marchandises dans la ville (LET, Gérardin Conseil, 2001). C'est sur la base de ces lois que le modèle FRETURB (LET, 2002, 2007) a été construit.

À Bordeaux, par exemple :

- 39 % des véhicules × km UVP¹ sont dus aux échanges inter-établissements ;
- 10 % sont liés à la gestion urbaine : services postaux, collecte des déchets, hôpitaux, chantiers de construction et d'entretien des réseaux, déménagements (des enquêtes spécifiques ont été nécessaires pour connaître ces flux) ;
- enfin, la part la plus importante (51 %) est le fait des achats effectués par les particuliers (l'évaluation a pu être réalisée grâce au traitement des enquêtes déplacements des ménages).

Ce dernier résultat montre bien l'importance des choix en matière de localisation commerciale sur le fonctionnement de la logistique urbaine.

Or la consommation énergétique et les émissions de gaz à effet de serre (CO₂ essentiellement) des transports de marchandises en ville représentent une part non négligeable des circulations urbaines, comme le montre le tableau ci-dessous :

| TMV (livraisons, flux d'achats et flux de la gestion urbaine) | CO | CO ₂ | NO _x | Hydrocarbures | SO ₂ | Particules |
|---|----|-----------------|-----------------|---------------|-----------------|------------|
| Émissions..... (%) | 13 | 26 | 35 | 16 | 32 | 44 |
| Concentration maximale HPM ⁽²⁾(%) | 11 | 28 | 54 | 17 | 33 | 56 |

(2) HPM : Heure de pointe du matin pour les marchandises : 10 h à 11 h.

- **Tableau 1 : Emissions et concentration de polluants dans l'agglomération marseillaise un jour de semaine ordinaire : part due au trafic de marchandises dans l'ensemble du transport motorisé (source : LET, Aria Technologie, Systems Consult 2002).**

Le tableau suivant illustre la répartition en déplacements, kilomètres et consommation d'énergie des diverses composantes du transport de marchandises en ville (TMV).

¹ UVP : unité voiture particulière : VUL = 1,5 VP ; Camion porteur = 2 VP ; Camion articulé = 2,5 VP

| Composantes du transport motorisé Marseille (1995) | % des déplacements | % des Km | % des Km UVP (*) | % Consommation d'énergie (Tep) |
|--|--------------------|----------|------------------|--------------------------------|
| Livraisons, enlèvements, y compris les flux de gestion urbaine (VP, VUL, PL) | 5% | 6% | 11% | 14% |
| Déplacements d'achats motorisés (VP) | 12% | 13% | 11% | 10% |
| Autres déplacements (VP) | 83% | 81% | 78% | 76% |

(*) UVP : unité voiture particulière (VP) ; VUL = 1,5 VP ; Camion porteur = 2 VP ; Camion articulé = 2,5 VP

• **Tableau 2 : Part des deux segments du TMV selon les déplacements, les km, les km*uvp et la consommation (issu de : LET et alii 2002)**

A la lecture de ces deux tableaux, on mesure la part que représentent les transports de marchandises pour la consommation d'énergie fossile (soit 24% en Tep) et pour la production de CO₂ (26%) sur la totalité des déplacements motorisés dans l'agglomération marseillaise.

En particulier, les déplacements d'achat génèrent deux fois plus de kilomètres que les échanges entre établissements (livraisons et enlèvements + flux annexes). Cela correspond à une occupation de la voirie sensiblement égale entre ces deux lignes (11%).

Ces comparaisons ont été rendues possibles grâce à la réalisation d'enquêtes nationales sur le transport de marchandises en ville menées dans trois villes de taille différentes (Bordeaux en 1994-95 puis Marseille et Dijon en 1996-97) et aux enquêtes sur les déplacements des ménages (pour les déplacements d'achat).

1.2 Les outils de modélisation existants

Les enquêtes nationales traitées par le LET ont permis de déterminer les principaux déterminants de la formation des flux de TMV (nombre de livraisons, durée des arrêts et longueur parcourue entre deux arrêts de livraison). Ces résultats ont permis d'élaborer un modèle de simulation (FRETURB) qui permet de reconstituer et quantifier sur une agglomération le nombre hebdomadaire de livraisons réalisées, l'occupation de la voirie par les véhicules en stationnement (nombre d'heures en double file) et en circulation (véhicules*km).

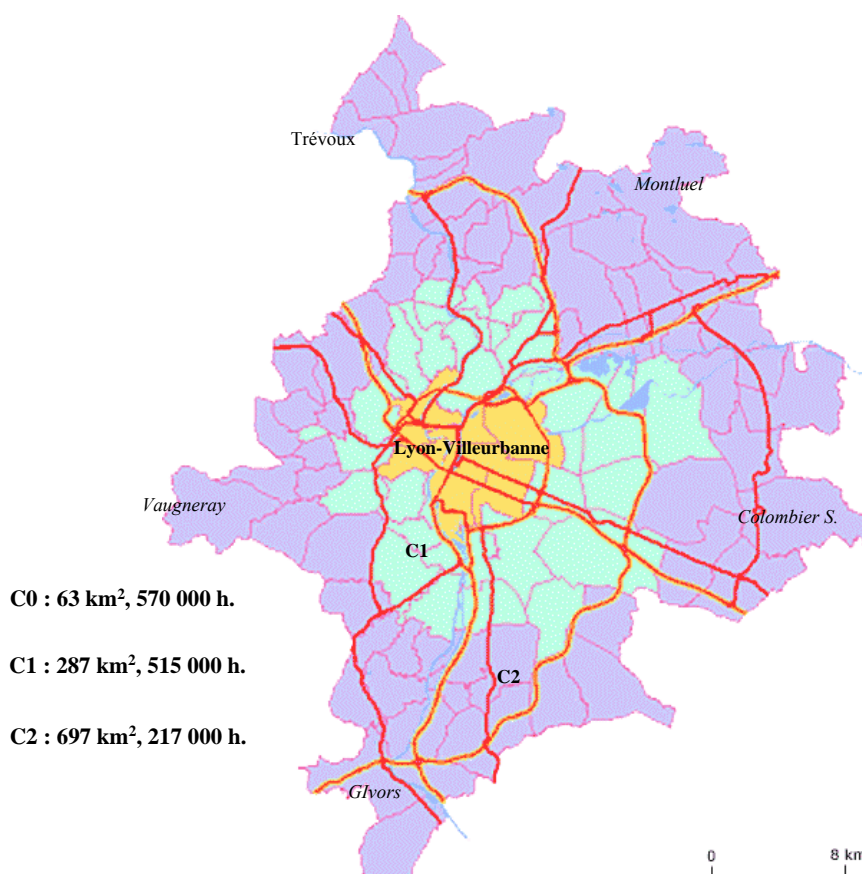
Cette partie décrit succinctement ce que permet de faire Freturb aujourd'hui.

Les grandes enquêtes réalisées en 1995-1997 ont montré une invariance certaine des modes d'organisation au sein des différentes branches d'activité (116 sous-strates). Chaque branche d'activité privilégie tel ou tel type d'opérateur. Chaque type d'opérateur réalise le transport selon des modes d'organisation sensiblement différents (notamment selon le type de véhicule, la fréquence des envois ou des commandes, le nombre d'arrêt des tournées, la localisation des ruptures de charges). Cela laisse présager de la complexité des différents cas de figure qui induisent naturellement un impact sur l'espace et l'environnement qui est différent d'un cas à l'autre.

Pour modéliser cette complexité, le LET a développé un modèle qui prend en compte l'ensemble de ces facteurs (Routhier et alii, 2000). Cet outil permet une estimation assez précise des livraisons et enlèvements générés par les différentes activités d'une ville.

Nous l'avons appliqué sur l'agglomération lyonnaise sur la base de l'activité économique recensée en 1999. Cette date a été choisie pour permettre un contrôle du nombre d'emplois total par activités déclarés dans les fichiers d'établissements de l'INSEE (SIRENE) par les résultats agrégés (par secteur d'activité et par commune d'emploi) du recensement de la population de 1999.

L'agglomération lyonnaise comporte 106 commune sur 1047 km². Sa population était en 1999 de 1 300 000 habitants, avec 613 100 emplois et 77 000 établissements.



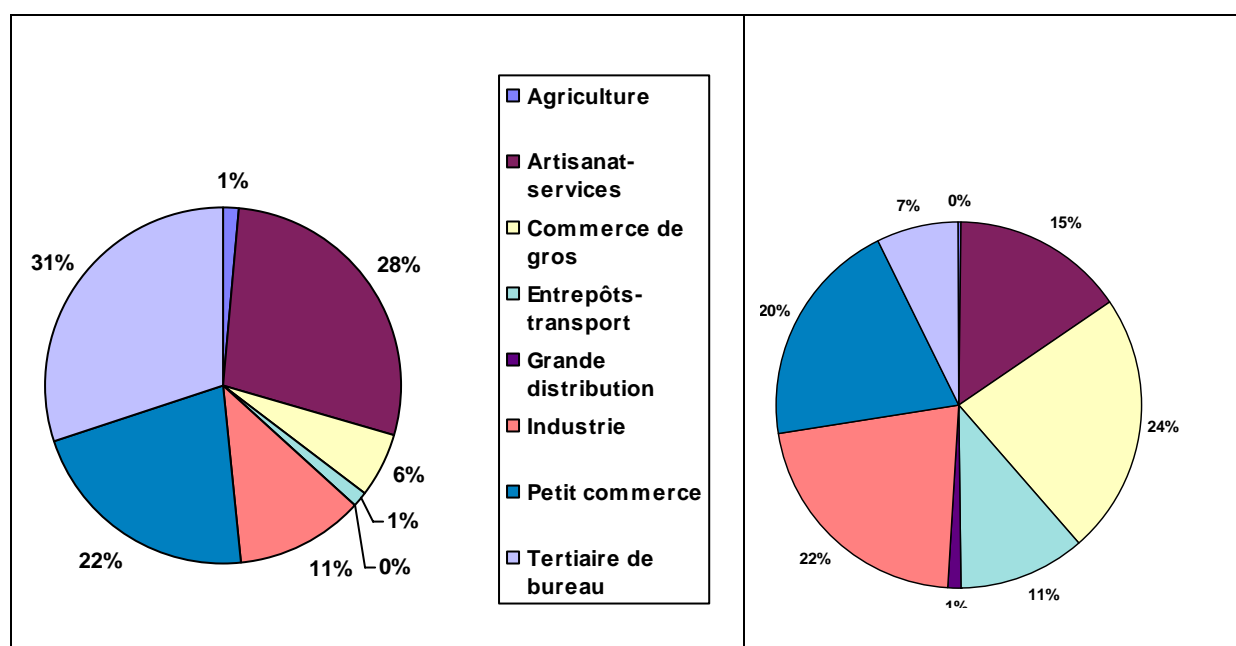
• **Figure 1 : Les trois couronnes de l'agglomération lyonnaise (1999)**

La mise en œuvre du modèle permet d'obtenir une estimation du nombre de livraisons et enlèvements de l'appareil commercial de l'agglomération lyonnaise, avec la ventilation suivante par branches d'activité :

| Branche d'activité | Nb. Etablissements | Nb. Emplois | Nb. Livraisons /enlèvements |
|---------------------|--------------------|-------------|-----------------------------|
| Agriculture | 1 553 | 3 090 | 2 067 |
| Artisanat-services | 24 288 | 96 578 | 92 922 |
| Industrie | 8 396 | 132 054 | 131 388 |
| Commerce de gros | 5 172 | 37 960 | 140 450 |
| Grande distribution | 178 | 13 134 | 7 776 |
| Petit commerce | 16 517 | 73 548 | 123 901 |
| Tertiaire de bureau | 26 797 | 281 524 | 44 140 |
| Entrepôts-transport | 656 | 14 006 | 67 206 |
| TOTAL | 83 557 | 651 894 | 609 849 |

• **Tableau 3 : Répartition des livraisons et enlèvements selon la branche d'activité (Simulation Freturb, LET – Lyon en 1999)**

Ce qui donne la répartition suivante :



• **Figure 2 : Répartition de l'emploi et des livraisons/enlèvements selon la branche d'activité (Simulation Freturb, LET – Lyon en 1999)**

Le commerce de détail représente 23% des livraisons dans la ville, la grande distribution n'en représentant que 1%. Il capte une grande part des flux sortants des commerces de gros et une part plus modeste en provenance des entrepôts.

La proportion du commerce de détail (en nombre de livraisons et enlèvements) s'élève à 28% dans la première couronne, pour passer à 36% dans l'hypercentre (arrondissements 1 et 2).

La répartition des types de véhicules (en nombre de livraisons/enlèvements) est la suivante :

| Agglo de Lyon | < 3,5 T | Camion porteur | Camion articulé |
|---------------------|---------|----------------|-----------------|
| Grande distribution | 25% | 47% | 27% |
| Petit commerce | 72% | 26% | 2% |

- **Tableau 4 : Commerce de détail : Répartition des livraisons et enlèvements selon le type de véhicule (Simulation Freturb, LET – Lyon 1999)**

| Agglo de Lyon | Compte d'autrui | Compte propre expéditeur | Compte propre destinataire |
|---------------------|-----------------|--------------------------|----------------------------|
| Grande distribution | 63% | 32% | 5% |
| Petit commerce | 28% | 57% | 15% |

- **Tableau 5 : Commerce de détail : Répartition des livraisons et enlèvements selon le mode de gestion (Simulation Freturb, LET – Lyon en 1999)**

On met ici en évidence une grande disparité d'opérateurs et de types de véhicules entre grande distribution et petit commerce. Ces caractéristiques expliquent largement l'impact de l'approvisionnement de ces activités sur la formation des flux de marchandises, les consommations d'énergie, l'espace et l'environnement urbain. Enfin, un facteur explicatif de la formation des véhicules*km est aussi le mode d'organisation des parcours des véhicules (en tournée ou en trace directe). En voici la description par branche :

| NST8 | Nombre de mouvements | Traces directes | Tournées |
|---------------------|----------------------|-----------------|----------|
| Agriculture | 2 067 | 59% | 41% |
| Artisanat-services | 92 922 | 25% | 75% |
| Commerce de gros | 140 450 | 39% | 61% |
| Entrepôts-transport | 67 206 | 49% | 51% |
| Grande distribution | 7 776 | 23% | 77% |
| Industrie | 131 388 | 31% | 69% |
| Petit commerce | 123 901 | 20% | 80% |
| Tertiaire de bureau | 44 140 | 34% | 66% |
| | 609 849 | 32% | 68% |

- **Tableau 6 : Répartition des livraisons et enlèvements selon le mode d'organisation (Simulation Freturb, LET – Lyon en 1999)**

Une fois identifiée la demande concernée, le modèle calcule l'impact des opérations de livraisons et enlèvements sur la formation des flux de véhicules (km), comme le montre le tableau suivant :

| COURONNE | VUL (<3,5 t) | Camions Porteurs | Ensembles Articulés |
|----------|--------------|------------------|---------------------|
| C1 | 725 335 | 435 841 | 265 487 |
| C2 | 1 131 976 | 1 105 198 | 786 519 |
| C3 | 115 093 | 102 508 | 74 279 |
| Total | 1 972 404 | 1 643 547 | 1 126 285 |
| 100% | 42% | 35% | 24% |

• **Tableau 7 : Distances générées par les livraisons et enlèvements selon le type de véhicule (Simulation Freturb, LET – Lyon en 1999)**

De la simulation des kilomètres parcourus par les différents types de véhicules, segmentés en 7 types (véhicules légers, VUL, camions de <7t., de 7 à 12 t., de 12 à 19 t., de 19 à 36 tonnes et au-delà) et des conditions de circulation dans les zones traversées (vitesses déduites des temps de parcours), il est possible de calculer d'une part la consommation d'énergie (en Tep) et les émissions de gaz à effet de serre (CO₂, NO_x, CO notamment).

C'est le type de résultat proposé par la version (3) du modèle Freturb en cours de développement. Les scénarios mis en œuvre pour cette recherche en constitueront l'une des premières applications.

Les tâches identifiées sont les suivantes :

A1 : Comparaison des évolutions de l'emploi et du nombre d'établissements (fichiers SIRENE) selon les secteurs d'activité dans trois ou quatre agglomérations de tailles différentes ; Détermination des répartitions de populations et d'activités selon le centre, la première et la seconde couronne en 2000, calcul de ces répartitions selon les scénarios identifiés à l'horizon prévu.

A2 : Mise en œuvre du modèle Freturb pour le calcul des flux générés (véhicules*km par type) par les différents segments de demande (livraisons, achats) dans les différents scénarios.

A3 : Comparaison des résultats de chaque ville et tentative de généralisation à l'ensemble des agglomérations françaises.

Sont présentés ci-après les travaux d'avancement des tâches A1 et A2.

1.3 Tâche A 1 : Les évolutions de l'emploi et du nombre d'établissements dans diverses agglomérations

Une comparaison évolutions de l'emploi et du nombre d'établissements a été réalisée entre les deux agglomérations de Bordeaux et Lyon.

Comme nous disposons sur Lyon d'un recul important en termes de données d'établissements (Fichiers SIRENE de l'INSEE), notre premier travail a consisté à examiner l'évolution de l'emploi par secteur sur l'agglomération de Lyon entre les années 1982 et 1999.

En ce qui concerne Bordeaux, nous avons comparé l'état du tissu économique de l'agglomération en 1994 et en 2005.

Nous concluons par une comparaison de l'évolution de ces deux agglomérations sur les quinze dernières années et en déduisons quelques tendances générales que l'on peut retrouver dans la majorité des agglomérations françaises.

1.3.1 Les évolutions observées à Lyon

Le tableau suivant en dessine les grandes lignes. Il montre que :

- certaines activités voient leur nombre d'établissements s'accroître plus vite que leur nombre d'emplois. Cela signifie que leur nombre d'emplois par établissement diminuerait. Le tableau montre que c'est le cas de la grande distribution (ce qui paraît contre-intuitif sur cette période), de l'artisanat et des bureaux.
- En revanche, pour toutes les autres activités, c'est l'inverse : le nombre d'établissements s'accroît plus vite (ou diminue moins vite) que celui des emplois. Ces évolutions sont très contrastées : le petit commerce perd 20% d'établissements, mais ses effectifs augmentent de 4%. De manière aussi évidente, l'industrie perd à la fois en établissements (-11%) et aussi en emplois (dans une bien moindre mesure). Cela montre une concentration des secteurs de l'industrie et du petit commerce. Nous verrons plus tard qu'une telle évolution entraîne une diminution du nombre de mouvements car les grands établissements semblent mieux rationaliser leur transport (meilleure massification, tournées plus efficaces).

| Activités | Nombre d'établissements 1982 | Nombre d'établissements 1999 | Evolution Etabts (%) 82-99 | Emploi 1982 | Emploi 1999 | Evolution Emploi (%) 82-99 |
|-----------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|-------------|-------------|----------------------------|
| Agriculture | 515 | 1 553 | 202% | 1 390 | 3 090 | 122% |
| Artisanat et services | 16 879 | 24 288 | 44% | 50 733 | 96 578 | 90% |
| Industrie | 9 403 | 8 396 | - 11% | 175 802 | 132 054 | -25% |
| Commerce de gros | 3 205 | 5 172 | 61% | 22 997 | 37 960 | 65% |
| Grande distribution | 72 | 178 | 110% | 7 159 | 13 134 | 83% |
| Petit commerce | 21 612 | 16 517 | - 24% | 70 812 | 73 548 | 4% |
| Bureaux | 21 942 | 26 797 | 22% | 238 760 | 281 524 | 18% |
| Entrepôts | 1 926 | 656 | - 66% | 13 460 | 14 006 | 4% |
| Total | 75 554 | 83 557 | 11% | 581 111 | 651 894 | 12% |

• **Tableau 8 : Evolution de la structure d'activités dans l'agglomération lyonnaise entre 1982 et 1999**

Le tableau suivant montre les évolutions en termes d'emploi entre les trois couronnes (cf. Figure 1). Ici, les contrastes sont encore plus marqués selon la couronne. En ce qui concerne la distribution de biens de consommation finale qui est notre objet d'étude, nous remarquons que :

- l'emploi dans la grande distribution est multiplié par dix en seconde couronne en 17 ans, pour une croissance globale de 80%.
- L'emploi dans la distribution de gros s'est elle aussi particulièrement étalée en périphérie, du fait notamment de la pénurie d'espace au centre.

- En revanche, avec une quasi stagnation de l'emploi (+4%, soit moins que la croissance démographique de l'agglomération) le petit commerce de proximité a perdu 8 points dans le centre, pour un accroissement modeste dans les zones périphériques en comparaison avec l'accroissement démographique de celles-ci.

| Activité / Couronne | Centre | C1 | C2 | Agglo Lyon |
|---------------------|------------|-------------|--------------|------------|
| Agriculture | -29% | 137% | 174% | 122% |
| Artisanat-services | 77% | 106% | 116% | 90% |
| Industrie | -61% | -13% | 58% | -25% |
| Commerce de gros | 1% | 87% | 273% | 65% |
| Grande distribution | 30% | 74% | 1068% | 83% |
| Petit commerce | -8% | 18% | 52% | 4% |
| Tertiaire de bureau | 2% | 54% | 159% | 18% |
| Entrepôts-transport | -74% | 3% | 196% | 4% |
| Emploi total | -7% | 26% | 105% | 12% |

• **Tableau 9 : Evolution de l'emploi selon l'activité et par couronne dans l'agglomération lyonnaise entre 1982 et 1999**

La structure spatiale des activités étant le socle de la formation des flux de transport, la maîtrise de l'évolution des localisations est un élément déterminant de l'évolution des flux de marchandises. Nous allons poursuivre cette analyse pour une autre ville française de taille différente. A travers l'analyse des différences et des similitudes entre les diverses évolutions, nous déduisons par la suite un diagnostic quantitatif de ces évolutions dans les villes françaises sur la période récente.

1.3.2 Les évolutions observées à Bordeaux

L'agglomération de Bordeaux comporte une cinquantaine de communes en 2008. Pour des raisons de disponibilité des données, la comparaison a pu s'effectuer entre l'année 1994 et l'année 2008 sur le territoire de la Communauté Urbaine de Bordeaux (CUB) qui comporte 27 communes, soit sur une période de 14 ans. La base de 1994 révèle 36700 établissements contre 44700 en 2008, soit une augmentation de 22% sur la CUB. Cette augmentation correspond à une augmentation de l'emploi de 20%. Ce premier résultat est à considérer avec prudence : la nature même des bases de données (les fichiers SIRENE) ne permet pas d'assurer que les évolutions sont fiables dans l'absolu, du fait notamment qu'un nombre inconnu d'établissements ont pu figurer à un moment donné dans la base alors qu'ils n'existent plus à ce moment là.

Les évolutions selon les grandes classes d'activités sont les suivantes :

| Activités | Nombre d'établissements 1994 | Nombre d'établissements 2008 | Evolution Etabts% 1994-2008 | Emploi 1994 | Emploi 2008 | Evolution Emploi (%) 1994-2008 |
|-----------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------|-------------|--------------------------------|
| Agriculture | 321 | 565 | 76% | 1 292 | 1 088 | -16% |
| Artisanat et services | 10651 | 14884 | 40% | 38 122 | 58 292 | 53% |
| Industrie | 3292 | 2881 | -12% | 53 459 | 45 489 | -15% |

| | | | | | | |
|---------------------|-------|-------|------|---------|---------|------|
| Commerce de gros | 2055 | 2009 | -2% | 16 815 | 16 345 | -3% |
| Grande distribution | 107 | 120 | 12% | 8 053 | 9 489 | 18% |
| Petit commerce | 8262 | 7723 | -7% | 36 975 | 38 306 | 4% |
| Bureaux | 11669 | 16375 | 40% | 123 642 | 172 382 | 39% |
| Entrepôts | 356 | 181 | -49% | 4 836 | 2 670 | -45% |
| Total | 36713 | 44738 | 22% | 283 192 | 344 062 | 21% |

• **Tableau 10 : Evolution de la structure d'activités dans la communauté urbaine de Bordeaux entre 1994 et 2008.**

Les augmentations les plus importantes sont celles des services et de l'artisanat (+40% des établissements et 53% des emplois) et celles du tertiaire de bureaux avec une augmentation équivalente en emplois et en établissements de 40%.

Les diminutions les plus importantes concernent les entrepôts (disparition de la moitié des établissements et de 45% des emplois), l'industrie (-12% et -15%) puis dans une moindre mesure le petit commerce (-7% des établissements, mais +4% d'emplois).

Le tableau suivant montre bien la dynamique de desserrement des activités qui est à l'œuvre dans la CUB :

| Activité / couronne | Centre | C1 | C2 | CUB |
|---------------------|--------|------|-------------|------------|
| Agriculture | -61% | 3% | 27% | -16% |
| Artisanat-services | 36% | 20% | 150% | 53% |
| Industrie | -29% | -47% | 31% | -15% |
| Commerce Gros | -36% | -9% | 123% | -3% |
| Grande Distribution | 1% | 21% | 56% | 18% |
| Petit Commerce | -15% | 5% | 76% | 4% |
| Bureaux | 9% | 39% | 201% | 39% |
| Entrepôts | -55% | -71% | -3% | -45% |
| Total | 2% | 6% | 104% | 21% |

• **Tableau 11 : Evolution de l'emploi selon l'activité et par couronne dans la communauté urbaine de Bordeaux entre 1994 et 2008.**

L'artisanat et les services se développent surtout en seconde couronne de la CUB (+150%), l'industrie est en retrait dans les zones centrales et s'établit également en seconde couronne. Il en est de même du petit commerce. Les bureaux se développent également fortement en périphérie.

1.3.3 Comparaison entre les évolutions de Bordeaux et Lyon

Trois facteurs rendent la comparaison entre l'évolution des deux villes difficile :

Les agglomérations sont de taille et d'activités différentes (750 000 habitants à Bordeaux et 1 300 000 sur l'agglomération lyonnaise en 2008); elles sont mesurées sur deux périodes différentes (1982-1999 pour Lyon, 1994-2008 pour Bordeaux), elles sont réalisées sur des périmètres différents (l'agglomération de 1999 sur Lyon, soit 106 communes et le territoire administratif de la CUB à Bordeaux, soit 27 communes seulement sur 51 dans l'agglomération).

Cependant, nous observons les tendances suivantes :

Lyon aura connu une croissance de son activité (11%) plus modeste que Bordeaux (21%). Cela peut trouver son explication dans plusieurs causes : un effet de taille, un effet de période ou un effet de contexte local. A cela on peut ajouter le fait que, dans le fichier de Bordeaux en 1994, certaines activités de service public ont pu être sous-estimées (administration, enseignement). Malgré ces réserves, nous relevons des différences significatives mais aussi des tendances identiques.

Les différences sont marquées en ce qui concerne le commerce de gros qui stagne à Bordeaux (-2%) pour se développer de manière importante à Lyon (+68% d'emplois) ; alors que la grande distribution explose dans la périphérie lyonnaise (une multiplication par 10 en 17 ans), celle-ci reste modeste à Bordeaux (+18%). Une partie de ces deux phénomènes trouvent probablement une explication dans le fait que l'agglomération lyonnaise contient dans ses franges un territoire plus périurbain (à même d'accueillir les grandes surfaces de distribution et les dépôts des grossistes) que le territoire de la CUB, plus restreint que l'agglomération bordelaise. A cela peut s'ajouter le décalage des deux périodes qui auront connu des vagues de développement de la grande distribution et de la logistique intermédiaire (grossistes) différentes.

Les évolutions communes sont les suivantes :

- les activités de service et de bureaux poursuivent leur ascension dans les zones denses des deux villes ;
- le nombre d'entrepôts diminue de manière importante dans les deux villes ;
- le petit commerce poursuit son déclin, en nombre d'établissements, mais en consolidant ses effectifs (+4% en une quinzaine d'années dans les deux cas).

Ces convergences permettent de confirmer quelques tendances que l'on peut considérer comme générales pour les quinze dernières années :

- le desserrement des activités gourmandes en espace se poursuit : entrepôts, grandes surfaces de distribution, commerces de gros ;
- l'augmentation de la taille des commerces de détail se généralise, avec le développement de la franchise et le déclin du commerce familial ;
- les distances à parcourir pour relier les activités entre elles et avec les lieux de résidence continuent à croître de manière importante :

Selon les résultats du modèle Freturb, à Bordeaux, le nombre de livraisons et enlèvements reste assez stable, malgré une forte augmentation de l'emploi. En effet, la plupart des emplois nouveaux sont peu générateurs de flux de marchandises (bureaux et services tertiaires notamment) alors que de nombreux emplois fortement générateurs disparaissent (industrie, commerce de gros, entreposage). Cependant, du fait du desserrement des activités, les kilomètres parcourus pour livraisons dans la CUB se sont accrus de 24% en quatorze ans.

A Lyon, la tendance est du même ordre avec un accroissement d'environ 30% des kilomètres parcourus pour livraisons en 17 ans.

1.4 Tâche A2 : Modéliser la demande de transport de biens de consommation finale

Trois segments assez distincts composent la demande de transport de biens de consommation finale des particuliers :

- les livraisons et enlèvements réalisés auprès des établissements commerciaux de l'agglomération ;
- la vente à distance, comportant d'une part les livraisons à domicile par les commerces traditionnels, d'autre part le commerce électronique sous toutes ses formes, utilisant les circuits de messagerie traditionnels à partir de plates-formes ou des circuits de distribution dédiés à partir d'entrepôts périphériques ;
- les déplacements d'achats réalisés par les particuliers eux-mêmes : on distingue les déplacements générés par le commerce traditionnel, les approvisionnements auprès de la grande distribution en faisant la part des supérettes, des supermarchés, des hypermarchés et des grands magasins spécialisés. Pour chaque type, la quantité de biens achetés et le mode de transport préférentiel est identifié.

Chacun de ces trois segments est observable selon des sources d'informations distinctes, avec des unités d'observation différentes, ce qui nécessite des méthodes et des outils de modélisation différents.

1.4.1 Modéliser l'approvisionnement des établissements commerciaux

Nous analysons ici la part que représente l'approvisionnement des commerces dans l'ensemble de la mobilité des marchandises dans la ville. Cet approvisionnement est réalisé par différents types d'opérateurs (messagers et messagers express pour le compte d'autrui, compte propre réalisé par l'expéditeur (commerces de gros, centrales d'achat), ou encore compte propre réalisé par le destinataire (le commerçant s'approvisionnant auprès des centrales d'achat ou des grossistes).

Nous mettons en œuvre le modèle Freturb (Cf. 1.2) sur l'aire urbaine de Lyon en 2005.

1.4.2 Modéliser les comportements d'achat des ménages

1.4.2.1 Introduction

Les déplacements pour achats constituent un enjeu important non seulement pour les pôles commerciaux, mais aussi pour les collectivités locales. D'un côté, le transport de biens de consommation entre le magasin et le domicile représente plus de 50 % des véh-km équivalents VP du total des transports de marchandises en ville, poste et déchets inclus (Patier, Routhier, Segalou, Geraldin Conseil, 2000). D'un autre côté, les déplacements pour achats représentent environ 15 % des déplacements des ménages (Dablang, Pecheur., 2000). De plus, des nouvelles expériences, pratiques d'achat et services proposés aux consommateurs sont de plus en plus présentes dans les différentes villes françaises (livraisons à domicile, e-commerce, marchés biologiques, vente à domicile et tele-shopping) qui entraînent des changements et des évolutions dans les flux liés aux pratiques d'achat.

Il existe un certain nombre d'études et enquêtes, qui cherchent à caractériser les pratiques d'achat de la population française, mais pas forcément en termes de déplacements. Les CCI ont réalisé des études, comme celles dérivées des enquêtes de la CCI de Lyon en 2006. Si les informations de ces études ne présentent pas les niveaux de détail appropriés pour trouver certains liens entre les commerces et les déplacements achat des ménages, certaines informations agrégées donnent des idées sur les comportements d'achat qui influencent les déplacements ayant ce motif à destination.

Dablanc et Pecheur (2000) font une première synthèse bibliographique des modes de déplacement pour les achats, en fonction de différents aspects. Les données utilisées dans cette étude datent de la fin des années 90, et peu d'études ont été réalisées dans l'actualité ou les 10 dernières années pour observer les possibles changements de tendances. Ils constatent néanmoins que la mobilité urbaine pour achats est mal connue en France, surtout par le fait qu'il est difficile de définir les déplacements achat du samedi par manque de données dans les enquêtes ménages déplacements, alors qu'il représente un jour stratégique pour la mobilité liée aux achats, non pas tant en nombre de déplacements qu'en terme de choix modal. Ils présentent ensuite les principaux résultats sur les comportements dans les déplacements pour les achats en Ile de France et dans le reste de la France métropolitaine à partir de différentes sources (qui couvrent principalement la décennie 1991-2000).

Une autre étude qui compare plusieurs villes de France a été réalisée par IREC (Lausanne, Suisse) et le CERTU, et compare les habitudes et chaînes de déplacements dans les agglomérations de Paris, Lyon, Strasbourg et Aix-en-Provence (Kaufmann et al., 2000). Cette recherche présente des résultats très partiels sur les achats : seulement certaines aires d'étude dans chaque agglomération ont été considérées (aire d'étude partielle par rapport à l'aire urbaine). De plus, l'étude ne tient en compte que certains motifs, et en particulier, pour les achats, seulement les produits alimentaires ont été analysés. Une autre analyse comparative plus détaillée a été réalisée par pour les villes de Bordeaux, Marseille et Dijon, pour connaître la mobilité d'achats dans les agglomérations de moyenne ou grande taille en dehors de la région Ile-de-France (Routhier et al., 2001).

1.4.2.2 Constats et généralités sur les déplacements liés aux achats

Les déplacements liés aux pratiques d'achat sont une source majeure de mobilité pour les ménages : plus de 20% du total des déplacements en semaine et environ 25% le samedi sont liés aux achats (Dablanc, Pecheur, 2000, Michaud-Trevinal, Cliquet 2002).

Ces déplacements sont difficiles à caractériser, d'un côté à cause des sources d'information, peu nombreuses et souvent pas très accessibles ou dont le niveau de détail n'est pas assez précis pour faire le lien entre les ménages et les pôles commerciaux. Un autre aspect important dans la difficulté de caractériser les déplacements achats est que ces déplacements peuvent avoir une nature systématique ou extraordinaire. Cette nature est souvent liée à la fréquence d'achat (les achats systématiques ont une fréquence régulière, normalement journalière ou hebdomadaire) tandis que les achats exceptionnels sont souvent ceux réalisés occasionnellement. De plus, les déplacements d'achat se trouvent à l'intérieur de boucles ou chaînes de déplacements, qui peuvent contenir d'autres déplacements ayant ou non le même motif. Si plus des trois-quarts des déplacements quotidiens des citoyens (tous motifs confondus) sont des trajets pendulaires, de plus en plus de personnes effectuent des chaînes de déplacements à motifs multiples. Jasaroski et Minvielle (1999) ont ainsi constaté que dans le tiers des boucles au moins un déplacement ayant comme motif à destination les achats ou les loisirs est présent. En effet, certaines personnes profitent de déplacements vers ou de leur lieu

de travail pour faire leurs courses ; inversement, d'autres consommateurs profitent des courses pour pratiquer une autre activité. Il faut donc une vision d'ensemble des déplacements des ménages pour voir comment les déplacements achat peuvent être liés aux autres déplacements.

En ce qui concerne la répartition modale dans les déplacements pour achats, les deux modes les plus utilisés sont la voiture privée et la marche à pied. En ce qui concerne l'utilisation de la voiture (55 à 60% du totale des déplacements achat), l'usage en tant que passager est supérieur à la moyenne (tous motifs confondus), et la distance et le temps de parcours sont plus faibles Jasaroski et Minvielle (1999). Un quart des boucles ont pour mode quasi-exclusif la marche à pied, avec une dominance du motif études, mais les motifs achats et loisirs ont aussi des pourcentages importants. La distance ainsi que la durée d'absence du domicile pour la marche à pied est plus faible dans les déplacements achats que la moyenne (tous motifs confondus). Les transports en commun sont peu utilisées pour les déplacements pour achats (environ 18% du total des déplacements achat), mais son aire d'utilisation est très localisée. En effet, l'aire privilégiée du transport en commun est le centre-ville, pour des raisons de commodité données par une bonne fréquence dans le passage des bus, tramways et métros sur les trajets de et vers le centre-ville et le problème de caractéristique des centres urbains (Dablanc, Pecheur, 2000, Michaud-Trevinal, Cliquet 2002).

On peut donc affirmer que deux des facteurs principaux dans le choix modal dans les déplacements pour achats est la localisation des pôles commerciaux (en relation à la localisation du ménage ou de l'endroit correspondant à l'activité principale (principalement travail ou études) et au type de produit acheté. L'espace géographique, où cohabitent les activités commerciales, les lieux de travail ou études des personnes et les ménages, peut être divisé en pôles complémentaires qui sont regroupés en deux grandes macro-zones : L'aire urbaine contient le centre-ville historique (aussi connu comme hypercentre), les centres commerciaux de centre-ville (dans certaines réalités urbaines) et aussi les quartiers commerciaux urbains (hors du centre-ville historique), de la ville principale ou d'autres villes secondaires de l'agglomération. Dans cette aire, les habitations et les commerces sont confondus dans des quartiers, et la présence du commerce de proximité est prédominante. L'aire périphérique est composée des zones d'habitation (caractérisées par une offre incomplète en terme de commerces et services) et des pôles et centres commerciaux de périphérie.

Le centre-ville, dans lequel résident essentiellement des personnes de moins de 30 ans (étudiants) et de plus de 55 ans, perd des parts de marché face aux pôles périphériques. Le petit commerce indépendant cède la place aux réseaux de points de vente (franchises notamment), principaux dans les secteurs de l'habillement et accessoires et les produits de librairie. Le centre-ville est en tête pour le nombre de visiteurs, dû au fait que l'espace central est apprécié pour son aspect attractif, et a un rôle de « centre de vie » (Lestrade, 2002) : les activités commerciales sont normalement accompagnées d'endroits pour la restauration, la détente et les loisirs). Le phénomène du lèche-vitrines et le butinage sont aussi importants et les taux de transformation des visiteurs en acheteurs est inférieur à celui des pôles commerciaux situés en périphérie (Michaud-Trevinal, Cliquet 2002). En termes de choix modal, la marche à pied et les transports en commun sont prédominants. Avec le développement des pistes cyclables et les systèmes de location de bicyclettes, la répartition modale dans les centres urbains a changé mais actuellement les données disponibles sont antérieures à 2001. Avec les données des enquêtes déplacements 2006 (Lille et Lyon) et de l'Enquête Globale de Transport (Ile-de-France) nous pouvons étudier l'évolution de l'usage des bicyclettes dans les pratiques d'achat.

Les pôles commerciaux périphériques semblent correspondre à des attentes de plus en plus nombreuses des consommateurs, avec une prédominance pour les usagers de certaines catégories sociales (si bien, comme le souligne Lestrade (2002), d'autres catégories se déplacent vers ces zones commerciales ponctuellement et souvent pour acheter certaines catégories de produits (alimentaire surgelé ou à longue conservation principalement) et fréquences d'achat). La fréquentation des grandes surfaces pour des achats non alimentaires (vêtements de sport, bijouterie) concerne une population plus diversifiée mais les fréquences et types de produit peuvent généralement être mis en relation avec les différentes catégories sociales (Lestrade, 2002). De plus, si les centres commerciaux ont des spécificités proches de celles du centre-ville (franchises, offre importante en équipement de la personne, présence de zones de loisir (cinéma, bowling, aires de jeux) et de restauration) et permettent le lèche-vitrines, le comportement spatial des consommateurs est plus organisé et planifié dans le temps (Michaud-Trevinal, Cliquet 2002).

Les comportements spatiaux des consommateurs sont donc différenciés (Desse, 2001) et peuvent être liés aux catégories socio-économiques (par exemple à travers le PCS de la personne ou le revenu du ménage) : les consommateurs qui appartiennent aux catégories populaires sont généralement moins motorisés, et aussi plus démunies financièrement et culturellement, sont considérés comme ayant des habitudes d'achats de proximité auxquelles on peut ajouter l'usage des marchés et des déplacements en grandes surfaces très localisées avec des fréquences précises, donc systématiques. Les déplacements motorisés en voiture privée sont inférieurs à la marche à pied ou l'usage des transports en commun. D'autre part, les consommateurs plus mobiles se déplacent d'un commerce à l'autre en employant la voiture comme mode de déplacement principal (Michaud-Trevinal, Cliquet 2002 ; Lestrade, 2002).

Un autre point qui n'a pas été exploité dans le détail dans la majorité des études important dans les comportements d'achat, est le jour de la semaine où a lieu le déplacement pour achats. Les enquêtes ménage ont des lacunes en ce qui concerne le samedi, et pourtant il est le jour de la semaine le plus important en nombre de déplacements pour achats (18 à 20% du nombre total des déplacements achat dans la semaine) et aussi en composition des déplacements par motif et mode : le samedi, le nombre de déplacements pour travail ou études sont en nombre très inférieur à ceux qui ont comme motif les loisirs (45 à 50% du total des déplacements le samedi) ou les achats (25 à 30%). Ces pourcentages sont différents pour la région Ile-de-France (grosse métropole de plus de 10 millions d'habitants) par rapport au reste d'agglomérations françaises de plus de 100.000 habitants. La répartition modale change aussi par rapport aux autres jours de la semaine (dimanche exclu), avec une augmentation de l'usage de la voiture et une diminution des déplacements en transport en commun, en ce qui concerne les achats. Ceci est expliqué par le fait que le samedi les ménages disposent de plus de temps libre et aussi par la diminution de la fréquence des transports en commun et aussi du nombre de lignes actives par rapport aux autres jours (sauf dimanches et fériés).

Les types de produit jouent un rôle aussi important dans le choix modal, surtout par leur relation avec la localisation des commerces. Une grande partie de commerces proposant des produits d'équipement de la personne se trouvent dans le centre-ville historique des agglomérations, et donc les transports en commun sont souvent utilisé pour les déplacements d'achat de ces produits (dont leurs caractéristiques (taille et poids) favorisent l'usage des transports collectifs). En effet, les achats d'équipement de la maison et les courses alimentaires se font le plus souvent en voiture alors que les achats d'équipement de la personne (vêtements en particulier), loisirs et culture, de par leur encombrement moindre, ne constituent pas un handicap pour les transports en commun ou les pérégrinations dans les rues

commerçantes. Les phénomènes liés aux centres commerciaux de périphérie doivent être étudiés en détail, mais en général les achats d'équipements de la personne dans ces pôles commerciaux sont généralement accompagnés d'achats de produits alimentaires ou d'équipement de la maison (Michaud-Trevinal, Cliquet 2002 ; Lestrade, 2002).

L'intensification et la complexification des mobilités sont aussi liées aux transformations sociales, telles le développement du travail féminin, les nouveaux types de ménages, et les évolutions dans la répartition des tâches ménagères que cela comporte. En général, le nombre de ménages dans les agglomérations a augmenté dans les dernières années, mais le nombre moyen de personnes qui constituent un ménage a diminué (Cérami, Camus, 2004). Le sexe des personnes dans le ménage reste un élément à prendre en compte : les femmes réalisent 60% des déplacements pour achats (Cérami, Camus, 2004). D'autres aspects à souligner sont l'essor du temps libre et les nouvelles organisations du travail. Certaines transformations sociales, et donc les comportements d'achat qu'elles entraînent, ont une relation avec les transformations urbaines, notamment l'étalement des villes et la croissance de la population périurbaine. Ainsi, les déplacements urbains se sont multipliés car de plus en plus d'actifs travaillent loin de leur domicile (Talbot, 2001).

Ces évolutions selon l'âge des individus, avec notamment des croissances plus fortes pour les retraités, qui réalisent plus de déplacements achat que la moyenne (Routhier et alii, 2001) à cause de leur inactivité sur un plan strictement professionnel. Pour une population plus jeune (écoliers, lycéens et étudiants), les progressions sont plus faibles et les déplacements sont moins motorisés : les achats sont plus situés en centre-ville où les transports en commun, la marche et le vélo sont les modes de déplacement les plus utilisés (Gasnier, 1996).

Les nouvelles technologies et formes de distribution, comme par exemple Internet, la vente par correspondance ou le télé-shopping ont normalement des effets sur les déplacements, notamment sur ceux liés aux pratiques d'achat. Ces effets ne sont pas seulement de type substitutif (i.e. réduction du nombre de déplacements pour la recherche et l'achat d'un produit) mais des effets catalyseurs de la mobilité sont aussi observés (Ourednik, 2004). Ward et Morganosky (2000), ont montré que la recherche d'informations sur Internet conduisait souvent à des achats en magasin et que le risque de cannibalisation des ventes en magasin par les ventes en ligne était faible. Ceci peut s'expliquer par le fait que certaines personnes vont dans les zones commerciales dans la recherche des différentes alternatives de qualité et prix avant de l'acheter, en complément à la recherche réalisée avec Internet. Ces déplacements ne sont pas directement liés à un achat mais sont des déplacements réels et effectifs (qui peuvent être considérés dans certain cas dans les déplacements lèche-vitrines. Il peut aussi avoir une influence la fidélisation de clients grâce aux services offerts dans certains qui dérivent des nouvelles pratiques (livraisons à domicile, assistance technique ou contact par e-mail pour différents services et informations).

Paris et la région francilienne peuvent être considérées comme une région avec une très grande métropole de presque 10 millions d'habitants (l'agglomération de Paris qui s'étend pourtant sur 20% de sa surface, représente environ 90% de sa population), ce qui fait de la région et de l'aire urbaine de Paris un cas particulier en France et donc il est intéressant de le traiter séparément. Selon les Enquêtes Globales de Transport, les déplacements pour achats en Ile-de-France stricto sensu constituent le 9% du total des déplacements selon l'enquête de 1991 et 10% selon celle de 2001. En excluant les retours au domicile, quel que soit son origine, les déplacements achat représentent 18% du total des déplacements. En semaine (du lundi au vendredi), les déplacements pour achats sont environ 16% du total des déplacements,

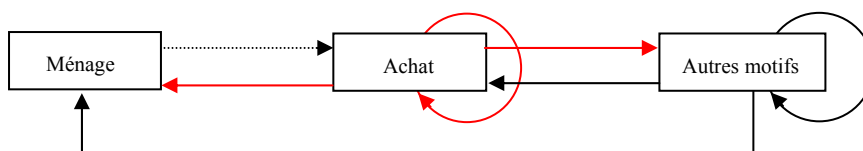
tandis que le samedi ce chiffre monte jusqu'à 27% (DREIF, 1995, 2004), faisant des achats le deuxième motif le plus fréquent en terme de déplacements, après les loisirs (47%).

Le pourcentage des déplacements achat du samedi par rapport aux déplacements d'achat de la semaine n'est pas considérablement différent à celui des autres jours. Par contre, si l'on considère tous les déplacements, le motif achat est plus important le samedi (de quatrième motif en semaine à deuxième derrière les loisirs le samedi), donc la composition du trafic du samedi en termes de motifs présente des différences par rapport à celle observée en semaine, ce qui souligne l'importance de considérer le samedi dans la caractérisation des déplacements achat. Par contre, le dimanche reste encore très marginale en termes de déplacements par achats. La région Ile-de-France est donc un cas particulier et mérite d'être étudié séparément du reste d'agglomérations françaises.

1.4.2.3 Modélisation des déplacements d'achat dans les agglomérations de taille moyenne

Nous allons présenter une méthodologie de modélisation des déplacements d'achat dans les agglomérations de taille moyenne, qui s'appuie sur des données INSEE et SIRENE et utilise les données de plusieurs enquêtes comme base pour la construction et le calibrage du modèle d'estimation des déplacements d'achat.

Dans la modélisation et la planification des transports et du trafic nous trouvons plusieurs définitions de déplacements d'achat, desquelles deux semblent les plus communément utilisées. La majorité des études utilisent la définition suivante : un déplacement est considéré comme étant d'achats si le motif à la destination est l'achat d'un ou plusieurs produits. Toilier et al. (2005) utilisent un concept différent pour les déplacements d'achats : si on est dans le cadre du transport de marchandises en ville, il semble plus cohérent d'utiliser comme déplacement d'achat celui qui a comme motif à l'origine les achats (plus le déplacement ménage-achats) car dans ce cas on a un transport de marchandises. Ces définitions ne tiennent pas compte des déplacements ayant pour seul motif les services ou le lèche-vitrines, mais considère les déplacements multi-motifs si l'achat de produits est le principal.



• **Figure 3 : schéma des déplacements pour achats d'après Toilier et al., 2005.**

Ces deux groupes de déplacements sont liés entre eux, c'est-à-dire un déplacement ayant comme motif à l'origine un achat a lieu si précédemment il y a eu un déplacement ayant comme motif à la destination l'achat en question. Afin d'étudier l'attractivité des zones commerciales et les aires de chalandise, il nous semble plus intéressante la première définition pour les suivants raisons :

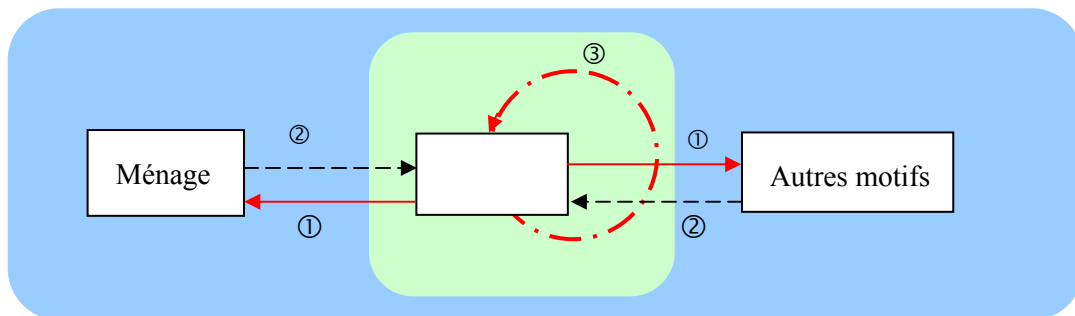
- En utilisant la première définition, nous avons un problème de choix des destinations lié à la génération des déplacements. Si nous utilisons la deuxième définition, ce problème est lié aux origines, qui dans la réalité ont déjà été choisis.
- Les déplacements ayant comme motif à destination les achats sont directement liés à la notion d'attractivité de la zone. De même, les aires de chalandise sont définies en fonction

des zones d'habitation ou de travail des clients ou potentiels clients, ce qui peut être ramené directement aux déplacements ayant comme motif à la destination les achats.

- Plusieurs études sur les activités commerciales utilisent la première définition. Nous pouvons obtenir des informations utiles pour introduire une composante économique au modèle, et aussi des éléments pour reproduire les liens entre urbanisme commercial et attractivité pour chaque zone.

Nous observons que les déplacements d'achat ne sont donc indépendants mais font partie d'une chaîne de déplacements. Dans cette chaîne, l'achat est lié à deux déplacements connexes : un déplacement amont, ayant comme motif à la destination un achat, et un déplacement aval, qui a comme origine le même achat. Ces deux déplacements sont consécutifs, le deuxième étant une conséquence du premier. Nous avons donc tenu compte de ceci par la suite.

L'origine le plus souvent évoqué dans les enquêtes pour un déplacement ayant comme motif à la destination un achat est le domicile. De plus, une grande partie des déplacements d'achat sont des navettes domicile-achat-domicile. Le samedi, le nombre de navettes augmente considérablement, d'après les résultats des enquêtes de Lyon (1997) et de Lille (2006). Dans les autres motifs, il faut noter que les déplacements achat-achat sont aussi à étudier car ils caractérisent les chaînes de déplacements avec plus d'un motif achat.



• **Figure 4 : schéma simplifié des principaux déplacements liés à l'activité d'achat**

Le choix modal est une autre question importante, et qui présente des différences dans les déplacements d'achat par rapport aux déplacements domicile-travail ou domicile-études. Nous avons choisi de modéliser les déplacements d'achat en voiture privée par la suite, nous les appellerons déplacements d'achat VP) pour les plusieurs raisons. Tout d'abord, les déplacements d'achat VP sont la principale contribution des déplacements d'achat à la congestion et aux nuisances environnementales. Les modes propres, i.e., les déplacements non motorisés, et surtout les nouvelles tendances liées aux systèmes de partage de vélos, sont plus difficiles à caractériser et très hétérogènes mais présentent des limites de capacité de marchandise à transporter inférieurs à ceux de la voiture. Enfin, le processus de décision dans les déplacements d'achat est différent que celui utilisé dans la modélisation classique. En effet, le choix du mode est lié au choix de la destination d'achat, et à la possibilité ou non d'utiliser la voiture.

1.4.2.4 Génération des déplacements d'achat

a) Revue de la littérature

Il y a deux approches en termes d'agrégation des données pour les modèles de génération de déplacements (Cubukcu, 2001). Les modèles agrégés considèrent les données groupées en ensembles (par exemple, un quartier ou une ville), et les techniques les plus utilisées dans ce modèles sont la régression linéaire et les techniques d'analyse catégorique. Les modèles non agrégés utilisent les données au niveau des ménages (donc sans les regrouper en zones), et ce sont en général des modèles de choix discret.

Pour caractériser les déplacements d'achat dans le but de construire un modèle de génération, il est important de déterminer les facteurs qui influencent ces déplacements. En général, les déplacements sont fonction de deux groupes de facteurs : les caractéristiques socio-économiques des personnes qui se déplacent et les politiques et développements dans l'usage du territoire. Les aspects précis qui déterminent chaque type de déplacement doivent être précisés à partir de ces deux groupes. Dans la littérature sur les facteurs affectant les flux total des déplacements des personnes, la caractérisation des déplacements d'achat en particulier n'a pas été abordée dans un grand nombre d'études, en partie à cause du fait qu'il a été considéré que les facteurs qui déterminent le nombre total de déplacements sont les mêmes que ceux des déplacements d'achat (Cubukcu, 2001). Néanmoins, dans les aires métropolitaines, certaines caractéristiques de l'espace urbain et des personnes qui se déplacent n'influencent que les déplacements concernant un motif spécifique, dans notre cas les achats.

La première étude sur les effets des pôles commerciaux et les caractéristiques socio-économiques des personnes a été réalisée par Keefer (1960), pour 23 pôles commerciaux des Etats Unis, en utilisant un modèle de régression linéaire avec les variables suivantes, pour chaque pôle commercial : nombre de places de stationnement, nombre total de boucles ayant dans ses motifs au moins un achat, distance du pôle commercial concurrent et surface totale de la zone commerciale.

En ce qui concerne les ménages, Vickerman et Barmby (1984) ont réalisé un modèle pour estimer le nombre de déplacements d'achat et dépense d'achat hebdomadaire en utilisant équations simultanées avec des données concernant les déplacements journaliers. Les principales variables explicatives sont la taille du ménage, le revenu et la possession de voiture particulière, auxquelles les auteurs ajoutent deux indicateurs, soit l'index d'attraction d'achats et l'index de coût du transport. Les mêmes auteurs réalisent une méthode alternative appliquée au même cas d'étude (1985), avec un modèle de régression logistique binaire.

Badoe et Steuart réalisent un modèle de régression linéaire pour estimer le nombre total de déplacements d'achats des ménages en fonction de la taille du ménage, le nombre de personnes en actif, le nombre de personnes en possession de permis de conduire et le nombre véhicules du ménage, en utilisant des données de 1964 et de 1986 de l'aire métropolitaine de Toronto (Canada). Les auteurs concluent en soulignant le besoin d'utiliser des approches différentes pour expliquer les variations des déplacements dont le motif principal n'est pas le travail, dont les déplacements d'achat.

Afin de déterminer les facteurs qui affectent les taux de génération de déplacements d'achat, et donc ses flux, Cubukcu (2001) propose un modèle qui utilise la méthodologie générale de modélisation des taux de génération de déplacements. Les variables utilisées sont les suivantes : population totale de la zone, densité de la zone, température moyenne annuelle,

pourcentage de personnes âgées entre 35 et 55 ans par rapport à la population totale de la zone, taux de chômage de la zone, pourcentage de ménages qui ont un ordinateur, et pourcentages de ménages avec une connexion à Internet. Les données représentent 49 aires métropolitaines des Etats Unis avec plus d'un million d'habitants en 1995.

Un modèle SEM (*Structural Equation Modelling ou modélisation avec équations séquentielles*) a été réalisé par Simma et al. (2004) Suisse, en considérant non seulement les aires urbaines mais aussi les zones rurales. Plusieurs groupes de variables sont définis en distinguant les variables associées à l'acte d'achat, variables socio-économiques et variables pour l'usage du territoire. Les variables du modèle sont choisies parmi les différents éléments de chaque groupe en fonction des données disponibles. Dans ce modèle, les pôles d'achat sont caractérisés aussi en fonction des services d'autre type (banque, poste, etc.) qui se trouvent à proximité. Ce modèle présente une importante limitation portant sur l'âge. En effet, les données disponibles ne reportent que les personnes avec un âge de 17 ans ou plus.

Ségalou (1999a ; 1999b), Ségalou et al. (2002) et Toilier et al. (2005) proposent une méthodologie de modélisation des déplacements d'achat dans une optique de logistique urbaine étendue. Cette méthodologie est développée à partir de la définition suivante de déplacement d'achat : un déplacement d'achat, dans une optique de logistique urbaine, est un déplacement où, en sortant d'une activité commerciale, une quantité de marchandises est transportée. Cette définition considère donc les déplacements dont son origine est un achat, contrairement aux modèles classiques. Les auteurs partent de la caractérisation des déplacements d'achat (tous modes confondus) en les modélisant à l'aide d'une régression linéaire en fonction des caractéristiques du tissu commercial et de la population de chaque zone. A partir de ce modèle, la part de déplacements réalisés en voiture privée sont calculées aussi par régression. De même, les navettes domicile-achat-domicile sont aussi estimées, car les flux aller de ces navettes sont significatifs (Ségalou, 1999a).

Un modèle pseudo-gravitaire est aussi développé pour la distribution et donc l'estimation des matrices O/D pour les déplacements d'achat VP. Ce modèle a été calibré sur des données des enquêtes ménages déplacements de Dijon (1995) et une application pour cette aire urbaine est proposée par Toilier et al. (2005).

b) Description du modèle proposé

Le modèle de génération est basé sur les modèles généraux de taux de déplacements (Cubukcu, 2001). Etant donnée une zone i , on définit Y_{si} comme étant le nombre de déplacements ayant comme destination d'achat une activité commerciale de la zone i et réalisés en voiture. On définit aussi deux types de variables, groupés en deux vecteurs : A_{si} est le vecteur des caractéristiques de la population et X_{si} le vecteur des caractéristiques de l'appareil commercial de la zone. On peut donc écrire :

$$Y_{si} = f(A_{si}, X_{si}, T_{si})$$

Le vecteur A_s est composé, entre autres, des caractéristiques suivantes:

Nr_{SMC} : Nombre de petits commerces;

Nr_{BS} : Nombre de supermarchés et de grandes surfaces spécialisées;

Nr_{VBS} : Nombre d'hypermarchés et de très grandes surfaces spécialisées;

$Nr_{emp-SMC}$: Nombre d'employés des petits commerces de la zone;

Nr_{emp-BS} : Nombre d'employés des grandes surfaces de la zone;

$Nr_{emp-VBS}$: Nombre d'employés des très grandes surfaces de la zone;

$Nr_{emp+400}$: Nombre d'employés des commerces de la zone avec une surface totale supérieure à 400 m²;

Ces variables sont obtenues à partir du fichier SIRENE de chaque aire urbaine. De plus, pour caractériser les zones qui présentent des centres commerciaux (dont Ségalo (1999b) signale l'importance de les expliciter dans les modèles de génération des déplacements d'achat), nous avons aussi tenu compte de la suivante variable :

CC_e : Présence d'un centre commercial extra-urbain. Cette variable binaire a une valeur de 1 s'il y a au moins un centre commercial extra-urbain ou 0 sinon.

Le vecteur des caractéristiques socio-économiques de la population X_s contient, entre autres:

POP : population de la zone ;

Nr_H : nombre de ménages de la zone ;

D_{POP} : densité de population ;

D_H : densité de ménages ;

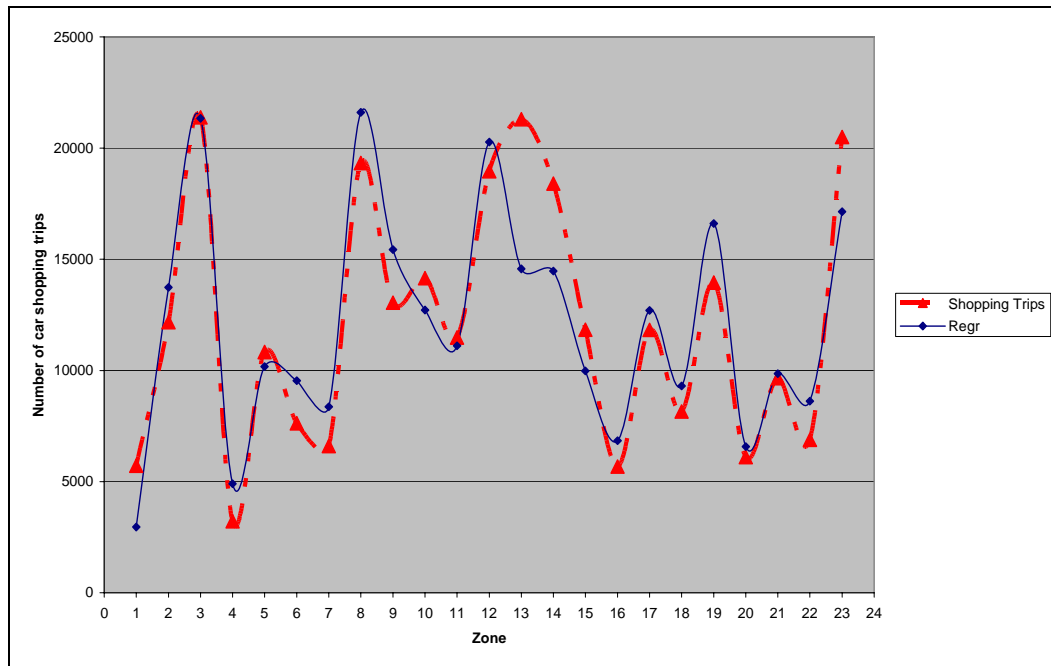
Ces variables sont obtenues par extraction des fichiers de recensement de la population (INSEE), ou dans certains cas, à partir d'enquêtes ménage ou de sources locales.

Approche classique : régression linéaire sur l'ensemble des grandes zones

On réalise une régression multilinéaire sur les données de l'enquête ménage Lyon 2006, en utilisant des outils d'analyse statistique (Microsoft Excel 97, SAS 9.1) et on regarde les différentes variables qui sont susceptibles d'avoir une influence significative dans la génération des déplacements d'achat ayant comme destination d'achats une zone considérée. Ces déplacements d'achat peuvent constituer l'attractivité commerciale d'une zone en termes de déplacements d'achat. Le meilleur modèle est le suivant :

$$\text{Déplacements Achat} = a_0 + a_1 \cdot POP + a_2 \cdot Nr_{SMC} + a_3 \cdot Nr_{emp-BS} + a_4 \cdot Nr_{emp-VBS} + a_5 \cdot MR$$

Nous obtenons pour ce modèle un coefficient de régression R^2 de 0,74 et une erreur standard de 2820,95 environ. Nous pouvons constater en figure 4, où les résultats du modèle sont comparés à ceux de l'enquête ménage pour l'agglomération lyonnaise, que dans certaines zones le modèle n'arrive pas à bien décrire le phénomène. C'est le cas de l'hypercentre lyonnais (zones 1 et 2, respectivement le centre-ville de Lyon plus la zone du centre commercial urbain Part-Dieu), le cas du pôle commerciale de la zone gratte-ciel à Villeurbanne (zone 8) et ceux de plusieurs zones suburbaines (zones 13 et 14) ou péri-urbaines (zones 19 et 22).



• **Figure 5 : déplacements d'achat estimés par le modèle et par l'enquête (approche 1)**

Si bien en général l'approximation est suffisante, elle peut être améliorée en considérant les principales différences du tissu urbain. Néanmoins, ajouter comme variable la densité de population ou de ménage n'améliore pas le modèle, donc une approche de modélisation peut être envisagée.

Méthode proposée : régression linéaire par macro-secteur, zonage basé sur la notion administrative de couronne

En observant les résultats du modèle obtenu auparavant, nous pouvons constater qu'il présente des problèmes d'approximation sur plusieurs zones. Pour essayer d'affiner l'estimation, nous avons réalisé une étude statistique en prenant les données de deux enquêtes ménages déplacements (Lyon 2006 et Dijon 1997). Afin de regrouper les zones de chaque aire urbaine en catégories d'espace urbain, nous nous ramenons à la notion de couronne.

Après une observation des différentes couronnes, il semble cohérent de les regrouper en trois catégories :

1. ***Zone urbaine principale*** : la ville ou les villes principales de l'agglomération. Généralement il y a un seul pôle principal, comme dans nos deux aires urbaines (le pôle formé par les villes de Lyon et Villeurbanne dans l'enquête ménage de l'aire urbaine lyonnaise et la ville de Dijon pour celle de l'aire urbaine dijonnaise).
2. ***Périphérie proche*** : la première couronne périphérique, qui correspond à un tissu urbain moins dense que celui de la zone urbaine principale, mais assez proche de celle-ci pour avoir des caractéristiques similaires et quelques spécificités (présence de zones commerciales et de loisirs, développement du réseau TC, etc.)

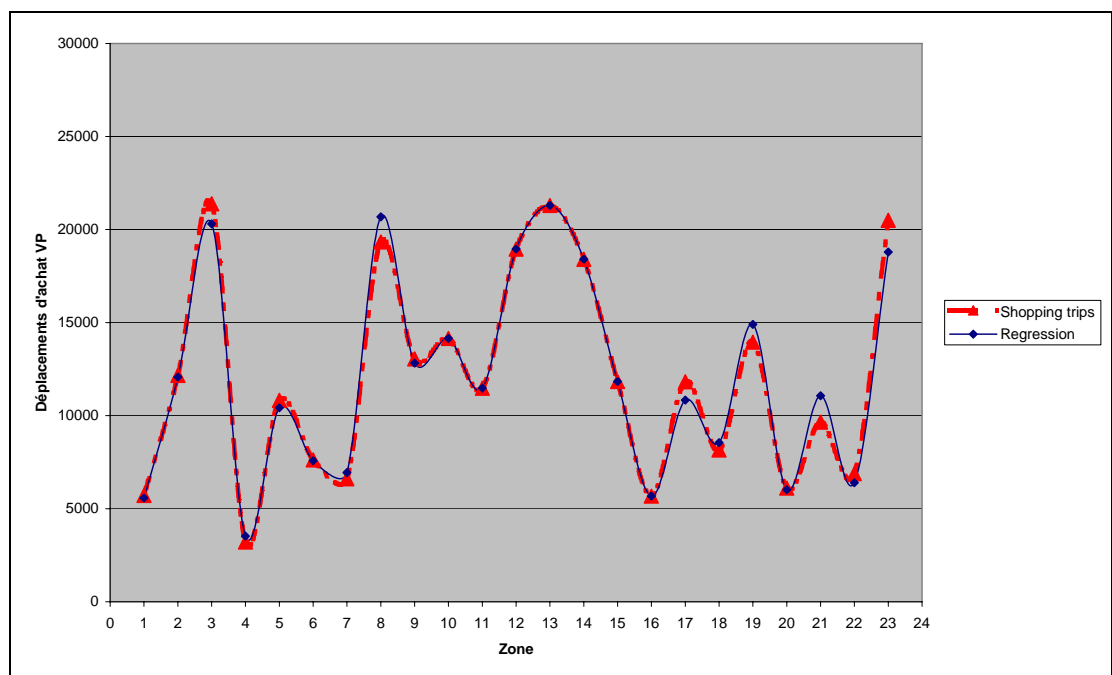
3. **Périphérie lointaine** : le reste des zones de l'aire urbaine, qui sont de type péri-urbain ou rural, caractérisées par un taux de motorisation élevé, le développement de très grandes surfaces commerciales et une plus faible accessibilité TC.

Nous appliquons des régressions linéaires sur ces trois catégories, en utilisant les données de Lyon et Dijon pour avoir une population statistique suffisante pour obtenir des résultats fiables. Nous observons que les variables significatives ne sont pas les mêmes pour chaque modèle, même si les principales variables sont la population, le nombre de petits commerces et le nombre d'emplois dans les grandes et très grandes surfaces. Les trois modèles obtenus sont les suivants :

$${}^O ST_{PC}^{CUA} = a_0^{CUA} + a_1^{CUA} . POP + a_2^{CUA} . Nr_{SMC} + a_3^{CUA} . Nr_{emp-Bs} + a_4^{CUA} . Nr_{emp-VBS} + a_5^{CUA} . MR$$

$${}^O ST_{PC}^{CUA} = a_0^{NP} + a_1^{NP} . POP + a_2^{NP} . Nr_{SMC} + a_3^{NP} . Nr_{emp-Bs} + a_4^{NP} . Nr_{emp-VBS} + a_5^{NP} . MR + a_5^{NP} . CC_e$$

$${}^O ST_{PC}^{CUA} = a_0^{FP} + a_1^{FP} . POP + a_2^{FP} . Nr_{SMC} + a_3^{FP} . Nr_{emp-Bs} + a_4^{FP} . Nr_{emp-VBS} + a_5^{FP} . CC_e$$



● **Figure 6: déplacements d'achat estimés par le modèle et par l'enquête (approche 2)**

Nous reproduisons en figure 5 un graphe similaire à celui de la figure 4 en utilisant les modèles par catégorie. Dans ce graphe, les zones 1 à 8 représentent la zone urbaine principale, les zones 9 à 16 la périphérie proche et le reste des zones la périphérie lointaine.

Nous observons que cette approche permet d'avoir une meilleure estimation des déplacements d'achat VP générés par chaque zone. Nous observons aussi que les coefficients pour la grande surface ne sont pas du même signe. En effet, dans la zone urbaine principale, les grandes surfaces ne sont pas des pôles générateurs de déplacements d'achat VP, une grande majorité allant faire les courses à pied ou se déplaçant en transports en commun. De plus, ces activités commerciales sont souvent des supermarchés ou hard-discount urbains, sauf en hypercentre et à la Part-Dieu, où on observe une présence importante de grandes surfaces spécialisées. On

observe aussi une majeure tendance à se déplacer en voiture pour acheter des produits en première couronne, et elle diminue dans les zones très éloignées du centre.

- **Tableau 12 : Coefficients de régression et erreurs standards pour les trois modèles proposés**

| Catégorie | R ² | Erreur Standard |
|-------------------------|----------------|-----------------|
| Zone Urbaine Principale | 0,98 | 2864,92 |
| Périphérie Proche | 0,98 | 2779,27 |
| Périphérie Lointaine | 0,99 | 2348,88 |

1.4.2.5 Modèle « aire de chalandise »

Pour pouvoir comparer les déplacements d'achat avec les mouvements de véhicules inter-établissements liés au transport de marchandises, nous avons besoin de mettre en relation les déplacements générés avec les ménages. Les déplacements d'achat sont souvent inclus dans des chaînes de déplacements qui sont plus complexes, si bien les déplacements domicile-achat-domicile sont prédominants (environ 60% des chaînes de déplacements où au moins l'un des motifs de la chaîne est un achat sont de ce type). De plus, il est difficile de caractériser les déplacements autre motif-achat ou achat-autre motif, et les chaînes de déplacement peuvent contenir plus d'un motif « achat ». Par contre, il est possible de construire un modèle qui permette d'estimer les variations des flux de déplacements d'achat.

Etant donnée la qualité et la disponibilité des données, nous proposons un modèle de type « aire de chalandise » qui estime les possibles origines des déplacements dont au moins un achat se réalise dans une zone considérée. Ce modèle permet de déterminer une « aire de chalandise » en nombre de déplacements d'achat entre 2 zones, étant données les caractéristiques du tissu commercial de la zone de destination achat, les caractéristiques démographiques de la zone des ménages à associer, et la distance entre les deux zones. Plus concrètement, le modèle donne comme résultat le nombre de ménages d'une zone (*Dom*) qui vont aller se déplacer en voiture pour faire des achats dans une autre zone (*Ach*), en fonction de l'attractivité commerciale de la zone *Ach* (AC_{Ach}) comme destination pour des activités d'achat, l'attractivité commerciale de la zone *Dom*, et des caractéristiques des ménages de la zone *Dom*.

Nous avons choisi une approche pseudo-gravitaire (Oppenshaw, 1975 ; Ortuzar et Willumsen, 2001), basée sur la méthode proposée par Ségalou (1999b). Plusieurs modèles ont été testés, en utilisant une approche globale:

Modèle gravitaire classique (Oppenshaw, 1975) : ce modèle a comme variables l'attractivité commerciale

$$\text{Déplacements Achat } VP_{Dom-Ach} = k \frac{AC_{Ach}}{d_{Dom-Ach}^2}$$

Pour tenir compte de l'attractivité de la zone Ach par rapport à Dom, nous allons utiliser le modèle suivant :

$$\text{Déplacements Achat } VP_{Dom-Ach} = k \frac{\frac{AC_{Ach}}{AC_{Dom}}}{d_{Dom-Ach}^2}$$

La constante k a été obtenue par régression linéaire sur un échantillon extrait des résultats de l'enquête ménages déplacements de Lyon 2006.

Modèle pseudo-gravitaire, à partir de la méthodologie proposée par Ségalou, 1999b, mais pour associer les ménages avec le possible lieu d'achats (seulement pour les déplacements réalisés en voiture). Ce modèle a été obtenu par régression linéaire sur le logarithme de la fonction suivante :

$$\text{Déplacements Achat } VP_{Dom-Ach} = k \cdot \frac{AC_{Ach}^{a_1}}{AC_{Dom}^{a_2}} \frac{NbMen_{Dom}^{a_3}}{d_{Dom-Ach}^{a_4}}$$

Nous avons obtenu les valeurs des différents coefficients par régression multilinéaire, et nous observons dans tous les cas que l'approximation est moins bonne que celle des modèles de génération. De plus, la qualité des données (avec les erreurs liés au zonage et donc au calcul des distances, à la représentativité de l'échantillon enquêté et à d'autres questions de réalisation de l'enquête et le traitement des données qui en découle) est à tenir en compte dans la réalisation et le calibrage du modèle. Nous observons que ces modèles ne séparent pas les trois types de commerces utilisés pour la génération ni distinguent les trois catégories d'espace urbain. Afin d'obtenir une version améliorée du modèle, nous allons tenir compte des différences entre les catégories de commerce en fonction de leur surface. Par contre, en observant la méthodologie d'enquête, ces catégories ne sont mises en évidence que de manière très générale. Pour cette raison, nous allons distinguer deux catégories : les petits commerces (surface inférieure ou égale à 400 m²) et les grandes surfaces au sens large (les activités commerciales de détail ayant une surface supérieure à 400 m²). Les déplacements entre une zone *Dom* ayant comme domicile les déplacements considérés et une zone *Ach* de destination du déplacement ayant comme motif un achat peuvent donc être définis comme suit :

$$\text{Déplacements Achat } VP_{Dom-Ach} = \text{Déplacements Achat } VP_{Dom-Ach}^{PC} + \text{Déplacements Achat } VP_{Dom-Ach}^{+400}$$

où

$$\text{Déplacements Achat } VP_{Dom-Ach}^{PC} = k \cdot \frac{NbPC_{Ach}^{a_1}}{NbPC_{Dom}^{a_2}} \frac{NbMen_{Dom}^{a_3}}{d_{Dom-Ach}^{a_4}}$$

et

$$\text{Déplacements Achat } VP_{Dom-Ach}^{+400} = k \cdot \frac{NbEmp_{+400Ach}^{a_1}}{NbEmp_{+400Dom}^{a_2}} \frac{NbMen_{Dom}^{a_3}}{d_{Dom-Ach}^{a_4}}$$

Si on observe les résultats, le nombre total de déplacements d'achat pour la totalité des zones est très similaire à celui obtenu par redressement des données de l'enquête ménage

déplacements de Lyon 2006, la différence étant inférieure à 2% (plus précisément, 1,36%). Par contre, ces différences augmentent quand on observe les déplacements entre deux zones. Néanmoins, les résultats sont comparables à ceux des modèles gravitaires (Ortuzar and Willumsen). La méthode proposée étant construite pour observer les tendances, c'est à dire, les différences dans les flux VP achats entre deux situations et non pour obtenir des valeurs absolues, nous allons donc utiliser le troisième modèle.

1.4.2.6 Estimation du nombre de déplacements et de la distance associés au tissu commercial de chaque zone

Le modèle de prévision du nombre des déplacements d'achat dans une agglomération moyenne résulte donc de la combinaison des deux modèles (génération et aire de chalandise) présentés auparavant. Plus spécifiquement, la procédure d'estimation des flux est séquentielle, et est définie comme suit. Dans un premier temps, des données démographiques (fichiers INSEE) et commerciaux (fichiers SIRENE) permettent d'avoir, pour une ville précise et dans un zonage défini, les variables de base présentées dans la section 1.1.1.1. A partir de ces variables, le module « génération » permet d'obtenir, pour chaque zone, le nombre de déplacements dans un jour type (lundi au vendredi) pour chaque zone. Ensuite, le module « aire de chalandise » estime les possibles origines de ces déplacements, permettant d'avoir une première prévision du nombre de kilomètres des déplacements VP achats entre ces deux zones (en considérant la distance du ménage au possible lieu d'achat). Ensuite, à partir des résultats de l'enquête ménages déplacements de Lyon 2006, nous pouvons estimer la répartition des déplacements d'achat dans la semaine (lundi au vendrediLe samedi étant un jour particulier, nous avons tenu compte de ses principales caractéristiques dans le calcul du nombre total de déplacements par semaine en transposant les données disponibles des enquêtes globales de 2006 sur les déplacements d'achat (Delaporte et Courel, 2006).). De plus, les données de l'enquête ménage déplacements de Lille 2006 concernant les déplacements du samedi ont été analysés pour compléter les éléments obtenus à partir des enquêtes globales déplacements.

Il faut noter que le manque de données sur ce domaine a été un frein au développement d'un outil plus précis et sophistiqué mais d'un autre coté ce fait a permis de développer un modèle qui est facilement adaptable aux agglomérations françaises hors Ile-de-France et ne nécessite que des fichiers existants (IRIS et SIRENE), dont les respectives administrations locales ont la disponibilité des données.

1.4.3 Modéliser la vente à distance

Ce segment à la fois ancien (vente sur catalogue par correspondance) et émergent (e-commerce par Internet) fait l'objet de nombreuses projections souvent contradictoires. Cela est dû à une grande volatilité des stratégies de la grande distribution comme des web-marchands. Les stratégies d'organisation logistique (externalisation ou compte-propre par exemple) diffèrent selon les groupes et dans le temps. A la faveur de la publication de la thèse de Louis Alligier (« Mesurer l'impact du commerce électronique sur la logistique urbaine ») soutenue fin octobre 2007, nous proposerons un outil de modélisation synthétique.

Pour pouvoir intégrer les comportements liés aux nouvelles formes d'approvisionnement des ménages, il faut les étudier pour obtenir une méthodologie de simulation qui permette d'estimer ces comportements et de les inclure dans le modèle « aire de chalandise » des

déplacements d'achat VP. Nous pouvons observer trois phénomènes liés à ces formes d'approvisionnement : le shopping drive, la livraison à domicile et le système de points relais.

1.4.3.1 Quelques notes sur le shopping drive

En ce qui concerne le shopping drive, c'est un mode d'approvisionnement en développement qui s'adresse aux utilisateurs des hypermarchés principalement. Généralement, ces services permettent d'effectuer une commande par téléphone ou Internet et d'aller la chercher en voiture au magasin choisi. Ce service est déjà proposé en France par Auchan entre autres. Au stade actuel, les informations disponibles ne permettent pas de caractériser l'impact du shopping drive sur les déplacements d'achat, mais ils ne semblent pas modifier sensiblement les comportements liés aux déplacements en voiture dans les grandes et très grandes surfaces. De plus, ces services ont un impact direct sur le temps passé dans le magasin, non sur la durée du déplacement. A partir de ces constat, nous pouvons faire l'hypothèse que ces stratégies n'ont pas d'impact sur le choix de la destination d'achat et donc sur les déplacements résultants.

1.4.3.2 La livraison à domicile : caractérisation et quelques éléments de modélisation

La livraison à domicile est en plein développement et permet de recevoir la commande effectuée à l'adresse indiquée dans une fenêtre temporelle définie. Pourtant, elle est encore assez difficile à caractériser. Plusieurs études ont été réalisées (Cairns, 1998 ; Alligier et Patier, 2003 ; Kamarainen, 2003 ; Punakivi et al., 2003 ; Taniguchi et al., 2003 ; Alligier, 2007), mais les données résultantes sont souvent très agrégées et aussi peu diffusées. Une tentative de reconstruction des tournées pour la livraison à domicile a été réalisée par Alligier (2007). Dans cette étude, plusieurs tournées ont été suivies et une analyse des résultats obtenus est réalisée. Nous observons que le poids moyen par commande est de 95 kg, lié au fait que les e-marchands offrent les frais de livraison à partir d'une commande d'environ 90 kg. Cette valeur est plus haute de celle observée dans d'autres études (Cairns, 1998 ; Taniguchi et al., 2003) mais étant l'étude la plus récente sur un sujet encore en évolution nous allons la prendre comme valeur moyenne pour notre étude. Alligier (2007) détermine aussi les moyennes de vitesse et de distance parcourue dans les tournées de livraison, pour déterminer enfin le nombre moyen de points livrés avec une seule tournée, qui est d'environ 10 ménages.

Pour simuler la vente à distance et la livraison à domicile, nous allons faire les hypothèses suivantes. Considérons un emplacement actuel, par exemple un marchand de gros ou une très grande surface, spécialisée ou non, située en périphérie. Supposons que le nombre de commandes est connu. Il peut être calculé, entre autres, à partir du pourcentage du poids total requis par les ménages de la zone, par semaine, qui est ensuite converti en le nombre de commandes réalisées par semaine. Chaque commande peut être caractérisée par la zone du ménage à livrer et le poids, qui est fixé à 95 kg pour chacune des commandes dans un premier temps).

Une fois le nombre de commandes est déterminé, il faut simuler la livraison. Connaissant les distances moyennes entre deux points de livraison (pour chacune des trois catégories présentées dans la section A2-2), et en faisant l'hypothèse que les opérateurs de la livraison à domicile puissent diviser leurs livraisons par zone afin de simplifier les calculs, nous pouvons définir un problème d'affectation. En partant d'un nombre fixe de dépôts (par exemple, un réseau d'hypermarchés ou un système de plates-formes de distribution), nous supposons que chaque zone de l'aire urbaine considérée est affectée au dépôt le plus proche, sans considérer dans un premier temps des limitations de capacité pour les différents dépôts. Les principales

caractéristiques de chaque catégorie d'espace urbain sont définies à partir des résultats de l'enquête réalisée par Alligier (2007) et sont synthétisées dans le Tableau 13.

A partir de ces caractéristiques, en connaissant la demande potentielle qui va utiliser des services de livraison à domicile, des tournées peuvent être reconstituées de la façon suivante : étant donnée une répartition de la demande (en poids) de marchandises à être livrées dans chaque zone, et l'affectation de la zone à un dépôt, on peut définir en utilisant une répartition de la demande selon une loi normale, le nombre de points à être livrés dans chaque tournée. Comme les données ne sont pas très nombreuses, nous considérerons que chaque tournée a le même nombre de points à livrer, sauf la dernière de chaque zone, qui en aura un nombre inférieur ou égal à la moyenne (cf. Tableau 13), et que le poids à être livré à chaque ménage est de 95 kg. En connaissant la distance de la zone des ménages à être livrés au dépôt, nous pouvons calculer la marche d'approche et le retour au dépôt. Le reste est calculé à partir du nombre de points à être livrés et du tronçon moyen. En synthèse :

$$\text{Distance d'une tournée} = 2 \cdot \text{Distance}_{\text{Zone Clients-Depot}} + \text{Nombre de livraisons} \cdot \text{Tronçon moyen}$$

- **Tableau 13 : Principales caractéristiques des trois catégories d'espace urbaine pour la livraison à domicile (synthèse des données obtenues par Alligier, 2007)**

| | Zone urbaine principale | Périphérie proche | Périphérie lointaine | Moyenne |
|--|-------------------------|-------------------|----------------------|------------|
| Composition - habitat individuel | 5% | 25% | 60% | 0,3 |
| Composition - habitat collectif | 95% | 75% | 40% | 0,7 |
| Tournée - Nb livraisons | 8 | 12 | 11 | 10,33 |
| Tournée - Poids total | 0,75 t | 1,1 t | 1,1 t | 0,98 t |
| Tournée - Tronçon moyen hors marche d'approche | 0,85 km | 2,5 km | 6,5 km | 3,28 km |
| Tournée - Vitesse moyenne | 11 km/h | 16 km/h | 25 km/h | 17,33 km/h |
| Tournée - Durée moyenne | 17 km | 36 km | 80 km | 44,33 km |
| Livraison - poids moyen | 93,75 kg | 91,67 kg | 100 kg | 95,14 kg |

De cette façon, chaque tournée est caractérisée et le nombre total de kilomètres parcourus par la livraison à domicile sur chaque zone correspond à la somme du nombre de kilomètres de chaque tournée de celle-ci. De même, le nombre total de kilomètres de l'aire urbaine est calculée en faisant la somme du nombre de kilomètres de toutes les zones de l'aire d'étude. Ceci correspond à la livraison à domicile d'un opérateur, mais la même démarche peut être considérée dans le cas de plusieurs opérateurs concurrents.

1.4.3.3 Identification et simulation des points relais : principes méthodologiques

Une autre forme de distribution, qui est en général associée à la livraison à domicile, est l'usage de points relais pour retirer les commandes réalisées. Pour pouvoir comparer les résultats de ces deux formes de distribution, la démarche de simulation des points relais sera faite à partir des hypothèses présentées auparavant. Néanmoins, le système de distribution est mieux optimisé, et des véhicules légers (moins de 3,5 t) ont été choisis comme étant le seul type de véhicule livrant les points relais. Ces points peuvent être considérés comme des petites supérettes offrant une série de services, dont la réception des commandes alimentaires ou non qui seront cherchées dans la journée par les clients (avec une marge de quelques jours pour les produits non périssables). La démarche de simulation est dépendante des hypothèses réalisées, et sera donc détaillée en section A3. Elle suit la suivante procédure. Etant donné un réseau de points relais et ses dépôts associés, et connaissant les flottes utilisées, des tournées sont composées de manière proche à celle des véhicules de la livraison à domicile, mais en tenant compte des avantages de la massification dans un système de livraison de ce type. Ensuite, le nombre de kilomètres de la distribution est réalisé. Dans un deuxième temps, le modèle « déplacements d'achat » est appliqué en tenant compte de l'influence de ces points relais, pour déterminer les flux achats en considérant ce réseau de distribution. La même procédure peut être appliquée dans le cas de plusieurs réseaux de livraison concurrents.

1.5 Tâche A3 : Scénarios et résultats des simulations

1.5.1 Description des scénarios

On entend par « distribution finale des marchandises » le dernier maillon logistique en ville, additionné du déplacement des biens de consommation entre le lieu d'achat et le domicile du consommateur. Ainsi, la simulation de scénarios opérée ici se concentre sur les changements qui interviennent dans le commerce de détail, à l'amont et à l'aval immédiat du lieu de vente (livraisons au magasin, déplacement d'achats des ménages à ce magasin), quelle que soit la taille et la nature de ce lieu, des plus grands hypermarchés de périphérie à la plus petite boutique de quartier.

Nous excluons donc, pour l'instant, par manque de données suffisantes sur le sujet, de faire une simulation de l'intégralité de la chaîne d'approvisionnement des commerces en ville. Ainsi, par exemple, bien qu'il soit évident qu'il y ait des effets majeurs qu'il conviendrait de mesurer : dans les scénarios de multiplication du petit commerce, les effets sur le commerce de gros ne seront pas évalués ; dans les scénarios de généralisation de la livraison à domicile liée au e-commerce, les effets sur les grands entrepôts logistiques ne seront pas non plus évalués.

Le territoire d'étude est l'aire urbaine de Lyon, qui a fait l'objet en 2006 d'une Enquête Ménages Déplacements (EMD) et dont nous disposons du fichier des établissements (répertoire SIRENE de l'INSEE) pour l'année 2005.

L'objectif est de simuler les effets de la mise en œuvre de différents schémas de distribution finale des marchandises. Afin de mettre en évidence les ruptures à l'œuvre dans les scénarios, nous avons choisi de simuler des évolutions à l'extrême. L'objet de ce travail n'est pas

d'obtenir une vision réaliste de l'avenir des modes de distribution finale des marchandises, mais de discriminer convenablement chacune des tendances du point de vue de leurs effets.

A côté du scénario de référence nous retenons deux familles de scénarios extrêmes intitulés « urbanisme commercial » et « commerce à distance ».

- famille 1 dite « urbanisme commercial » : l'évolution de la structure des commerces, les stratégies des distributeurs, la proximité des surfaces commerciales (commerce de détail) vis-à-vis du consommateur final,
- famille 2 dite « commerce à distance » : elle traite de la généralisation de la livraison à domicile dans le cadre du développement du e-commerce notamment, ou de la généralisation de la livraison des marchandises en points-relais.

1.5.1.1 La situation de référence

Pour simuler la situation de référence, le modèle Freturb est appliqué sur le fichier SIRENE 2005 complet.

Ce modèle comporte deux parties :

- le module « transport de marchandises »,
- le module « déplacements d'achats ».

L'utilisation conjointe de ces deux modules permet de calculer les deux principaux segments de trafic générés par les déplacements de biens dans une agglomération (de l'ordre de 90% des kilomètres-EVP du total).

1.5.1.2 Famille 1 : l'urbanisme commercial

L'évaluation de l'impact des changements qui peuvent intervenir sur la logistique urbaine du commerce de détail est faite selon trois scénarios distincts.

Ces trois scénarios traduisent trois transformations caricaturales du paysage commercial :

- scénario 1a « tout en hypermarché » : le transfert de tout le commerce dans les grands centres commerciaux : on transforme tous les centres commerciaux, centraux ou périphériques, proportionnellement à l'offre qui est détruite par la suppression des petits commerces, des supermarchés et des moyennes surfaces de quartier ;
- scénario 1b « tout en petit commerce » : le transfert de tout le commerce dans le petit commerce de proximité et les supérettes. Pour ce scénario il a fallu trouver les clefs de remplacement d'un grand centre commercial (hypermarché, grandes surfaces spécialisées et commerces de galerie marchande compris) par des catégories d'aménagement commercial inférieures (respectivement en petite zone commerciale de quartier et en commerce de proximité). Nous exposons plus bas la méthodologie suivie pour le passage de l'une à l'autre catégorie d'aménagement commercial.

Dans cette étude, nous n'avons pas tenu compte d'une possible optimisation du « dernier kilomètre » (par exemple une augmentation du transport pour compte d'autrui ou une forte optimisation des tournées des véhicules ou des cadences du personnel à l'aide d'outils informatisés). Nous supposons donc une tendance dans les modes de distribution des marchandises très similaire à la situation courante.

Hypothèse

On remarque d'emblée que le scénario 1b (petit commerce) et le scénario des points-relais sont assez proches dans leurs effets attendus : dans les deux cas il y a un rapport de proximité entre le lieu de réception de la marchandise en bout de chaîne logistique et le consommateur. L'approvisionnement des ménages se fera donc selon les mêmes modes (VP ou non), étant donné la dispersion des points-relais et des commerces de proximité dans l'espace. Par contre, c'est la partie amont de la chaîne qui différera, avec des modes d'approvisionnement complètement différents entre petit commerce et points-relais.

a) Calcul des équivalences entre différentes catégories de commerces

Les seules données sur lesquelles nous pouvons directement jouer sont le nombre d'emplois des établissements de « commerce » recensés dans le répertoire SIRENE, ou le nombre d'établissements présents sur le territoire d'étude.

Page suivante : les catégories d'activité concernées (petit commerce et grande distribution)

En surligné, les catégories principales, généralistes, qui ne doivent pas poser de problème pour leur transformation dans un sens ou dans l'autre.

Les autres catégories de commerce (petit commerce) doivent être considérées individuellement afin de savoir le nombre d'établissements équivalents qui sont créés ou détruits lors du passage entre les scénarios de la première famille. L'enjeu majeur a été de calculer combien de petits commerces « vaut » un hypermarché ou un supermarché, et dans quelles proportions les différents types de petit commerce se répartissent.

• **Tableau 14: Activités de commerce de détail visées par la simulation, par NAF 2003**

| NAF700 (ancienne) | Libellé NAF | Activité en 44 postes* (14 représentés dans le commerce de détail) | Activité en 8 postes (2 représentés dans le commerce de détail) |
|----------------------|--|--|---|
| 521D | Supermarchés | 11 | Grande distribution 5 |
| 521E | Magasins populaires | 11 | Grande distribution 5 |
| 521F | Hypermarchés | 10 | Grande distribution 5 |
| 521H | Grands magasins | 10 | Grande distribution 5 |
| 158C | Boulangerie et boulangerie-pâtisserie | 17 | Petit commerce 6 |
| 158D | Pâtisserie | 17 | Petit commerce 6 |
| 501Z | Commerce de véhicules automobiles | 23 | Petit commerce 6 |
| 503B | Commerce de détail d'équipements automobiles | 23 | Petit commerce 6 |
| 504Z | Commerce et réparation de motocycles | 23 | Petit commerce 6 |
| 505Z | Commerce de détail de carburants | 23 | Petit commerce 6 |
| 521A | Commerce de détail de produits surgelés | 16 | Petit commerce 6 |
| 521B | Commerce d'alimentation générale | 16 | Petit commerce 6 |
| 521C | Supérettes | 13 | Petit commerce 6 |
| 521J | Autres commerces de détail en magasin non spécialisé | 23 | Petit commerce 6 |
| 522A | Commerce de détail de fruits et légumes | 16 | Petit commerce 6 |
| 522C | Commerce de détail de viandes et produits à base de viande | 15 | Petit commerce 6 |
| 522E | Commerce de détail de poissons, crustacés et mollusques | 16 | Petit commerce 6 |
| 522G | Commerce de détail de pain, pâtisserie et confiserie | 17 | Petit commerce 6 |
| 522J | Commerce de détail de boissons | 18 | Petit commerce 6 |
| 522L | Commerce de détail de tabac | 23 | Petit commerce 6 |
| 522N | Commerce de détail de produits laitiers | 16 | Petit commerce 6 |
| 522P | Commerces de détail alimentaires spécialisés divers | 23 | Petit commerce 6 |
| 523A | Commerce de détail de produits pharmaceutiques | 19 | Petit commerce 6 |
| 523C | Commerce de détail d'articles médicaux et orthopédiques | 23 | Petit commerce 6 |
| 523E | Commerce de détail de parfumerie et de produits de beauté | 23 | Petit commerce 6 |
| 524A | Commerce de détail de textiles | 14 | Petit commerce 6 |
| 524C | Commerce de détail d'habillement | 14 | Petit commerce 6 |
| 524E | Commerce de détail de la chaussure | 14 | Petit commerce 6 |
| 524F | Commerce de détail de maroquinerie et d'articles de voyage | 14 | Petit commerce 6 |
| 524H | Commerce de détail de meubles | 21 | Petit commerce 6 |
| 524J | Commerce de détail d'équipements du foyer | 23 | Petit commerce 6 |
| 524L | Commerce de détail d'appareils électroménagers et de radioTV | 23 | Petit commerce 6 |
| 524N | Commerce de détail de quincaillerie | 20 | Petit commerce 6 |
| 524P | Commerce de détail de bricolage | 20 | Petit commerce 6 |
| 524R | Commerce de détail de livres, journaux et papeterie | 22 | Petit commerce 6 |
| 524T | Commerce de détail d'optique et de photographie | 23 | Petit commerce 6 |
| 524U | Commerce de détail de revêtements de sols et de murs | 23 | Petit commerce 6 |
| 524V | Commerce de détail d'horlogerie et de bijouterie | 23 | Petit commerce 6 |
| 524W | Commerce de détail d'articles de sport et de loisir | 23 | Petit commerce 6 |
| 524X | Commerce de détail de fleurs | 23 | Petit commerce 6 |
| 524Y | Commerce de détail de charbons et combustibles | 23 | Petit commerce 6 |
| 524Z | Commerces de détail divers en magasin spécialisé | 23 | Petit commerce 6 |
| 525Z | Commerce de détail de biens d'occasion en magasin | 23 | Petit commerce 6 |
| 526D | Commerce de détail alimentaire sur éventaires et marchés | 29 | Petit commerce 6 |
| 526E | Commerce de détail non alimentaire sur éventaires et marchés | 29 | Petit commerce 6 |
| 551A | Hôtels avec restaurant | 18 | Petit commerce 6 |
| 551C | Hôtels de tourisme sans restaurant | 18 | Petit commerce 6 |
| 551D | Hôtels de préfecture | 18 | Petit commerce 6 |
| 552A | Auberges de jeunesse et refuges | 18 | Petit commerce 6 |
| 552C | Exploitation de terrains de camping | 18 | Petit commerce 6 |
| 552E | Autre hébergement touristique | 18 | Petit commerce 6 |
| 552F | Hébergement collectif non touristique | 18 | Petit commerce 6 |
| 553A | Restauration de type traditionnel | 18 | Petit commerce 6 |
| 553B | Restauration de type rapide | 18 | Petit commerce 6 |
| 554A | Cafés tabacs | 18 | Petit commerce 6 |
| 554B | Débits de boisson | 18 | Petit commerce 6 |
| 555A | Cantines et restaurants d'entreprises | 18 | Petit commerce 6 |
| 555C | Restauration collective sous contrat | 18 | Petit commerce 6 |
| 555D | Traiteurs, organisation de réceptions | 18 | Petit commerce 6 |

* : les catégories d'activité des établissements « ST44 » sont issues des enquêtes nationales sur le Transport de Marchandises en Ville et regroupent les NAF par des comportements observés proches au niveau de la logistique urbaine. Ref. : PNMV (avril 2000) Diagnostic du Transport de Marchandises dans une agglomération, DRAST, page 39.

b) Calcul des équivalences entre les niveaux de commerce de détail

Dans un premier temps, pour cette simulation volontairement caricaturale, il fallait choisir entre partir de l'existant et faire évoluer d'une part les caractéristiques des établissements présents sur le territoire, particulièrement le nombre d'emplois, d'autre part le paysage commercial du territoire (nombre d'établissements par zone) en calculant des caractéristiques moyennes des établissements commerciaux.

Ainsi deux questions se posent parallèlement, que nous traiterons séparément dans un premier temps, avant de procéder à des simulations plus mesurées en combinant les deux questions en même temps.

- Combien d'emplois sont nécessaires dans un hypermarché et dans une Grande Surface (GS) et dans le Petit Commerce (PC), selon le « rayon » concerné (boucherie, épicerie, crèmerie, droguerie, etc.), pour un même volume d'activité ?
- Combien d'établissements, aux caractéristiques moyennes, faut-il pour remplacer, dans un sens ou dans l'autre, les hypermarchés qui disparaissent ou le petit commerce qui disparaît ?

Méthodologie

Pour répondre à ces interrogations, nous avons utilisé les données issues des enquêtes nationales sur le Transport de Marchandises en Ville (TMV) et nous avons isolé, par type d'activité, le poids moyen (de marchandises livrées) que génère un établissement sur une semaine ordinaire. Cette donnée est disponible selon différentes natures de marchandises (produits frais, produits non périssables, produits manufacturés, produits chimiques, etc.) et c'est à partir de cette information que nous avons pu calculer les équivalences entre les différentes formes de commerce de détail.

La catégorisation utilisée pour les types de marchandises est relativement grossière : les enquêtes TMV utilisent pour cette donnée une quinzaine de postes, y compris des segments que nous avons d'emblée exclus de l'analyse, parce que ne relevant pas du commerce de biens finaux, comme les transports de déchets, de minéraux bruts ou encore de produits intermédiaires de l'agriculture.

Pour chaque type d'établissement, catégorisé selon une nomenclature ST116 combinant type d'activité et effectif salarié (nomenclature issue elle aussi des enquêtes TMV, et découlant directement de la nomenclature ST44 exposée plus haut), on a rapporté une quantité moyenne de marchandise de dix natures différentes. En standardisant ces données, on a ensuite pu rapporter la quantité de marchandise transitant par les très grandes surfaces commerciales d'une part, par les grandes surfaces de quartier et assimilées d'autre part, et enfin par l'ensemble des petits commerces. Cela nous a permis de dégager des ratios d'équivalence entre les types de commerces de détail, tenant compte des marchandises vendues dans les surfaces commerciales.

• **Tableau 15 : Nombre d'établissements (nb) de commerce de détail, par scénarios**

| ST116 | nb1a | diff | nb1b | diff |
|------------------------------|-----------|------|------|---------------|
| 10 | 45 | | 21 | 0 |
| 11 | 0 | | | 0 |
| 12a | 0 | | | 0 |
| 12b | 12 | | 8 | 0 |
| 13 | 0 | | | 331 |
| 14a | 0 | | | 1027 |
| 14b | 0 | | | 1696 |
| 14c | 0 | | | 425 |
| 15a | 0 | | | 287 |
| 15b | 0 | | | 557 |
| 15c | 0 | | | 73 |
| 16a | 0 | | | 768 |
| 16b | 0 | | | 865 |
| 16c | 0 | | | 163 |
| 17a | 0 | | | 371 |
| 17b | 0 | | | 1817 |
| 17c | 0 | | | 620 |
| 18a | 0 | | | 4318 |
| 18b | 0 | | | 5883 |
| 18c | 0 | | | 3352 |
| 18d | 0 | | | 1220 |
| 18x | 0 | | | 434 |
| 19a | 0 | | | 513 |
| 19b | 0 | | | 944 |
| 20a | 0 | | | 263 |
| 20b | 0 | | | 250 |
| 21a | 0 | | | 448 |
| 21b | 0 | | | 76 |
| 21c | 5 | | 3 | 0 |
| 22a | 0 | | | 469 |
| 22b | 0 | | | 465 |
| 22c | 0 | | | 74 |
| 23a | 0 | | | 3184 |
| 23b | 0 | | | 6944 |
| 23c | 0 | | | 332 |
| 29 | 0 | | | 4510 |
| petit commerce | 0 | | | 42 681 |
| supermarchés | 0 | | | 0 |
| hypermarchés et GMspé | 62 | | | 0 |

Nombre d'établissements (nb) de commerce de détail, par catégories ST116, dans les trois scénarios 1a, 1b et 1c de la famille « urbanisme commercial », y compris le maintien de certains types de petits commerces dans le scénario 1b ; différence (diff) entre ce nombre et le compte des établissements initialement présents sur le territoire, recensés dans le répertoire SIRENE en 2005. Si diff est négatif, il y a destruction d'établissements. diff n'est pas mentionné si le nombre d'établissements dans le scénario est nul. Dans la colonne de droite figure l'emploi moyen de chaque établissement.

- **Tableau 16 : Emplois du commerce de détail (« eff » effectif cumulé des types fins d'établissements) associés aux trois scénarios « urbanisme commercial ».**

| | eff 1a | eff 1b |
|-----------------------|--------|---------|
| hypermarchés et GMspé | 20 658 | 0 |
| supermarchés et GSspé | 0 | 0 |
| petit commerce | 0 | 185 041 |

De même que précédemment, les données relatives à l'emploi dans les trois segments d'activité commerciale semblent correctes pour le scénario 1a et 1c, alors que les données pour le scénario 1b posent problème.

Méthode de simulation

Pour opérer la simulation, on part du fichier SIRENE original, disponible pour l'aire urbaine de Lyon à l'année 2005. Nous simulons à population constante, sans tenir compte des projections de croissance ni des évolutions à prévoir du paysage économique. L'objet de cette simulation est bien d'isoler complètement les effets attendus de la transformation de la structure du commerce de détail ; nous partons donc d'un fichier de base qui restera inchangé tout au long de la simulation, hors les modifications dues aux transformations simulées dans chaque scénario de la famille « urbanisme commercial ».

Chaque simulation donne lieu à la création d'un fichier SIRENE transformé, avec adjonction d'établissements fictifs et retrait des établissements existants que l'on souhaite éliminer dans chaque scénario.

Le fichier SIRENE de base, n'incluant que les activités de commerce de détail qui nous intéressent, comporte 20 546 unités, extraites d'une base qui en comporte à l'origine 122 148 (toutes activités confondues).

On opère ensuite les créations de nouveaux établissements fictifs et les suppressions d'établissements sur la base de ces 20 546 établissements, afin d'obtenir trois bases distinctes lesquelles servent à la fois à une simulation des flux interétablissements avec le modèle Freturb, et à une simulation des déplacements d'achat avec le module STG (comptage du nombre d'établissements du petit commerce, et nombre d'emplois dans les grandes surfaces et très grandes surfaces, sur les 33 zones de l'agglomération).

1.5.1.3 Famille 2 : « commerce à distance »

a) Scénario 2a « livraison à domicile »

Ce scénario se base sur les hypothèses réalisées dans la section 1.4.3.2, en supposant que la seule possibilité pour l'approvisionnement des ménages est la livraison à domicile. Ce scénario extrême est construit pour observer une situation limite et pour comparer l'efficacité de la livraison à domicile à celle des autres modes de distribution. Pour ceci, il faut que ce scénario soit comparable à ceux de la famille 1.

- On part du modèle d'achats tous hypermarchés pour déterminer les zones d'influence de chaque hypermarché.
- On calcule le nombre de livraisons par zone (découpage en 34 zones) qui correspond au nombre de déplacements d'achat à chaque hypermarché : $n \text{ déplacements d'achat} = n \text{ commandes LAD}$.

- On répartit les commandes par zone fine. On calcule d'une part la marche d'approche puis on estime une moyenne des km par tournée.
 - cas 1 : fidélité des commandes aux hypermarchés habituels (selon le modèle achats (scénario 1). Cela signifie que l'on applique le modèle « achats » sur les zones fines pour le scénario 1 (tout Hypermarchés).
 - cas 2 : on affecte chaque zone fine au CDU Hypermarché le plus proche : on considère alors une capacité illimitée au dépôt et une affectation tout ou rien des zones fines selon la distance.
 - cas 3 : on résout un problème d'affectation (minimisation du coût du transport et du stockage).

Calcul des équivalences entre commerce et livraison à domicile (LAD)

Hypothèses

Afin de simplifier l'approche de la LAD, on considère qu'une livraison à domicile ne nécessite qu'une visite du livreur. Cette hypothèse implique que tous les consommateurs puissent recevoir leur commande lors de la visite du livreur.

Calculs

LAD standard : la contrainte principale de ce mode de distribution réside dans le temps passé par le chauffeur-livreur pour effectuer une livraison. Le facteur limitant principal est donc le nombre de livraisons effectuées en une tournée, en tenant compte de la longueur maximale d'une journée de travail d'un chauffeur-livreur.

LAD optimisée : afin de relâcher la contrainte sur le nombre de foyers qu'il est possible de desservir en une tournée, on part dans ce cas de l'hypothèse que les marchandises peuvent être déposées par le livreur à chaque pas de porte. Ainsi, on rejoint un peu la logique du point-relais, mais dans le cas de cette variante du scénario LAD, on simule l'effet d'un point-relais par pas de porte.

Combien de pas de porte sur une zone ?

b) Scénario 2b « généralisation des points relais » (PR)

Ce scénario est basé sur les hypothèses et méthodes de simulation décrites en section 1.4.3.3, et est réalisée en partant de la génération de la demande de marchandise à être livrée à chaque ménage.

- On part du modèle d'achats tous hypermarchés pour déterminer les zones d'influence de chaque hypermarché.
- On calcule le nombre de livraisons par zone D34 qui correspond au nombre de déplacements d'achat à chaque hypermarché : x déplacements d'achat = x commandes LAD.
- On calcule le nombre de points relais nécessaires dans chaque zone fine (1 PR = K capacité pour consolidation).
- On définit le PR comme ayant le même mode de fonctionnement qu'une supérette.
- On applique FRETURB pour avoir les flux amont.
- On affecte les PR au zonage D34 à partir des Zones Fines comme étant des petits commerces, et on applique le modèle d'achats.

Calcul des équivalences entre commerces et points-relais

Hypothèses

On fixe arbitrairement une densité de points-relais, qui correspondra à une densité de population desservie : il faut un point-relais pour un nombre de ménages donné, ce dernier figurant dans les données de l'enquête ménages. Ainsi, on crée un nouvel établissement commercial (de type commerce de proximité), fictif, qui symbolise un point-relais auprès duquel les consommateurs viennent s'approvisionner par le mode de leur choix. En zone dense, on comptera un minimum d'un point-relais par îlot, ce qui permettrait au consommateur final de se passer de déplacement automobile pour son approvisionnement.

Calculs

Quel type d'activité commerciale pour simuler un point-relais ? quelles sont les caractéristiques (nombre d'emplois notamment) des établissements fictifs à ajouter au territoire pour effectuer une simulation des points-relais, ces derniers étant assimilés à des petits commerces qu'il faut approvisionner à l'amont (système plus ou moins intégré, avec plus ou moins d'opérateurs intervenant sur un même périmètre) et vers lesquels, en aval, le consommateur final se déplace pour s'approvisionner selon les différents modes à sa disposition.

La simulation de la partie amont avec le modèle Freturb nécessite ainsi une base d'établissements fictifs (entrepôts logistiques et points-relais) qu'il faut constituer à l'échelle du territoire, comme ce qui a été fait pour la famille de scénarios 1. Le module STG, quant à lui, nécessite un comptage des établissements de type « petit commerce » sur les différentes zones du territoire, ce qui revient à un comptage des îlots si on part du principe d'un point-relais par îlot en zone dense.

1.5.2 Résultat des simulations

1.5.2.1 La situation de référence

Le scénario de référence a été calé sur les données d'un fichier SIRENE 2005 de l'aire urbaine de Lyon, ainsi que les données de l'Enquête Ménage Déplacements de 2006 sur ce même territoire.

Ainsi les données de base sont différentes des celles exposées dans la partie 1.2, car autant le périmètre d'étude que le paysage économique ont évolué entre 1999 et 2005.

La base d'établissements à partir de laquelle nous avons travaillé pour les scénarios comporte le nombre d'établissements de commerce de détail suivant :

| | | Nombre d'établissements |
|---------------------|------------------------------------|-------------------------|
| Grande distribution | TGS (Hypermarchés et assimilés) | 30 |
| | GS (supermarchés et assimilés) | 199 |
| | PC (petit commerce) | 18982 |

Les données ci-dessous, concernant les échanges inter-établissements, ne reflètent que les flux de véhicules générés par les seules activités commerciales, et non l'ensemble des activités de la ville.

- **Tableau 17 : Kilométrage hebdomadaire généré par les échanges inter-établissements selon le type de véhicule, selon la nature du commerce, et nombre et kilométrage hebdomadaire de déplacements d'achat.**

| | Echanges inter-établissements | | | | Déplacements d'achat | |
|--------|-------------------------------|----------------------|-------------------------|------------------|----------------------|-------------------|
| | Km en VUL | Km en Camion porteur | Km en véhicule articulé | Km UVP | Nombre | Km |
| TGS | 13 632 | 21 172 | 45 003 | 175 297 | | |
| GS | 15 181 | 30 460 | 46 306 | 199 457 | | |
| PC | 971 819 | 315 273 | 97 218 | 2 331 318 | 674 290 | 5 251 787 |
| TGS+GS | 28 813 | 51 632 | 91 309 | 374 754 | 2 878 467 | 20 704 152 |
| | 1 000 632 | 366 904 | 188 527 | 2 706 073 | 3 552 757 | 25 955 939 |
| | 64,3% | 23,6% | 12,1% | | | |

Le nombre de km.UVP des déplacements d'achat en voiture particulière sont plus de 10 fois supérieurs à ceux de la distribution de marchandises aux activités commerciales. Si l'on considère l'ensemble des établissements, les déplacements d'achat sont légèrement supérieurs en nombre de km.UVP par rapport aux livraisons et enlèvements aux établissements. Nous observons aussi que les petits commerces sont très générateurs en ce qui concerne les mouvements entre établissements et très peu générateurs pour les déplacements d'achat. En ce qui concerne la grande et très grande surface ensemble, nous pouvons constater le phénomène contraire. Nous avons tenu compte de cette agrégation pour pouvoir comparer les deux types de mouvements (les enquêtes ménages déplacements de Lyon ne font pas la distinction entre la grande surface et la très grande surface).

1.5.2.2 Les scénarios extrêmes

a) Scénario "tout hypermarché"

Tous les types de commerces ont été transférés dans des hypermarchés exclusivement.

Alors que le petit commerce a disparu, les 62 établissements de grande distribution génèrent à peine plus de 14000 opérations de livraisons.

| Etablissements | Opérations de livraison | Emploi total |
|----------------|-------------------------|--------------|
| 62 | 14 051 | 20 736 |

Les établissements de grande distribution (TGS : très grandes surfaces) se décomposent comme suit: 45 hypermarchés, 17 grands magasins spécialisés dont 5 grands distributeurs de meubles type IKEA ou Conforama.

Tableau 18 : nombre d'établissements, kilométrage hebdomadaire généré par les échanges inter-établissements pour l'ensemble des 33 zones, selon le type de véhicule, et kilométrage hebdomadaire de déplacements d'achat

| Echanges inter-établissements | | | | Déplacements d'achat | |
|-------------------------------|----------------------|-------------------------|----------------|----------------------|-------------------|
| Km en VUL | Km en Camion porteur | Km en véhicule articulé | Km UVP | Nombre | Km |
| 27 464 | 42 439 | 88 969 | 348 495 | 3 609 653 | 25 278 794 |
| 17,3% | 26,7% | 56,0% | | | |

Nous observons une tendance similaire à celle de la grande et très grande surface du scénario de référence. Nous observons pourtant que le nombre total de déplacements pour les achats diminue légèrement. Ceci peut s'expliquer par le fait que les pôles commerciaux concentrés diminuent le nombre de déplacements en voiture privée et permettent de mieux rationaliser

b) Scénario "tout en petit commerce"

Dans le cas de la transformation de tout le commerce de détail en petits commerces, plus aucune grande surface commerciale n'est présente sur l'aire urbaine de Lyon. Comme exposé dans la partie méthodologie, on a transformé les grandes surfaces (GS) et très grandes surfaces (TGS) en petits commerces de différentes catégories représentatives des types de marchandises charriées par les grands distributeurs.

Avec l'application du modèle Freturb sur la nouvelle configuration du commerce sur la zone d'étude, on obtient le résultat suivant, en nombre de kilomètres hebdomadaires générés par les établissements commerciaux de chaque zone.

Tableau 19 : nombre d'établissements, kilométrage hebdomadaire généré par les échanges inter-établissements dans les 33 zones, selon le type de véhicule, et kilométrage hebdomadaire de déplacements d'achat

| Zone | Nombre de petits commerces | Echanges inter-établissements | | | | Déplacements d'achat | |
|--------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------|-------------------------|------------------|----------------------|------------------|
| | | Km en VUL | Km en Camion porteur | Km en véhicule articulé | Km UVP | Nombre | Km |
| 1 | 847 | 37 879 | 10 995 | 4 421 | 89 861 | 28 659 | 146 172 |
| 2 | 1 521 | 65 091 | 18 299 | 7 613 | 153 267 | 51 948 | 361 771 |
| 3 | 4 825 | 185 855 | 42 413 | 22 268 | 419 280 | 42 967 | 279 739 |
| 4 | 2 833 | 110 454 | 25 120 | 13 242 | 249 025 | 2 752 | 12 588 |
| 5 | 740 | 31 369 | 8 848 | 3 638 | 73 844 | 10 971 | 42 953 |
| 6 | 1 489 | 65 377 | 18 653 | 7 553 | 154 253 | 24 244 | 123 558 |
| 7 | 1 068 | 46 336 | 13 101 | 5 390 | 109 181 | 15 764 | 55 464 |
| 8 | 3 920 | 173 669 | 49 497 | 20 156 | 409 885 | 32 562 | 186 121 |
| 9 | 1 301 | 59 114 | 17 023 | 6 838 | 139 810 | 10 153 | 52 139 |
| 10 | 1 998 | 89 636 | 25 591 | 10 261 | 211 287 | 18 638 | 108 048 |
| 12 | 3 443 | 161 947 | 47 362 | 18 212 | 383 175 | 24 192 | 173 913 |
| 13 | 1 491 | 85 251 | 31 265 | 7 273 | 208 589 | 14 811 | 90 484 |
| 14 | 614 | 28 273 | 8 140 | 3 243 | 66 796 | 27 513 | 172 676 |
| 15 | 537 | 31 352 | 11 462 | 2 629 | 76 526 | 17 828 | 116 403 |
| 16 | 899 | 53 662 | 20 211 | 4 488 | 132 134 | 1 702 | 10 407 |
| 17 | 1 036 | 63 409 | 23 522 | 5 275 | 155 345 | 12 392 | 114 842 |
| 18 | 320 | 15 080 | 4 415 | 1 695 | 35 688 | 10 419 | 78 977 |
| 19 | 1 293 | 79 947 | 29 543 | 6 710 | 195 783 | 11 377 | 105 202 |
| 20 | 282 | 18 274 | 6 702 | 1 508 | 44 586 | 10 862 | 119 262 |
| 21 | 766 | 45 255 | 16 561 | 3 777 | 110 448 | 7 070 | 59 656 |
| 22 | 409 | 24 163 | 8 738 | 2 031 | 58 799 | 7 926 | 69 370 |
| 23 | 1 508 | 92 780 | 34 399 | 7 760 | 227 367 | 15 917 | 133 250 |
| 24 | 1 140 | 70 266 | 26 140 | 5 885 | 172 394 | 14 321 | 106 469 |
| 25 | 398 | 22 962 | 8 255 | 1 957 | 55 847 | 8 398 | 55 171 |
| 26 | 840 | 53 893 | 20 164 | 4 382 | 132 122 | 3 672 | 32 795 |
| 27 | 405 | 24 247 | 8 905 | 1 961 | 59 081 | 10 857 | 105 140 |
| 28 | 212 | 13 273 | 4 898 | 1 067 | 32 375 | 4 243 | 49 826 |
| 29 | 1 376 | 83 341 | 30 533 | 6 817 | 203 121 | 20 968 | 275 093 |
| 30 | 799 | 50 978 | 18 152 | 4 142 | 123 127 | 6 303 | 76 520 |
| 31 | 1 874 | 116 792 | 43 006 | 9 405 | 284 711 | 15 772 | 232 752 |
| 32 | 258 | 17 039 | 6 248 | 1 382 | 41 509 | 14 709 | 200 422 |
| 33 | 1 532 | 90 995 | 33 438 | 7 462 | 222 024 | 13 308 | 183 683 |
| 34 | 700 | 44 885 | 16 129 | 3 710 | 108 860 | 34 033 | 504 213 |
| Total | | 2 152 844 | 687 728 | 214 152 | 5 140 102 | 547 252 | 4 435 078 |
| | | 70,5% | 22,5% | 7,0% | | | |

Ces résultats traduisent l'utilisation importante de petits véhicules, souvent en compte propre, par les petits établissements commerciaux. Ainsi plus de 70% des kilomètres parcourus sur l'aire d'étude par les véhicules effectuant la distribution auprès des commerces sont réalisés en véhicule utilitaire léger, alors qu'ils étaient un peu plus de 64% dans le scénario de référence. En revanche, la part des véhicules articulés est tombée de 12% à 7% des kilomètres bruts parcourus.

Les flux d'approvisionnement des commerces deviennent plus importants que les déplacements motorisés des ménages pour le motif achats.

c) Famille 2 : les scénarios "livraison à domicile" et "points-relais"

La simulation des configurations "tout livraison à domicile" et "tout point relais" a été réalisée selon une méthodologie particulière, comme exposé plus haut. Les échanges inter-établissements (entre l'approvisionnement initial des opérateurs et les dépôts) sont réalisés selon les même modalités que le scénario "tout hypermarché" ci-dessus.

Les déplacements d'approvisionnement des ménages regroupent, quant à eux, le dernier maillon de desserte des points de livraison et le déplacement éventuel en voiture particulière des ménages.

• **Tableau 20 : déplacements d'approvisionnement terminal dans le cas de la "livraison à domicile" (LAD) et des "Points-Relais" (PR)**

| Zone | Nb Km pour LAD | Nb Km pour PR |
|--------------|-------------------|------------------|
| 1 | 271 952 | 82 822 |
| 2 | 600 951 | 203 231 |
| 3 | 614 762 | 183 119 |
| 4 | 157 431 | 67 384 |
| 5 | 191 203 | 71 000 |
| 6 | 198 606 | 65 208 |
| 7 | 144 953 | 41 414 |
| 8 | 575 011 | 218 696 |
| 9 | 194 156 | 74 600 |
| 10 | 499 043 | 106 635 |
| 12 | 855 663 | 205 183 |
| 13 | 535 377 | 113 279 |
| 14 | 362 197 | 88 190 |
| 15 | 298 430 | 83 153 |
| 16 | 213 241 | 41 243 |
| 17 | 287 280 | 78 446 |
| 18 | 148 281 | 40 451 |
| 19 | 347 608 | 100 625 |
| 20 | 116 410 | 48 606 |
| 21 | 230 490 | 62 760 |
| 22 | 166 054 | 46 930 |
| 23 | 530 047 | 169 178 |
| 24 | 731 849 | 102 151 |
| 25 | 383 299 | 62 690 |
| 26 | 612 387 | 115 764 |
| 27 | 790 296 | 181 382 |
| 28 | 245 719 | 64 487 |
| 29 | 1 442 836 | 284 564 |
| 30 | 790 578 | 190 774 |
| 31 | 2 250 591 | 576 363 |
| 32 | 2 109 021 | 379 161 |
| 33 | 1 612 510 | 351 130 |
| 34 | 3 743 403 | 833 702 |
| Total | 22 251 636 | 5 334 320 |

Nous observons une grande différence sur le nombre totale de kilomètres parcourus. Le scénario tout en livraison à domicile part de l'hypothèse qu'il n'y a aucun déplacement d'achat voiture. Le nombre de km présentés sur la deuxième colonne du Tableau 20 est celui du système de livraison à domicile défini auparavant. Par contre, dans la troisième colonne

(points relais), le nombre de kilomètres est la somme de deux composantes : le système de distribution aux points relais, défini auparavant, et les déplacements du ménage au point relais qui ont comme objectif retirer la marchandise dont la commande a été passée, et éventuellement d'autres produits alimentaires en cas d'urgences ponctuelles. Les points relais étant localisés en fonction de la localisation des ménages, les distances parcourues pour cette composante sont très petites. Nous observons que le système de livraison à domicile est largement moins optimisé que celui des points relais, du fait que ce dernier permet une meilleure disposition de la marchandise, une massification des biens et une distribution plus flexible.

d) Synthèse sur l'ensemble des scénarios

Les différentes simulations nous permettent de dresser un premier bilan chiffré sur l'impact du transport de marchandises en ville, selon les configurations décrites. Le chapitre "approvisionnement des ménages" inclut, pour les familles de scénarios e-commerce (LAD et PR), l'éventuel trajet en voiture particulière effectué pour récupérer les achats dans le cas des PR, et le maillon de livraison qui lie le dépôt et les points de livraison.

- **Tableau 21 : Nombre de kilomètres générés par la distribution de marchandises et le transport des biens aux lieux de consommation finale pour les différents scénarios**

| | | Nb Km distribution | Nb Km approvisionnement ménages | Nb Km totaux |
|---|---------------------------|--------------------|---------------------------------|--------------|
| 0 | Référence | 2 706 073 | 25 955 939 | 28 662 012 |
| 1 | Tout Hypermarché | 348 495 | 25 278 794 | 25 627 290 |
| 2 | Tout Petit Commerce | 5 140 102 | 4 435 078 | 9 575 180 |
| 3 | Tout Livraison à Domicile | 348 495 | 22 251 636 | 22 600 131 |
| 4 | Tout Points Relais | 348 495 | 5 334 320 | 5 682 815 |
| | | | | |
| | | Nb Km distribution | Nb Km approvisionnement ménages | Nb Km totaux |
| 0 | Référence | -- | -- | -- |
| 1 | Tout Hypermarché | -87,12% | -2,61% | -10,59% |
| 2 | Tout Petit Commerce | 89,95% | -82,91% | -66,59% |
| 3 | Tout Livraison à Domicile | -87,12% | -14,27% | -21,15% |
| 4 | Tout Points Relais | -87,12% | -79,45% | -80,17% |

Nous observons que le nombre de déplacements liés au transport des biens aux lieux de consommation finale est nettement supérieur à celui du transport de marchandises aux points de vente ou de distribution, sauf pour le scénario 2, où le gain dû à la proximité des

commerces des lieux de consommation finale se répercute en une diminution importante de l'usage de la voiture. Nous observons que dans tous les cas le nombre de kilomètres liés au transport des biens au lieu de consommation finale est inférieur à la situation actuelle, et donc qu'une offre commerciale spécifique et concentrée permet de diminuer les distances parcourues, même pour les situations peu intuitives, comme le montre le scénario 1.

Si l'on compare les deux premiers scénarios à la situation actuelle, nous observons que les deux « scénarios extrêmes » sont meilleures en termes de distance parcourue que la situation actuelle. Le gain sur le nombre total de km.UVP est nettement meilleur dans le scénario 2, du fait que le commerce de proximité, même dans les cas où il y a usage de la voiture, est moins générateur de km pour les déplacements d'achat. Par contre, il y a une augmentation du nombre de km.UVP pour la distribution. Néanmoins, cette augmentation est inférieure à la diminution du côté déplacements d'achat, d'où une diminution globale supérieure à 60% par rapport au scénario de référence.

La livraison à domicile s'avère un système moins efficace, en utilisant l'organisation actuelle de livraison à base véhicules utilitaires légers. En effet, les tournées ne sont pas optimales et ce type de système de distribution est assez rigide, compte tenu des contraintes liées à la disponibilité des personnes qui reçoit la marchandise : les fenêtres temporelles sont courtes, beaucoup de ménages doivent être livrés, et la marchandise est livrée au porte à porte. Ces contraintes ne permettent pas une amélioration considérable du système sans changer les stratégies de distribution ou la qualité du service.

Enfin, les points relais semblent être la stratégie la plus efficace pour la réduction des distances parcourues en voiture, mais aussi pour l'optimisation des tournées de livraison, soit aux dépôts de distribution, soit aux points relais. Le gain en nombre de kilomètres.UVP est supérieur à 80% par rapport à la situation actuelle.

2 Activité B « Secteur résidentiel »

2.1 Cadrage des travaux

A la suite de la première phase de la recherche ETHHEL, il a semblé nécessaire de mettre à jour la méthodologie de la dynamique du parc à 2050, ce qui représente la première tâche de l'activité consacrée au secteur résidentiel. Cette tâche B1 actualise, sur la base d'ETHHEL-I, le modèle de dynamique du parc déterminant les besoins de construction neuve selon les typologies privilégiées (maison individuelle ou logement en immeuble collectif), en vue de décrire le parc en 2050, base de l'exercice d'une division par 4 des émissions de gaz à effet de serre liées à la consommation d'énergie.

Les deux autres tâches identifiées sont les suivantes :

B2 : Développement de modules d'analyse morphologique du parc de logements, permettant d'explorer les gisements d'économie d'énergie, dans le neuf et dans l'existant, ainsi que la contribution solaire (solaire thermique et photovoltaïque).

B3 : Développement de scénarios énergétiques et d'aménagement du territoire, produisant des résultats de consommation d'énergie totale du parc de logements et d'émissions de gaz à effet de serre, et d'occupation de territoire.

2.2 Tâche B1 : Modèle dynamique du parc

2.2.1 Le champ de l'étude concerne les résidences principales

2.2.1.1 *Les effectifs en 2006*

Le parc de logements comprend essentiellement les résidences principales (RP), dont la description est basée sur les personnes en ménage, cette catégorie étant étendue à toute la population : les personnes hors ménages ne sont pas identifiées en tant que telles, mais réparties dans le parc selon la taille moyenne des ménages.

Les logements vacants sont comptabilisés dans la dynamique du parc, mais non inclus dans l'estimation individuelle des besoins énergétiques.

Le parc résidentiel métropolitain comporte 31,3 millions de logements en 2006, dont 26,3 millions de résidences principales, 3,1 millions de résidences secondaires et 1,9 millions de logements vacants. Le nombre de résidences principales a crû de 387.000 unités en un an, grâce à une activité de la construction neuve encore vigoureuse, tandis que le parc de résidences secondaires a faiblement progressé. Le nombre de logements vacants a également diminué progressivement depuis 2000.

Tableau 22. Effectifs des logements (2000 à 2006)

| Métropole (en milliers de logements) | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 |
|--------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Résidences principales | 24 241 | 24 555 | 24 866 | 25 184 | 25 519 | 25 876 | 26 263 |
| Résidences secondaires | 2 934 | 2 959 | 2 985 | 3 010 | 3 038 | 3 070 | 3 106 |
| Logements vacants | 1 969 | 1 957 | 1 944 | 1 931 | 1 919 | 1 908 | 1 899 |
| Nombre total de logements | 29 144 | 29 471 | 29 795 | 30 126 | 30 477 | 30 854 | 31 267 |

Effectifs en juillet de chaque année

Sources : Comptes du logement 2006.

Les maisons individuelles au nombre de 14,8 millions d'unités, forment la majorité des résidences principales (56,3 %). Leur part est grandissante depuis 1995 mais ralentit légèrement depuis 2004. 11,5 millions de logements sont en immeubles collectifs.

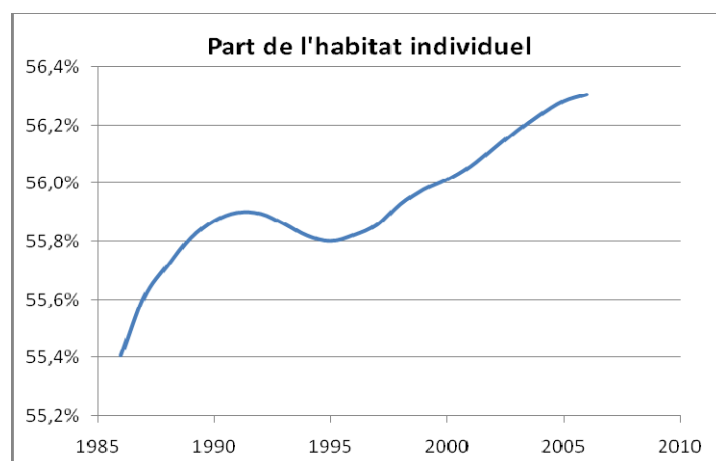


Figure 7. Part de l'habitat individuel en % du parc de résidences principales

En 2006, 57,1 % des ménages sont propriétaires, 6,6 millions de ménages sont logés dans le parc locatif privé, niveau sans progression notable depuis 1984, et 5 millions sont locataires dans le parc social et celui des collectivités locales².

2.2.1.2 Les conditions de confort et la surface moyenne des logements

Le nombre de personnes par logement, s'établit à 2,3 en 2006, contre 2,8 en 1978. Cette diminution continue de la taille moyenne des ménages résulte de plusieurs facteurs, dont le vieillissement de la population associé au maintien à domicile des personnes âgées, et des changements des modes de cohabitation. Les enquêtes logement indiquent que les conditions de logement se sont améliorées :

- la surface moyenne par personne est passée de 27,4 m² à près de 40 m² entre 1978 et 2006, sous le double effet de la croissance de la surface moyenne des résidences

² Chiffres France entière, cf. Comptes du logement 2006.

principales et de la diminution de la taille des ménages ; l'augmentation de la surface habitable par personne apparaît plus rapide dans l'individuel que dans le collectif ;

- parallèlement, le confort a progressé : seulement 1,5 % des logements en 2006 sont dépourvus d'eau chaude ou de sanitaires contre 27 % en 1978.

La surface moyenne des maisons individuelles est passée de 100 à 110 m² en 20 ans, mais sa progression ralentit ; à l'inverse, la surface moyenne des logements en immeuble collectif est stable à 65 m² environ.

Tableau 23. Quelques caractéristiques du parc de résidences principales

| | 1978 | 1984 | 1988 | 1992 | 1996 | 2002 | 2006 |
|--|------|------|------|------|------|------|------|
| Part des logements sans confort sanitaire (en %) | 26,9 | 15,0 | 9,6 | 6,2 | 4,1 | 2,6 | 1,5 |
| Surface moyenne des logements (en m ²) | 77 | 82 | 85 | 86 | 88 | 90 | 91 |
| Nombre moyen de personnes par logement | 2,8 | 2,7 | 2,6 | 2,5 | 2,5 | 2,4 | 2,3 |
| Surface habitable moyenne par personne | 27,5 | 30,7 | 32,4 | 33,9 | 35,5 | 37,5 | 39,6 |

Source : Insee, enquêtes Logement.

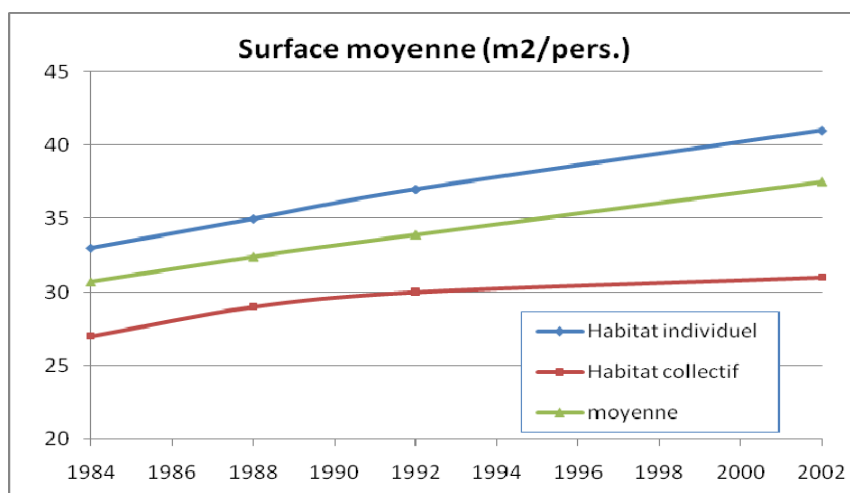


Figure 8. Evolution des surfaces moyennes de résidences principales, par personne

D'après : Enquête Logement 2002, Insee (« De plus en plus de maisons individuelles », Alain Jacquot, Insee N° 885 - FÉVRIER 2003)

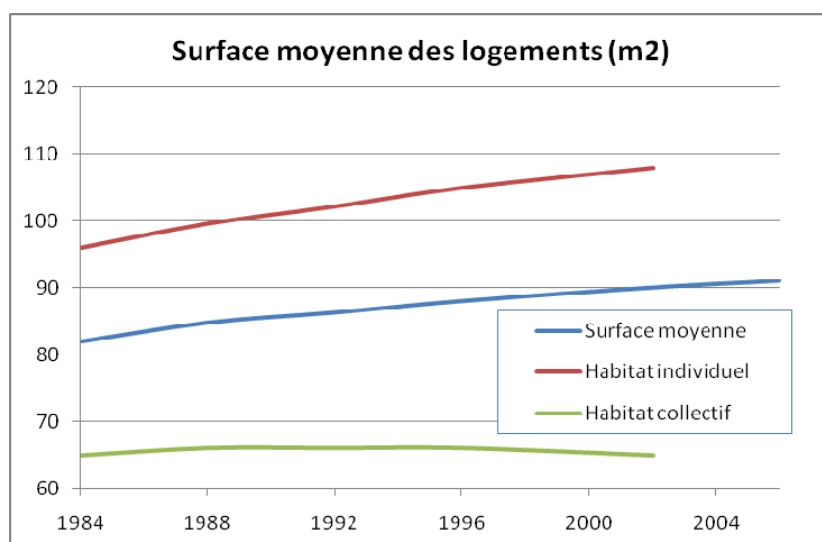


Figure 9. Evolution des surfaces moyennes de résidences principales, par logement

2.2.2 Les données de population et la croissance du parc de logements

2.2.2.1 Population et ménages en France métropolitaine

Au 1er janvier 2009, la population de la France métropolitaine s'élève à 62,45 millions d'habitants, en progression moyenne de 400.000 habitants par an depuis le début de la décennie, soit à un taux de croissance annuel de 6 à 7%. Ces chiffres montrent que la population croît plus rapidement que dans les projections de l'INSEE, que nous retiendrons néanmoins. Le nombre de ménages, à 25,69 millions en 2005, représentait une population de 59,67 millions en ménages. La taille moyenne du ménage s'établit ainsi à 2,32 personnes.

Tableau 24. Évolution générale de la situation démographique

| Année | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 (p) | 2008 (p) | 2009 (p) |
|---------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------------|-------------|-------------|
| Population au 1er janvier | 58 858 | 59 267 | 59 686 | 60 102 | 60 506 | 60 963 | 61 400 | 61 771 | 62 106 | 62 449 |

(p) Populations 2007, 2008 et 2009, état civil 2008 : résultats provisoires arrêtés fin 2008.

Champ : France métropolitaine.

Sources : Insee, estimations de population

Les projections récentes de l'INSEE montrent, dans le scénario central, que la France métropolitaine compterait 70,0 millions d'habitants en janvier 2050, soit 9,1 millions de plus

qu'en 2005³. Le nombre de ménages tend cependant à croître plus vite que la population (+ 1,24% par an en moyenne pour le nombre de ménages entre 1975 et 2005, + 0,48% pour la population), en raison de la baisse continue du nombre moyen de personnes par ménage⁴. Cette baisse est due à deux facteurs principaux : la structure par âge de la population – le nombre de ménages de personnes âgées croît, avec une taille de ménage plus petite que la moyenne – et les comportements de cohabitation, la vie en couple cédant du terrain au profit de familles monoparentales. L'indépendance économique des femmes et la moindre différenciation des fonctions entre les hommes et les femmes réduisent en outre les gains à attendre de la vie en couple.

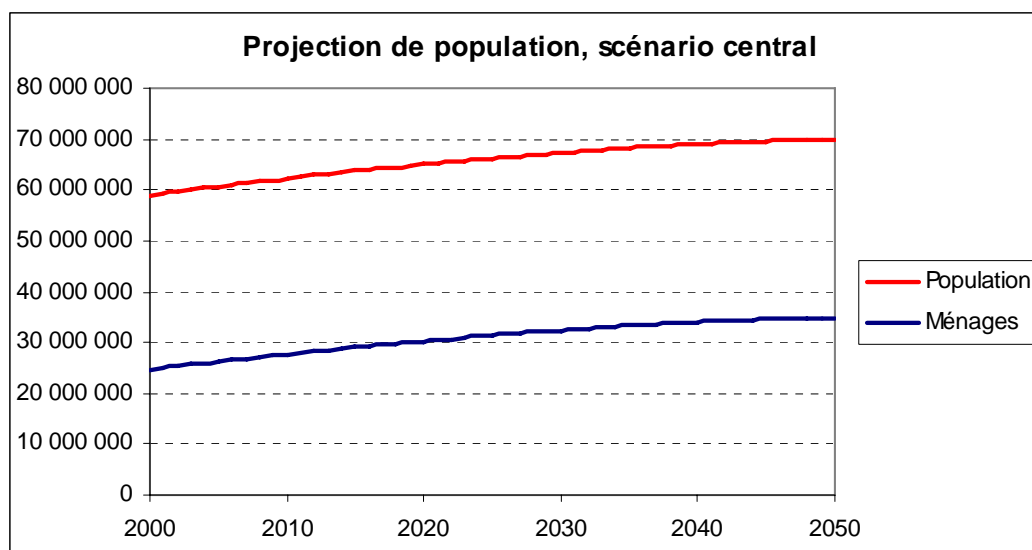


Figure 10. Projections de population à 2050 (nombre d'habitants et nombre de ménages)

Scénario central pour la population, scénario B pour la taille des ménages

Sources : Insee Première N° 1089 - Juillet 2006 et N° 1106 - Octobre 2006.

En maintenant la tendance observée dans l'intervalle 1990-1999 pour les comportements de cohabitation, qui semble toutefois s'être accélérée au cours des années récentes, l'INSEE a établi deux scénarios d'évolution de la taille moyenne de ménages. Nous adoptons le scénario B (scénario « bas » en nombre de ménages, mais haut en taille moyenne), qui indique un accroissement annuel moyen de 236.000 ménages dans la période 2005-2030. De 2,37 personnes par ménage pour 24,7 millions de ménages en 2000, la taille moyenne décroîtrait à 2,08 personnes par ménage pour 32,4 millions de ménages en 2030. La structure des ménages s'en trouvera modifiée, ce qui pourrait être une cause d'évolution vers une demande plus forte en petits logements : alors qu'un tiers des résidences principales sont occupées à présent par une personne seule, la proportion pourrait atteindre 43 à 46 % en 2030.

³ Sources : Insee, *situation démographique et projections de population 2005-2050* ; I. Robert-Bobée, *Projections de population pour la France métropolitaine à l'horizon 2050. La population continue de croître et le vieillissement se poursuit*, Insee Première N° 1089 - Juillet 2006.

⁴ A. Jacquot, *Des ménages toujours plus petits, Projection de ménages pour la France métropolitaine à l'horizon 2030*, Insee Première N° 1106 - Octobre 2006.

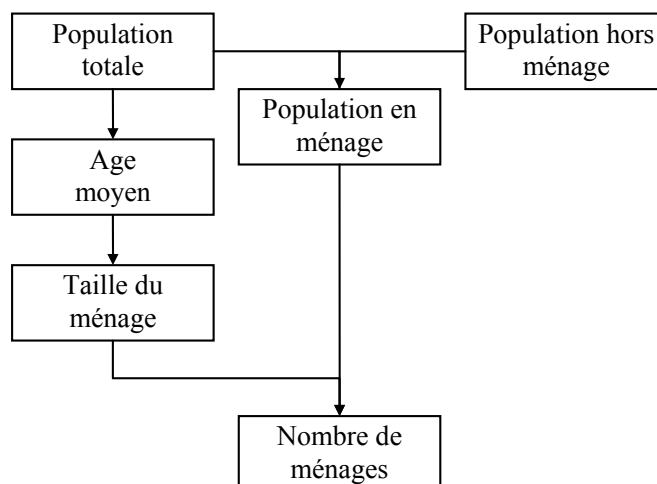
Tableau 25. Projection de la taille des ménages à 2030 selon deux scénarios

| | 1990 | 1999 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 | 2040 | 2050 |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Taille ménages (B) | 2,57 | 2,4 | 2,31 | 2,25 | 2,2 | 2,16 | 2,12 | 2,08 | 2,04 | 2,01 |
| Taille ménages (H) | 2,57 | 2,4 | 2,31 | 2,24 | 2,19 | 2,14 | 2,09 | 2,04 | 1,99 | 1,96 |

Source valeurs 1990-2030 : INSEE Première 1106, d'après : recensements de la population 1982 à 1999, enquête annuelle de recensement 2005 et projection, Insee.

Projections 2040-2050 : étude CLIP

Le nombre de ménages est une donnée essentielle pour établir les perspectives du parc de résidences principales (un ménage = un logement). Ne disposant pas de données régionalisées en nombre de ménages en prospective, il apparaît possible de déduire cette donnée de l'estimation de la taille des ménages, quelle que soit l'échelle considérée.



**Figure 11. Procédure d'estimation du nombre de résidences principales RP
(Un ménage = une RP)**

Les projections établies par l'INSEE donnent une répartition de la population par tranche d'âge et par région⁵ à l'échéance 2030. Il est ainsi possible de dessiner les perspectives d'évolution de l'âge moyen de la population aux deux échelons, national et régional.

⁵ La répartition de la population en 5 classes d'âge, ainsi que l'âge moyen, est projeté par région jusqu'en 2030, cf. O. Léon, P. Godefroy, *Projections régionales de population à l'horizon 2030. Fortes croissances au Sud et à l'Ouest*, Insee Première N° 1111 - Décembre 2006.

Tableau 26. Population de France métropolitaine de 2005 à 2030

| Année | Population au 1er janvier | Proportion (%) des | | | | Age moyen |
|-------|------------------------------|--------------------|-----------|---------|---------|-----------|
| | | 0-19 ans | 20-59 ans | 60 et + | 80 et + | |
| 2005 | 60 702 284 | 24,9 | 54,3 | 20,8 | 4,5 | 39,0 |
| 2010 | 62 302 078 | 24,3 | 53,0 | 22,7 | 5,2 | 39,7 |
| 2015 | 63 728 236 | 24,0 | 51,4 | 24,6 | 5,8 | 40,5 |
| 2020 | 64 983 913 | 23,7 | 50,1 | 26,2 | 5,9 | 41,2 |
| 2025 | 66 122 510 | 23,1 | 49,1 | 27,9 | 5,9 | 42,0 |
| 2030 | 67 204 319 | 22,6 | 48,1 | 29,3 | 7,2 | 42,7 |

Scénario central, INSEE

Les projections nationales peuvent être prolongées à 2050, puis différenciées par région⁶, en s'appuyant sur la corrélation entre la taille du ménage et l'âge moyen de la population (Figure 12).

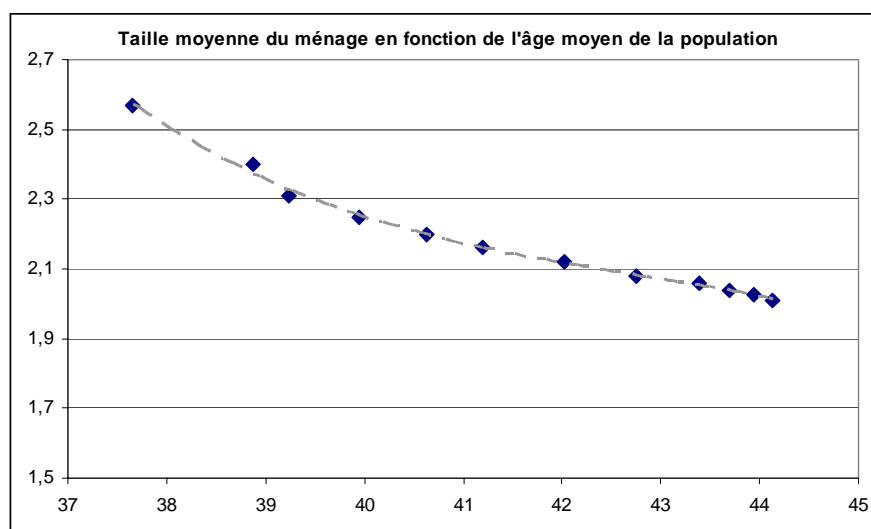


Figure 12. Taille moyenne du ménage en fonction de l'âge moyen de la population

La courbe de tendance obtenue, avec un coefficient de détermination R^2 élevé, permet de produire pour l'intervalle 2000-2050, une taille de ménage régionale.

⁶ La répartition de la population en 5 classes d'âge, ainsi que l'âge moyen, est projeté par région jusqu'en 2030, cf. O. Léon, P. Godefroy, *Projections régionales de population à l'horizon 2030. Fortes croissances au Sud et à l'Ouest*, Insee Première N° 1111 - Décembre 2006.

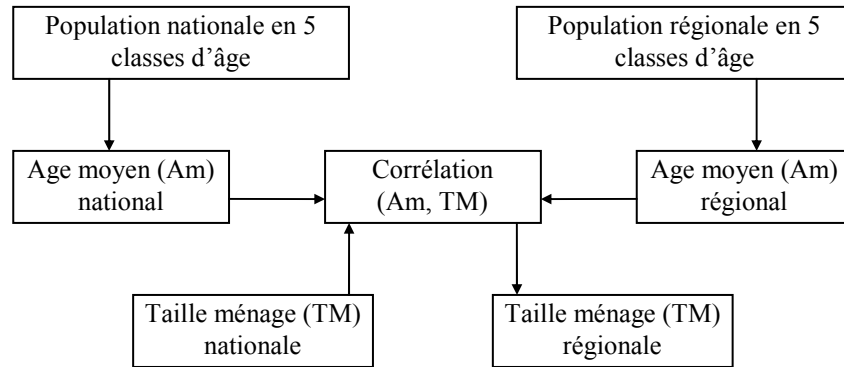


Figure 13. Procédure de régionalisation des données nationales

(Taille moyenne du ménage déduite de la répartition de la population en 5 classes d'âge)

2.2.2.2 L'estimation des taux de sortie, de vacants et de construction neuve

Le modèle prospectif de parc de résidences principales résulte de l'hypothèse que l'accroissement du nombre de logements entre deux années consécutives est actionné par l'évolution du nombre de ménages. La construction neuve (CN) est supposée répondre à cette accroissement du nombre de ménages (A) augmentée des sorties totales (S), par destruction et solde des échanges entre le parc de résidences principales et les autres stocks, résidences secondaires et logements vacants.

En conséquence, à chaque pas de temps (une année) :

$$CN = A + S$$

Le modèle de dynamique du parc doit permettre de décrire l'évolution des différents segments, non seulement en raison de la région, mais aussi selon la typologie (maisons individuelles et logements collectifs), la date de construction et la localisation dans les différentes zones des aires urbaines.

Le taux de sortie est basé sur le rapport (destructions) / (stock RP + vacants), soit 0,12% en moyenne métropolitaine dans la période antérieure à 2000. Cette hypothèse qui apparaît optimiste face aux données plus récentes, permet de renforcer la dynamique de la construction neuve, donc le renouvellement du parc, ce qui reste faible en comparaison des périodes antérieures⁷. Le rythme de sorties dépend en réalité des dynamiques urbaines à l'horizon 2050. Il conviendrait de le discrétiser, en fonction de la période de construction, de la typologie MI/IC et du type de commune.

Pour les logements neufs, le nombre de logements déclarés et commencés de 1994 à 2004 est donné par commune dans la base SITADEL. Les variables connues sont la typologie de logement (maisons individuelles et logements collectifs) ainsi que la surface des logements construits (SHON). Il conviendrait d'enrichir la base de données, par :

⁷ Cf. J.P. TRAISNEL, Cahiers du CLIP n° 13, *Habitat et développement durable, étude rétrospective et prospective*, Mai 2001.

- la typologie architecturale selon un classement en quatre types de maisons individuelles (longère, R+1 isolée, R+1 mitoyenne, maison de ville) et deux types d'immeubles collectifs, selon le nombre d'étages ;
- les surfaces habitables (Slogt ou S/personne) par typologie ;
- les statuts d'occupation.

Une étude paramétrique pourrait être établie sur deux fonctions possibles pour les 2 classes en immeuble collectif :

- le seuil de passage entre les deux types de chauffage central, collectif ou individuel (CCC/CCI) ;
- l'effet de contiguïté verticale et horizontale (valeur Surface enveloppe / Shabitable).

2.2.2.3 Les projections de construction neuve, par région

Les logements construits annuellement, de l'ordre de 380.000 unités, représentent 1,5 % du parc de résidences principales en année moyenne : ce taux illustre la vitesse d'accroissement du parc, le rythme de destruction du parc restant faible, de l'ordre de 0,1 à 0,2% par an. Le renouvellement du parc est en conséquence très lent.

L'augmentation de la construction neuve depuis 2004 a principalement pour origine le dynamisme de la construction de logements collectifs, qui a crû trois fois plus rapidement que la construction de maisons individuelles : la part du collectif a en effet augmenté de 10 points depuis 2000, passant à 44% en 2007 dans les mises en chantier de résidences principales en métropole. Le nombre total de logements terminés au cours de l'année 2007 augmente de plus de 15% par rapport à l'année précédente.

La construction apparaît la plus dynamique sur la façade atlantique (en Aquitaine, en Bretagne) et en Corse. L'Île-de-France, la région Nord-Pas-de-Calais ainsi que la région Champagne-Ardenne apparaissent les moins dynamiques.

Tableau 27. Logements ordinaires commencés ventilés selon le type de construction

| | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 |
|-------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Individuel pur | 115 397 | 127 699 | 144 522 | 158 625 | 149 096 | 148 900 | 163 583 | 163 583 | 169 448 | 171 016 | 170 313 |
| Individuel groupé | 25 700 | 28 294 | 32 811 | 29 779 | 31 696 | 31 727 | 40 070 | 40 070 | 46 691 | 46 458 | 45 736 |
| Collectif | 99 703 | 106 544 | 115 398 | 96 834 | 95 516 | 95 748 | 124 564 | 124 564 | 154 958 | 161 653 | 169 725 |
| Total | 240 800 | 262 537 | 292 731 | 285 238 | 276 308 | 276 375 | 328 217 | 328 217 | 371 097 | 379 127 | 385 774 |

Champ : Résidences principales, France métropolitaine, hors logements en résidences

Source : SOeS / SITADEL

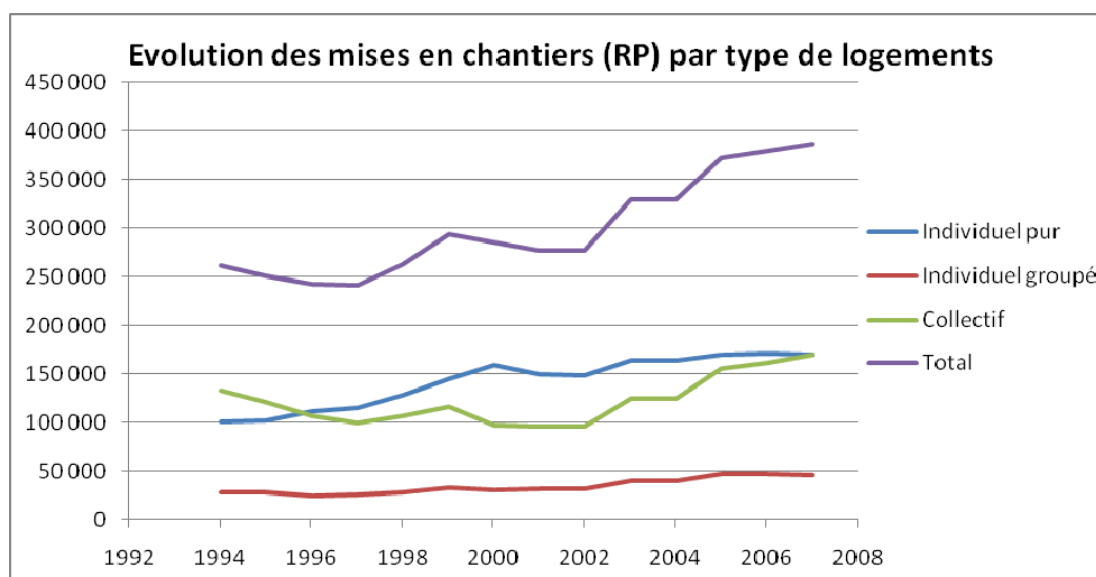


Figure 14. Mises en chantier des résidences principales

Champ : Résidences principales, France métropolitaine, hors logements en résidences.

Source : SOeS / SITADEL

Les 385.000 résidences principales construites en 2007 correspondent à 41,4 Millions de m², soit une surface moyenne (SHON) de 107 m² par logement (140 m² en individuel pur, 105 m² en individuel groupé et 75 m² en immeuble collectif).

La création de logements ainsi dénombrée comporte deux composantes principales : la construction neuve proprement dite (qui y contribue à 90%), et le changement de destination, dont la part apparaît croissante au cours des 15 dernières années pour atteindre 7% en 2005⁸. Le solde (environ 3%) est représenté par élévation ou extension d'un bâtiment, de scission de logements anciens. Les logements créés par changement de destination sont en moyenne de plus petite taille, souvent situés en zones rurales (notamment lorsqu'il s'agit de résidences secondaires) et en premier lieu les unités urbaines de moins de 10 000 habitants. Ce mode de construction est également très pratiqué dans la ville de Paris (près de 12% de la création de logements).

A partir des données de démographie et des hypothèses retenues, il est possible de déterminer la demande en logements année par année jusqu'en 2030.

⁸ Cf. La création de logements par changement de destination de locaux, DAEI/SESP et DGUHC, Compte du logement provisoire 2006.

CROISSANCES 2005 - 2030

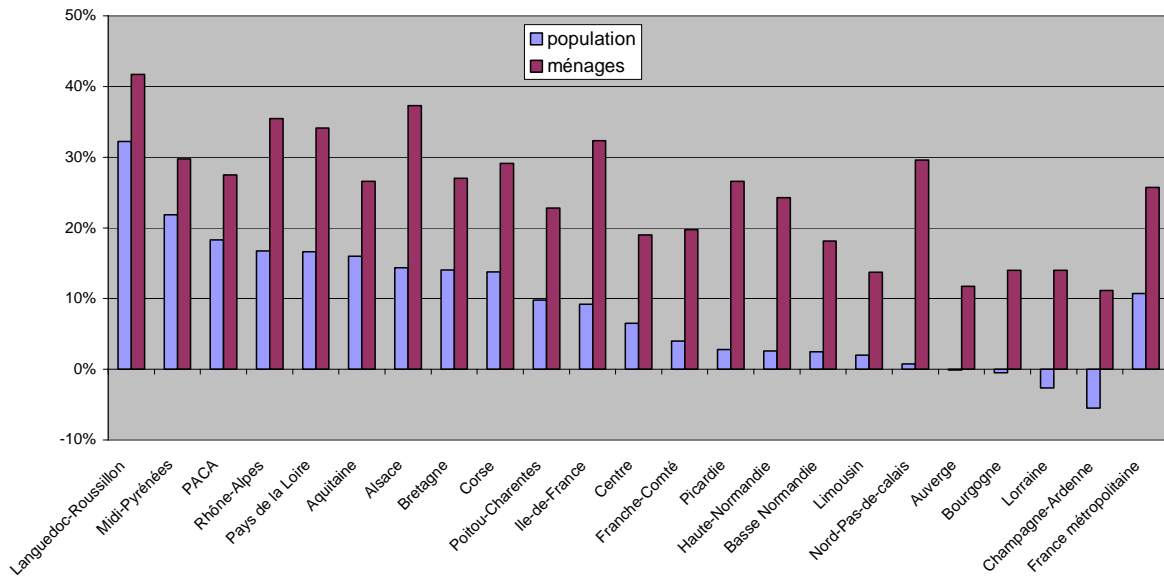


Figure 15. Populations et ménages, par région

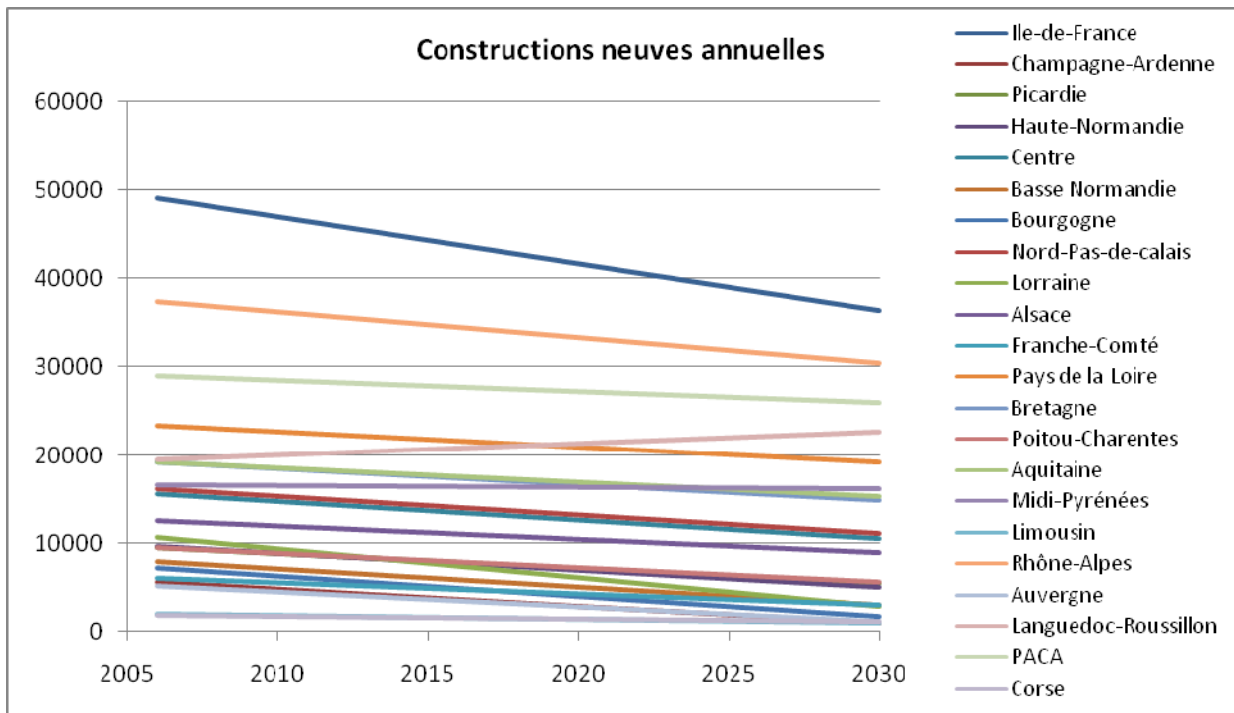


Figure 16. Nombre de logements neufs construits par région (2007-2030)

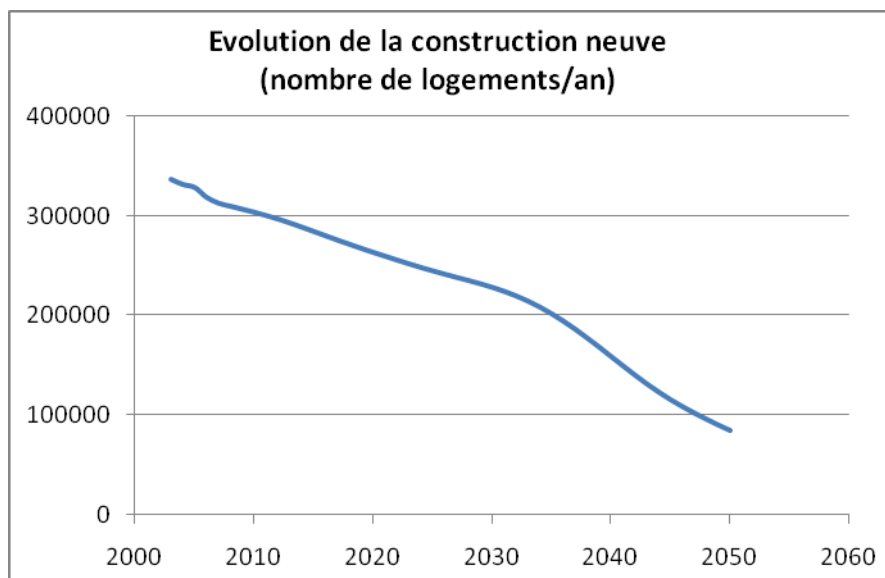


Figure 17. Projections de constructions de logements neufs à 2050

2.2.2.4 Les hypothèses retenues en tendanciel

En tendanciel, nous adopterons les valeurs constatées en analyse rétrospective 1990-2004 :

- Le taux de vacants sera également appliqué à l'augmentation du parc par construction neuve, pour maintenir un taux constant ;
- Le taux de destruction est maintenu à 0,12% du parc existant ;
- La répartition dans le neuf (MI / IC) est maintenue dans chaque commune, par prolongement des tendances 1990-2004.

Il serait néanmoins nécessaire de vérifier la constance de la répartition MI/IC dans le neuf entre les deux périodes « 1990-1999 » et « 2000-2004 ».

Les valeurs de vacance et destruction pourraient également être discrétisées, en fonction :

- de la région
- de la période de construction
- de la typologie MI/IC
- du type de commune (selon les catégories d'aires urbaine).

Le modèle de parc nécessite également que soient adoptées des hypothèses de surface habitable, par personne ou par logement. Les surfaces des logements neufs, en moyenne, évoluent assez peu pour les trois typologies principales, l'individuel pur, l'individuel groupé et le collectif, qui apparaissent plutôt stables dans la période 1998-2007 :

- 140 m² en individuel pur
- 102 m² en individuel groupé ;
- 75 m² en collectif.

Ces valeurs, supérieures à celles du stock, contribuent à l'augmentation des surfaces habitables par personne, bien que la surface du logement neuf en immeuble collectif apparaisse élevée au vu de la faible variation de la surface moyenne des logements collectifs, entre 65 et 66 m².

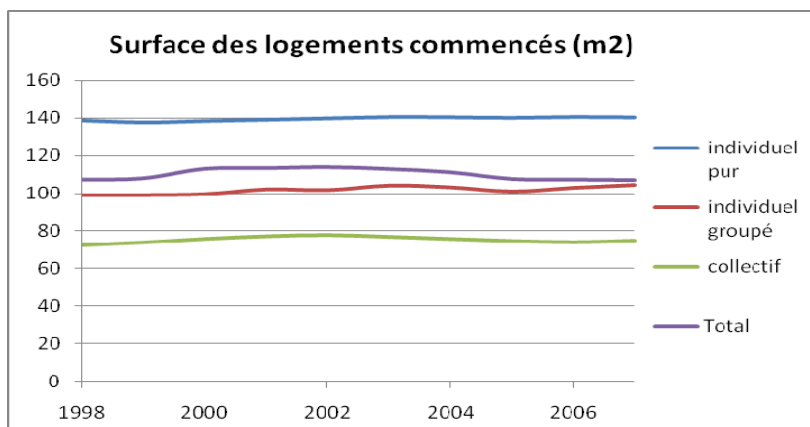


Figure 18. Surface des logements neufs en fonction de la date de mise en chantier

D'après : Ministère de l'Équipement des Transports et du Logement - DAEI-SES : SITADEL

Les tendances observables en surfaces habitables peuvent être prolongées sur la base des hypothèses suivantes :

- Une surface moyenne des logements du stock constante (sans subdivision ou fusion notable des logements existants) ;
- Une surface des maisons individuelles croissant légèrement, pour atteindre la valeur moyenne de 113 m² en 2050 (considérant que 60% des effectifs 2050 existent déjà à une surface de 108 m², et que les 40% restant ont une surface stabilisée à 120 m²) ;
- Une surface moyenne des logements collectifs stable à 65 m² ;
- Une part de maisons individuelles (neuf ou stock) stable à 56,6% ;
- Une taille moyenne des ménages correspondant au scénario « B », soit 2,08 en 2030, prolongée à 2,01 en 2050 et différenciée selon le rapport de 1,24 entre la maison individuelle et le logement collectif (rapport assez stable observé entre 1984 et 2002).

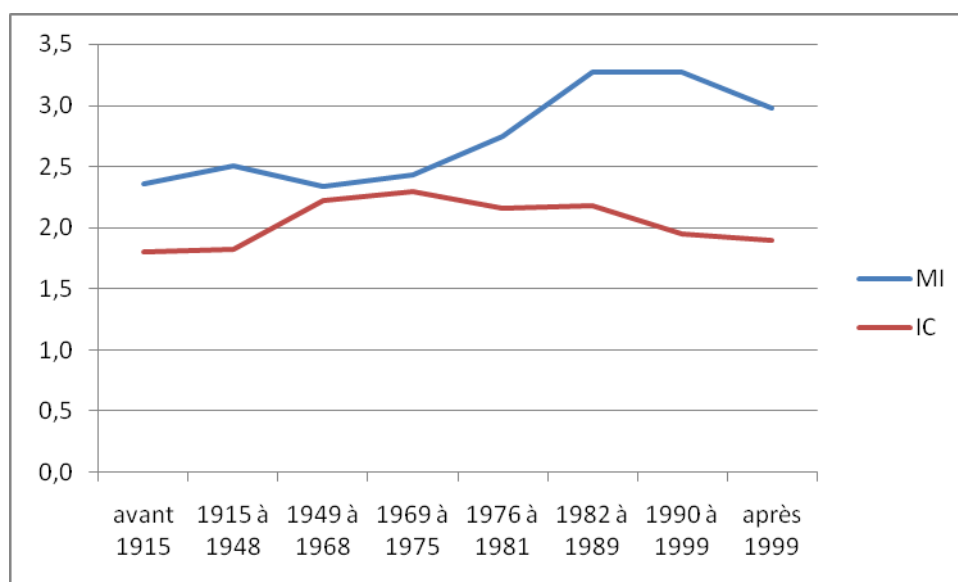


Figure 19. Nombre de personnes par logement en fonction de la date de construction
Données 2005. MI : maison individuelle ; IC : logement en immeuble collectif

Il est difficile de tenir compte de la diversité des situations de peuplement, notamment dans la maison individuelle, selon l'âge de la construction : pour la catégorie des maisons individuelles récentes (moins de 20 ans), la taille de ménage est de 3,2 personnes en moyenne, alors que pour les pavillons plus anciens, les valeurs oscillent autour de 2,5 personnes par logement, ce qui traduit un vieillissement des occupants, majoritairement retraités sans enfants. L'effet de renouvellement générationnel pourrait être mieux étudié, pour apprécier l'avenir du périurbain face aux perspectives démographiques dans lesquelles la part des personnes âgées croît fortement d'ici à 2050.

Dans les conditions retenues, on peut projeter les tailles de ménages selon le type de logement en 2050, ainsi que les surfaces habitables qui atteindraient, en 2050, 50 m² par personne dans l'individuel et plus de 35 m² en collectif. Il convient de préciser que la situation du logement individuel dépend assez peu des hypothèses de la construction neuve. En revanche, si la part du logement collectif devenait prépondérante, ce parc accueillerait des ménages dont la taille se rapprocherait de la moyenne, pour une surface des logements plus grande, sur la base d'une surface habitable par personne qui suivrait la progression tendancielle ainsi dessinée.

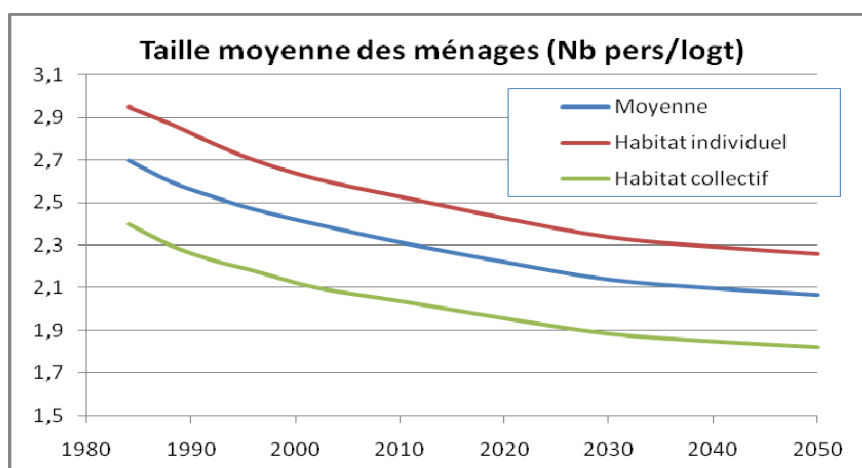


Figure 20. Evolution prospective de la taille moyenne des ménages

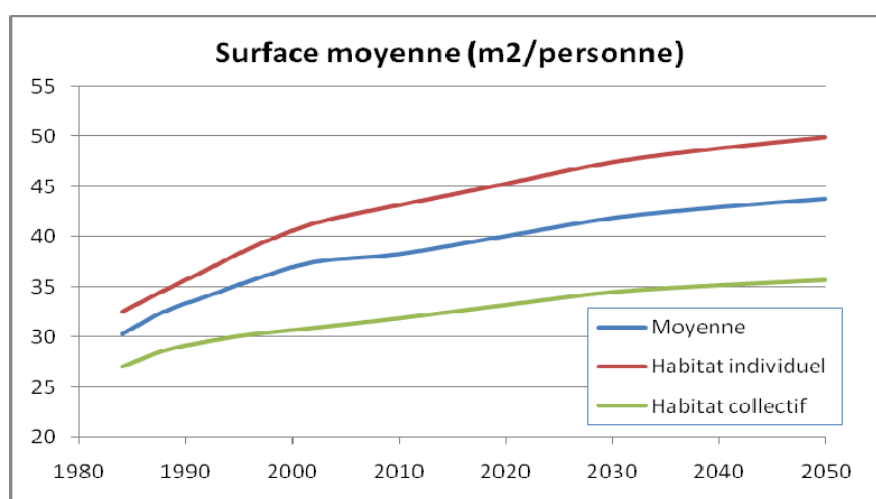


Figure 21. Evolution prospective de la surface moyenne habitable par personne

2.2.2.5 Affectation des surfaces à construire

L'estimation du nombre de logements neufs à construire, fondée sur le nombre supplémentaire de ménages entrant dans le parc augmentée des sorties, doit être complétée par une affectation des surfaces selon la typologie retenue (MI maisons individuelles et IC immeubles collectifs). La clé de répartition MI/IC est actionnée manuellement (par exemple pour suivre le tendancier), ou couplée avec l'évolution du nombre de familles avec enfants, qui est la cible principale de la maison individuelle. Pour cette raison, la taille de la maison individuelle est stabilisée à 120 m², qui est la surface intermédiaire entre l'individuel pur (140 m²) et l'individuel groupé (proche de 100 m²), selon la tendance que l'on observe depuis une décennie. La population logée dans ces maisons individuelles est estimée, afin d'affecter le solde d'augmentation de population en logements en immeubles collectifs. Dans le but de permettre différentes hypothèses sur la part de maison individuelle en construction neuve, il convient de ne pas figer à priori la taille des logements en immeuble collectif, qui pourraient évoluer vers des grands logements. La surface de ces logements sera estimée à partir de la taille du ménage et de l'évolution de la surface habitable par personne.

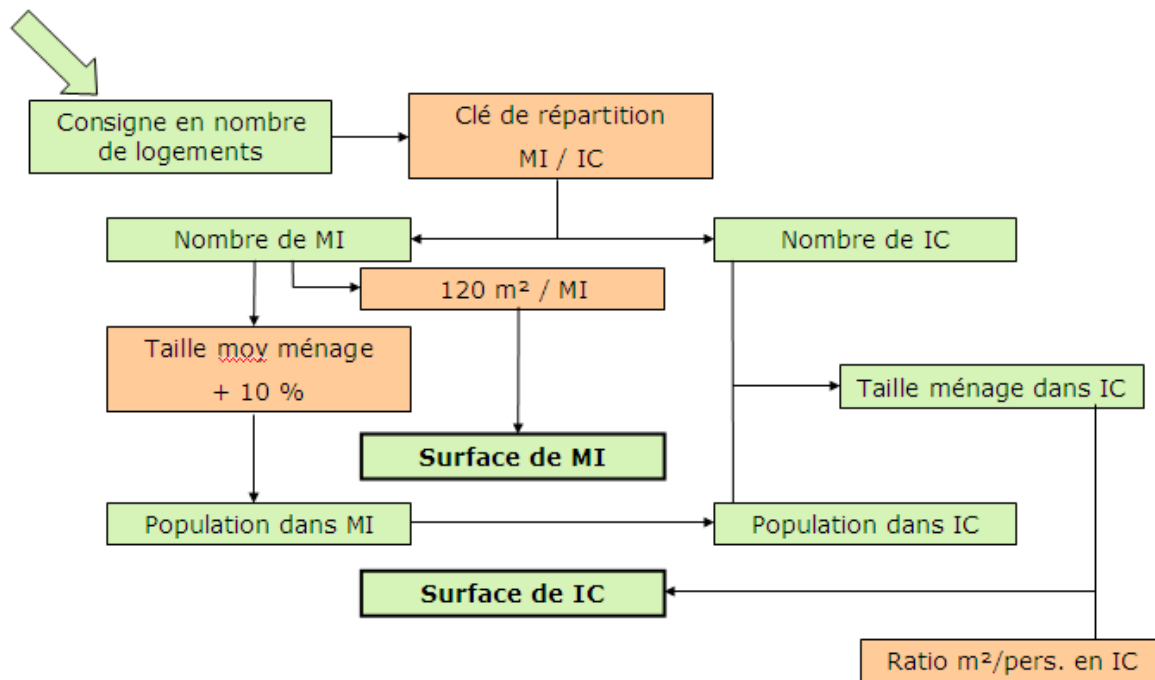


Figure 22. Organigramme du modèle prospectif de parc

2.2.2.6 La localisation de la construction neuve

La construction de logements collectifs n'est plus cantonnée aux grandes unités urbaines et se développe également dans les communes rurales. Mais l'étalement urbain sous forme de logements individuels diffus se poursuit dans les régions où la construction est la plus dynamique. Un tiers des logements sont construits dans des communes rurales en raison du faible coût du foncier, en grande partie sous forme de maisons individuelles.

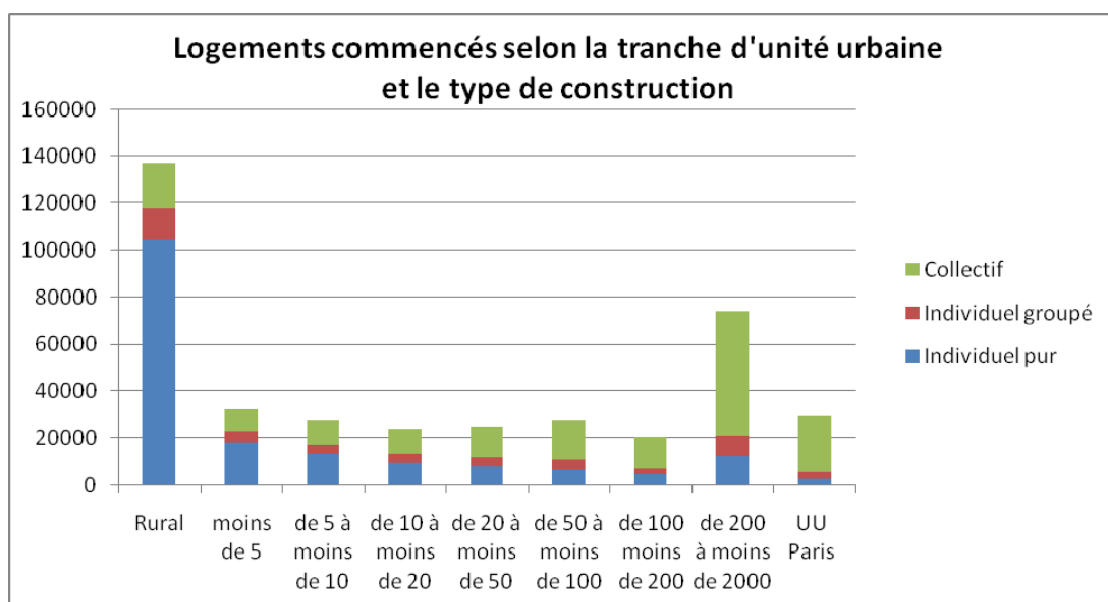


Figure 23. Répartition de la construction neuve selon la taille de l'unité urbaine

Tranche d'unité urbaine en milliers d'habitants. Tous logements, moyenne 2005-2007

Source : SOeS / SITADEL

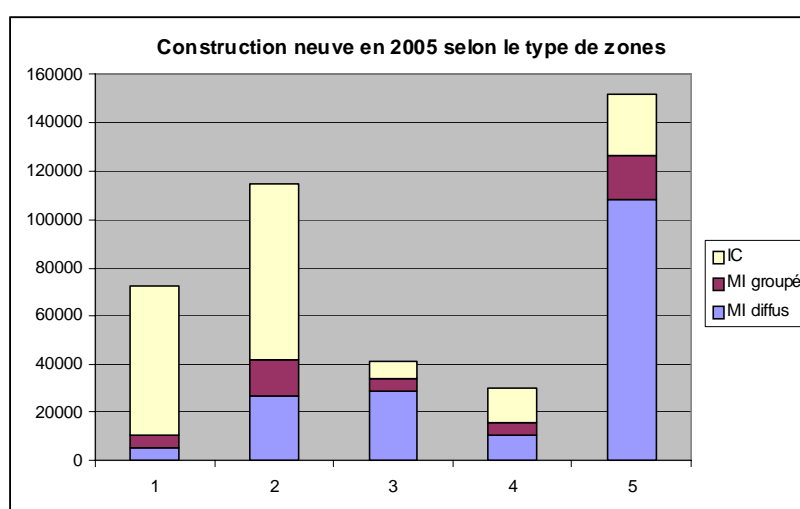


Figure 24. Répartition de la construction neuve (2005) selon la zone de l'aire urbaine

D'après : UNCM, *Bilan et perspectives du marché et questions d'actualité à début 2006*.

Zone 1 : Aire urbaine (unités de plus de 30.000 hab, ville centre) ;

Zone 2 : Aire urbaine, périphérie ;

Zone 3 : Rurbain, communes non urbaines dont plus de 40% des résidents actifs travaillent en zones 1 ou 2 ;

Zone 4 : Agglomérations secondaires (entre 2.500 et 30.000 habitants)

Zone 5 : Rural.

Le poids du parc situé dans les communes rurales, se renforce : 23,8 % des résidences principales y sont désormais implantées contre 23,0 % en 1998. En moyenne sur la période 1996-2006, seules les banlieues voient leur population augmenter à 100% en raison de leur solde naturel. La croissance des villes centres est modérée par un léger mouvement migratoire vers d'autres zones, tandis que le périurbain et le rural connaissent un solde migratoire positif important, venant plus que largement compenser la décroissance naturelle de la population dans le rural.

Tableau 28. Evolution de la localisation du parc de logements, en %

| Localisation en métropole | 1985 | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2006 |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Communes rurales | 22,9 | 22,9 | 22,9 | 23,1 | 23,6 | 23,8 |
| Unités urbaines de moins de 100 000 habitants | 29,8 | 30,0 | 30,1 | 30,2 | 30,1 | 30,1 |
| Unités urbaines de 100 000 habitants et plus | 29,3 | 29,4 | 29,7 | 29,8 | 29,7 | 29,6 |
| Agglomération parisienne | 18,0 | 17,7 | 17,3 | 16,9 | 16,6 | 16,5 |
| Ensemble | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |

Source : Compte du logement 2006

Champ : Ensemble des résidences principales, France métropolitaine

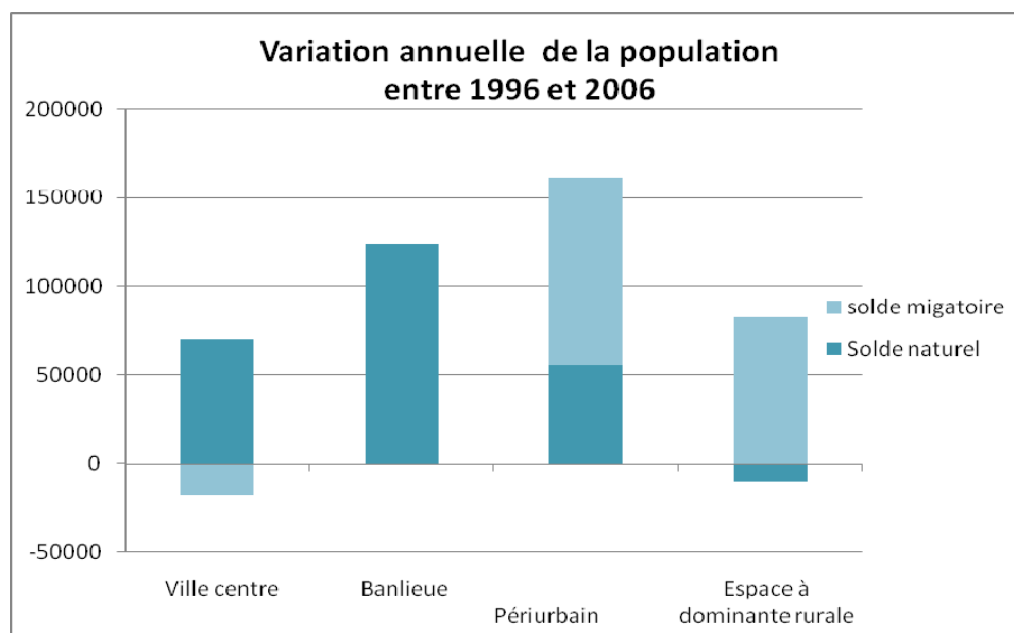


Figure 25. Variation annuelle de la population pour quatre types de territoire

2.2.2.7 *Les taux de sortie, de logements vacants et de construction neuve doivent être mieux appréhendés.*

Le modèle de dynamique du parc doit permettre de décrire l'évolution des différents segments, non seulement en raison de la région, mais aussi selon la typologie, la date de construction et la localisation dans les différentes zones des aires urbaines. Le taux de sortie, au départ uniforme, essentiellement basé sur la rapport (destructions) / (stock RP + vacants), soit 0,12% en moyenne métropole dans la période récente, dépend en réalité des dynamiques urbaines que nous chercherons à décrire à l'horizon 2050. Il conviendra de le discrétiser, en fonction de la période de construction, de la typologie MI/IC et du type de commune.

Pour les logements neufs, le nombre de logements déclarés et commencés de 1994 à 2004 est donnée par commune dans la base SITADEL. Les variables connues sont la typologie de logement (MI/IC) ainsi que la surface des logements construits (SHON). Il conviendrait d'enrichir la base de données, par :

- la typologie architecturale par un classement en quatre types de maisons individuelles (longère, R+1 isolée, R+1 mitoyenne, maison de ville) et deux types d'immeubles collectifs, selon le nombre d'étages ;
- les surfaces habitables (Slogt ou S/personne) par typologie ;
- les statuts d'occupation.

Une étude paramétrique pourrait être établie sur deux fonctions possibles pour les 2 classes en immeuble collectif :

- le seuil de passage entre les deux types de chauffage central, collectif ou individuel (CCC/CCI) ;
- l'effet de contiguïté verticale et horizontale (valeur Surface enveloppe / Shabitable).

2.3 Tâche B2 : Analyse énergétique et morphologique du parc de logements.

2.3.1 Le contexte réglementaire et technologique

2.3.1.1 *La construction neuve et le niveau BBC (bâtiment basse consommation)*

Les travaux du Grenelle de l'environnement ont accéléré le rythme et les exigences des différentes étapes de la réglementation dans le secteur du bâtiment, pour lequel les actions sont le mieux identifiées. En particulier, le projet de loi relatif à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement (PLG1) fixe deux dates pour les logements neufs :

- 2012 : généralisation des logements neufs à basse consommation (niveau dénommé BBC, à 50 kWhEP/m² SHON, kilowattheures d'énergie primaire par mètre carré de surface hors œuvre nette) ;
- 2020 : pour toutes les constructions neuves, la consommation d'énergie primaire doit être inférieure à la quantité d'énergie renouvelable produite dans ces constructions et notamment le bois-énergie (niveau dénommé BEPOS, bâtiment à énergie positive).

Pour la construction neuve, nous considérons que le niveau BBC s'applique de façon constante à 2050, en ce qui concerne les exigences d'isolation du bâti et les déperditions par renouvellement d'air (qui s'exprimeront par les besoins de chauffage en énergie utile).

Les systèmes énergétiques évoluent vers des rendements plus élevés, notamment pour les pompes à chaleur électriques, qui se généraliseraient dans le marché de l'électricité, dès 2012, par disparition des systèmes à effet Joule.

La cogénération apparaîtrait dans l'immeuble collectif (avec équipements de chauffage central collectif, CCC) dès 2010 pour le gaz et en 2015-2020 pour le bois. La microcogénération gaz pourrait s'introduire en maison individuelle dès 2010-2015. Cela affecterait les rendements de génération de chaleur, qui décroîtraient dans ce cas, au profit d'une production décentralisée d'électricité.

Tableau 29. Rendements de génération des systèmes dans le neuf (2005-2050)

| Rendements moyens NEUF | 2005- 2010 | 2010- 2015 | 2015- 2020 | 2020- 2025 | 2025- 2030 | 2030- 2050 |
|---------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Bois MI CCI Chauffage | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,75 |
| ECS | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 |
| Efficacité élec | - | - | - | - | - | - |
| Bois IC CCC Chauffage | 0,75 | 0,75 | 0,7125 | 0,675 | 0,6375 | 0,6 |
| ECS | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 |
| Efficacité élec | 0 | 0 | 0,0375 | 0,075 | 0,1125 | 0,15 |
| Gaz MI CCI Chauffage | 0,95 | 0,9125 | 0,925 | 1,05 | 0,85 | 0,7 |
| ECS | 0,85 | 0,8125 | 0,775 | 0,85 | 0,7 | 0,55 |
| Efficacité élec | 0 | 0,075 | 0,225 | 0,15 | 0,2625 | 0,3375 |
| Gaz IC CCC Chauffage | 0,9525 | 0,9625 | 0,9375 | 0,9 | 0,7 | 0,7 |
| ECS | 0,89 | 0,85 | 0,7625 | 0,725 | 0,5875 | 0,5875 |
| Efficacité élec | 0,015 | 0,075 | 0,1875 | 0,225 | 0,3375 | 0,3375 |
| PAC él. MI CCI Chauffage | 1,9* | 3,27 | 4,125 | 4,35 | 4,49 | 4,625 |
| ECS | 1,2* | 1,95* | 2,25 | 2,25 | 3 | 3 |
| Efficacité élec | - | - | - | - | - | - |
| PAC él. IC CCC Chauffage | 1,12* | 2,175 | 3,86 | 4,16 | 4,28 | 4,4 |
| ECS | 1* | 1,7* | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Efficacité élec | - | - | - | - | - | - |

(*) En 2005-2010, la part de l'effet Joule reste importante en chauffage, et jusqu'en 2015 pour la production d'ECS.

(Source : Etude CLIP, Edf, Gdf-Suez, 2009)

2.3.1.2 Les objectifs de réhabilitation du parc existant

L'objectif du PLG1 pour le parc des bâtiments existants est de réduire les consommations d'énergie d'au moins 38 % d'ici à 2020. Une des mesures envisagées est de cibler en priorité les 800.000 logements sociaux dont la consommation annuelle d'énergie est supérieure à 230 kilowattheures d'énergie primaire par mètre carré pour les ramener à des valeurs inférieures à 150 kWhEP/m², avant 2020. Pour le parc privé, l'atteinte de l'objectif supposerait une rénovation complète de 400.000 logements chaque année à compter de 2013.

De la même manière que pour la construction neuve, les rendements des systèmes énergétiques de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire seront croissants entre 2005 et 2015, sauf dans le cas de la cogénération, qui pourrait dégrader les rendements de production de chaleur, compte tenu de la part de combustible (bois ou gaz) contribuant à la production d'électricité.

Tableau 30. Rendements de génération des systèmes en réhabilitation (2005-2050)

| Rendements moyens REHABILITATION | 2005- 2010 | 2010- 2015 | 2015- 2020 | 2020- 2025 | 2025- 2030 | 2030- 2050 |
|-------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Bois MI CCI Chauffage | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,75 |
| ECS | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 |
| Efficacité élec | - | - | - | - | - | - |
| Bois IC CCC Chauffage | 0,75 | 0,75 | 0,71 | 0,68 | 0,64 | 0,60 |
| ECS | 0,7 | 0,70 | 0,70 | 0,70 | 0,70 | 0,70 |
| Efficacité élec | 0 | 0,00 | 0,04 | 0,08 | 0,11 | 0,15 |
| Gaz MI CCI Chauffage | 0,9 | 0,86 | 0,79 | 0,75 | 0,68 | 0,60 |
| ECS | 0,85 | 0,81 | 0,74 | 0,70 | 0,63 | 0,55 |
| Efficacité élec | 0 | 0,04 | 0,11 | 0,15 | 0,23 | 0,30 |
| Gaz IC CCI Chauffage | 0,9 | 0,86 | 0,79 | 0,75 | 0,68 | 0,53 |
| ECS | 0,85 | 0,81 | 0,74 | 0,70 | 0,63 | 0,48 |
| Efficacité élec | 0 | 0,04 | 0,11 | 0,15 | 0,23 | 0,38 |
| Gaz IC CCC Chauffage | 0,9 | 0,83 | 0,64 | 0,53 | 0,49 | 0,45 |
| ECS | 0,9 | 0,81 | 0,60 | 0,48 | 0,44 | 0,40 |
| Efficacité élec | 0 | 0,08 | 0,26 | 0,38 | 0,41 | 0,45 |
| PAC él. MI CCI Chauffage | 3,1 | 3,60 | 4,08 | 4,36 | 4,47 | 4,58 |
| PAC él. IC CCI Chauffage | 3 | 3,5 | 4 | 4,3 | 4,4 | 4,5 |
| PAC él. IC CCC Chauffage | | 2,5 | 2,9 | 3,2 | 3,4 | 3,5 |

2.3.1.3 Le bâtiment à énergie positive et la production du solaire photovoltaïque

Dans la perspective du bâtiment à énergie positive dès 2020, il convient de connaître la productivité du solaire photovoltaïque, lorsque cette solution de compensation sera choisie. Elle est supposée croissante entre 2010 et 2050, grâce aux gains de rendement obtenus ou projetés par la filière : l'exercice de prospective de l'association européenne des industriels du secteur, l'EPIA⁹ indique que le PV se sera imposé avant 2030 en tant que source d'électricité significative dans un marché en croissance continue et à taux élevé. En se fondant sur cette étude, une croissance régulière de la productivité annuelle des panneaux peut être dressée à l'horizon 2050.

Tableau 31. Evolution des productivités PV en énergie finale pour les trois grandes zones climatiques.

| (kWh/m ² /an) | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
|--------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Ppv H1 | 115,20 | 124,80 | 134,40 | 144,00 |
| Ppv H2 | 127,2 | 137,8 | 148,4 | 159 |
| Ppv H3 | 154,8 | 167,7 | 180,6 | 193,5 |

Panneaux (sud, 30°), valeurs sensiblement constantes pour les inclinaisons comprises entre 17° et 50°.

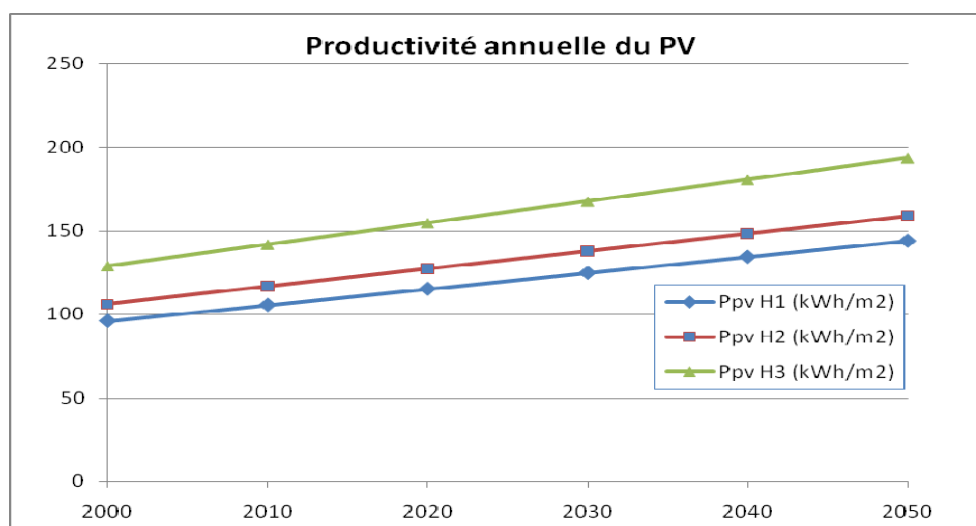


Figure 26. Projection de la productivité annuelle du photovoltaïque à 2050, en kWh énergie finale par mètre carré de panneau, pour les trois zones climatiques.

⁹ Cf. A Vision for Photovoltaic Technology, report du Photovoltaic Technology Research Advisory Council (PV-TRAC), Communauté européenne, 2005.

2.3.2 Les consommations énergétiques de chauffage

2.3.2.1 Les consommations de chauffage en 2005

En 2005, le chauffage représente toujours une part importante des consommations énergétiques du logement, à plus de 70%.

Tableau 32. Répartition des consommations énergétiques dans le parc de résidences principales en 2005 (en TWh, énergie finale)

| Postes \ Energies | Charbon | Fioul | GPL | Gaz | Elec. | Bois | EnR | Total | (en %) |
|-------------------|---------|--------|-------|--------|--------|-------|------|--------|--------|
| Chauffage | 3,00 | 93,20 | 9,10 | 151,8 | 34,8 | 87,90 | 3,90 | 383,70 | 70,4% |
| ECS | 0,4 | 11,40 | 2,30 | 19,8 | 19,5 | | 0,2 | 53,60 | 9,8% |
| Cuisson | | 0,00 | 9,80 | 12,8 | 11,1 | | | 33,70 | 6,2% |
| Elec. spécifique | | | | | 73,7 | | | 73,70 | 13,5% |
| Total | 3,40 | 104,60 | 21,20 | 184,40 | 139,10 | 87,90 | 4,10 | 544,70 | 100% |

Sources : DGEMP 2003 et calage EdF/GdF-Suez à partir des données CEREN

Les consommations unitaires de chauffage (en kWh/m²/an) sont dépendantes de la typologie (maison individuelle, immeuble collectif), et de la région climatique. La différence entre les deux typologies est d'importance variable selon la zone climatique : elle varie d'environ -20% pour les zones H1 et H2, et de -13% pour la zone H3, entre la maison individuelle et l'immeuble collectif.

Tableau 33. Valeurs moyennes de consommations de chauffage en 2005

| En kWh/m ² SHAB/an | Zone H1 | Zone H2 | Zone H3 | Moyenne |
|--------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Maison individuelle | 212 | 169 | 112 | 187 |
| Logement en immeuble collectif | 126 | 102 | 64 | 113 |
| Moyenne | 180 | 156 | 91 | 163 |

SHAB : surface habitable

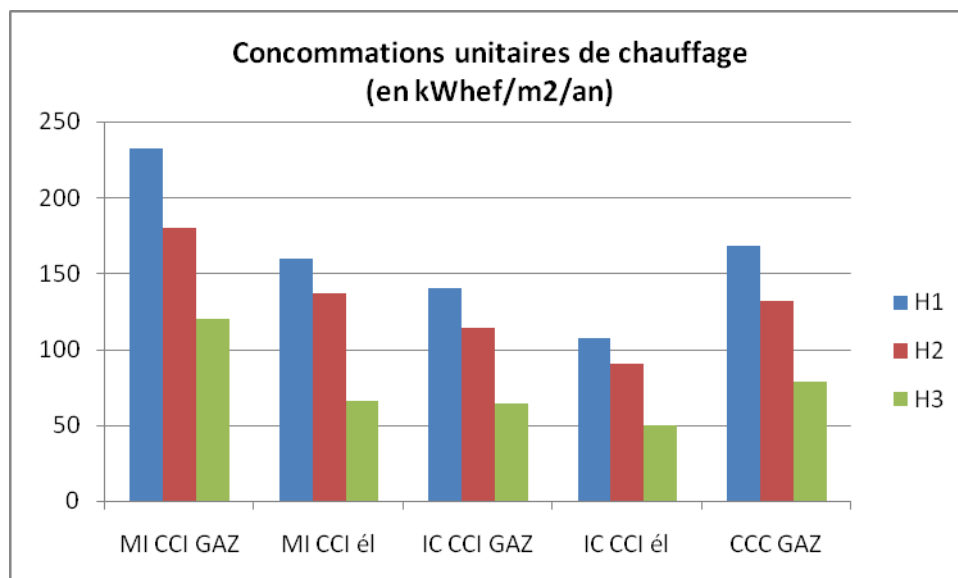


Figure 27. Consommations unitaires moyennes de chauffage en 2005 selon la zone climatique, la typologie, et l'équipement de chauffage

MI : maison individuelle ; IC : logement en immeuble collectif

CCI : chauffage central individuel ; CCC : chauffage central collectif

Le bois occupe une place importante dans les énergies de chauffage, de 20% en zone H1, à 28% en zone H2. L'importance des communes desservies par le gaz de réseau en zone H1 confère une place importante à cette énergie dans cette zone, à près de 35%, contre 25% en zone H2.

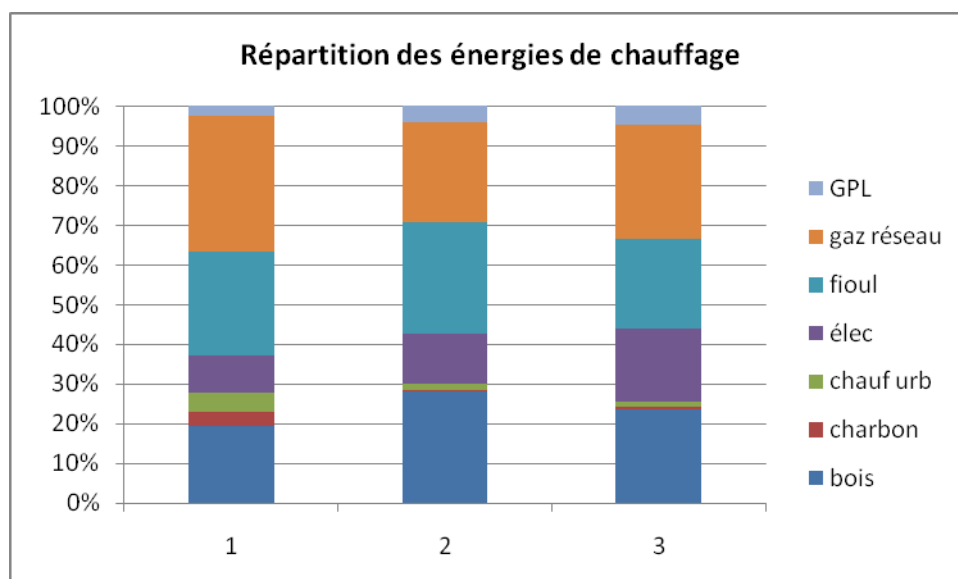


Figure 28. Répartitions des consommations énergétiques de chauffage en fonction de la zone climatique

1 : Zone H1, 2 : Zone H2 ; 3 : zone H3

2.3.2.2 Les perspectives de la construction neuve (2005-2050)

Les besoins de chauffage des deux typologies (maison individuelle et immeuble collectif) peuvent être estimés pour l'obtention du niveau BBC dès 2010 pour les trois zones climatiques, compte tenu des technologies disponibles. Ces besoins pourront être considérés constants jusqu'à 2050, l'amélioration des performances des systèmes énergétiques permettant alors d'obtenir de meilleurs résultats en énergie finale et en énergie primaire.

Tableau 34. Estimation des besoins et des consommations de chauffage du niveau BBC en 2010 et en 2050 (maison individuelle)

| Maison individuelle CCI | Besoins constants (énergie utile) kWh/m2/an (SHAB) | Rendements chauffage (°) | | Consommation (énergie finale) kWh/m2/an (SHAB) | |
|----------------------------|--|-----------------------------|--|--|--|
| | | 2010 / 2050 | | 2010 / 2050 | |
| H1 gaz | 33 | 0,82 / 1,46 | | 40,4 / 22,6 | |
| H1 PAC élec | 33 | 2,81 / 3,98 | | 11,7 / 8,3 | |
| H1 bois | 33 | 0,65 / 0,69 | | 51,2 / 48,0 | |
| H2 gaz | 22 | 0,82 / 1,46 | | 26,9 / 15,0 | |
| H2 PAC élec | 22 | 2,81 / 3,98 | | 7,8 / 5,5 | |
| H2 bois | 22 | 0,65 / 0,69 | | 34,1 / 32,0 | |
| H3 gaz | 15 | 0,82 / 1,46 | | 18,4 / 10,3 | |
| H3 PAC élec | 15 | 2,81 / 3,98 | | 5,3 / 3,8 | |
| H3 bois | 15 | 0,65 / 0,69 | | 23,3 / 21,8 | |

(°) Hors rendement de génération, on considère que le rendement total (distribution*émission*régulation / programmation) est de $0,92*0,95*0,95/0,97 = 0,86$ pour les systèmes de chauffage central individuel. La technologie gaz est supposée ici centrée sur la seule production de chaleur, évoluant progressivement de la chaudière à condensation vers la pompe à chaleur gaz (rendement de génération de 1,7 en 2050). Le COP de la PAC électrique en maison individuelle croît de 3,3 en 2010 à 4,6 en 2050.

Tableau 35. Estimation des besoins et des consommations de chauffage du niveau BBC en 2010 et en 2050 (immeuble collectif)

| Immeuble collectif CCC | Besoins constants (énergie utile) kWh/m ² /an (SHAB) | Rendements chauffage | Consommation |
|---------------------------|---|----------------------|---|
| | | (°) | (énergie finale) kWh/m ² /an (SHAB) |
| | | 2010 / 2050 | 2010 / 2050 |
| H1 gaz | 28 | 0,82 / 1,46 | 34,3 / 19,2 |
| H1 PAC élec | 28 | 1,87 / 3,78 | 15,0 / 7,4 |
| H1 bois | 28 | 0,65 / 0,69 | 43,4 / 40,7 |
| H2 gaz | 18 | 0,82 / 1,46 | 22,0 / 12,3 |
| H2 PAC élec | 18 | 1,87 / 3,78 | 9,6 / 4,8 |
| H2 bois | 18 | 0,65 / 0,69 | 27,9 / 26,2 |
| H3 gaz | 12 | 0,82 / 1,46 | 14,7 / 8,2 |
| H3 PAC élec | 12 | 1,87 / 3,78 | 6,4 / 3,2 |
| H3 bois | 12 | 0,65 / 0,69 | 18,6 / 17,4 |

(*) Les hypothèses ont été alignées sur le tableau précédent. Seule la PAC électrique a un rendement inférieur en immeuble collectif, sur la base d'un système AIR/AIR en 2010 (COP de 2,7), évoluant vers des systèmes plus performants en 2050 (COP de 4,4).

(°) On considère que 1 mètre carré de surface habitable correspond à 1,10 m² SHON en immeuble collectif.

Les différents postes de consommation considérés dans la réglementation (chauffage, production d'eau chaude sanitaire, ventilation, auxiliaires, éclairage) pourront décroître par amélioration des technologies, selon les deux tableaux suivants, qui décrivent la situation de départ (2010 par anticipation).

Les valeurs des besoins de chauffage ont été calées pour l'obtention du niveau BBC, qui est exprimé en énergie primaire et par mètre carré de SHON.

Tableau 36. Décomposition du niveau BBC, maison individuelle en 2010 (en kWhep/m2 SHON)

| Zone climatique (°) | Eclairage | VMC HygroB | Auxiliaires | ECS (*) | Chauffage | TOTAL |
|---------------------|-----------|------------|-------------|---------|-----------|-------|
| H1 | | | | | | |
| Gaz | 8 | 5 | 6 | 12 | 35,1 | 66,1 |
| PAC él. | 8 | 5 | 6 | 20 | 26,3 | 65,3 |
| Bois | 8 | 5 | 6 | 20 | 26,7 | 65,7 |
| H2 | | | | | | |
| Gaz | 7 | 4 | 5 | 11 | 23,4 | 50,4 |
| PAC él. | 7 | 4 | 5 | 16 | 17,6 | 49,6 |
| Bois | 7 | 4 | 5 | 16 | 17,8 | 49,8 |
| H3 | | | | | | |
| Gaz | 6 | 4 | 4 | 9 | 16,0 | 39,0 |
| PAC él. | 6 | 4 | 4 | 15 | 12,0 | 41,0 |
| Bois | 6 | 4 | 4 | 15 | 12,1 | 41,1 |

(°) En réalité, les zones climatiques « BBC » recouvrent partiellement les zones de la RT2005

(*) L'obtention du niveau BBC intègre une contribution du solaire thermique de 50% environ.

Tableau 37. Décomposition du niveau BBC, immeuble collectif avec chauffage central collectif (CCC) en 2010 (en kWhep/m2 SHON)

| Zone climatique | Eclairage | VMC HygroB | Auxiliaires | ECS (*) | Chauffage | TOTAL |
|-----------------|-----------|------------|-------------|---------|-----------|-------|
| H1 | | | | | | |
| Gaz | 6 | 3,5 | 2 | 22 | 31,2 | 64,7 |
| PAC él. | 6 | 3,5 | 2 | 21 | 35,1 | 67,6 |
| Bois | 6 | 3,5 | 2 | 28 | 23,7 | 63,2 |
| H2 | | | | | | |
| Gaz | 5 | 3,5 | 2 | 20 | 20,0 | 50,5 |
| PAC él. | 5 | 3,5 | 2 | 18 | 22,6 | 51,1 |
| Bois | 5 | 3,5 | 2 | 24 | 15,2 | 49,7 |
| H3 | | | | | | |
| Gaz | 5 | 3,5 | 2 | 16 | 13,4 | 39,9 |
| PAC él. | 5 | 3,5 | 2 | 15 | 15,0 | 40,5 |
| Bois | 5 | 3,5 | 2 | 20 | 10,1 | 40,6 |

(*) L'obtention du niveau BBC intègre une contribution du solaire thermique de 50% environ.

Les scénarios, présentés en partie 3, indiqueront les répartitions des effectifs par énergie, selon les hypothèses de parts affectées à chaque énergie.

2.3.2.3 La réhabilitation du parc existant, de construction antérieure à 2005

L'identification des gestes de réhabilitation (bâti et système) concerne le parc construit avant 2005. On peut estimer les besoins (ou l'énergie utile) conventionnels unitaires de chauffage (établis par la méthode de la réglementation thermique de 1989, TH89), caractérisant l'état théorique du bâti et des équipements de ventilation, à une valeur moyenne de 227 kWh/m² SHAB/an pour les maisons individuelles et de 163 kWh/m² SHAB/an pour les logements en immeubles collectifs, qui se répartissent de façon assez contrastée selon la période de construction et la zone climatique.

Tableau 38. Besoins unitaires conventionnels (kWh/m² SHAB/an) de chauffage en 2005

| Date de construction | Av. 1948 | 1949-1975 | 1976-1989 | 1990-1999 | Moyenne |
|----------------------|----------|-----------|-----------|-----------|---------|
| H1 MI | 307 | 280 | 192 | 103 | 260 |
| H1 IC | 222 | 200 | 121 | 64 | 175 |
| H2 MI | 250 | 220 | 150 | 81 | 200 |
| H2 IC | 175 | 175 | 103 | 48 | 165 |
| H3 MI | 170 | 170 | 130 | 55 | 140 |
| H3 IC | 115 | 115 | 80 | 35 | 100 |
| Moyenne MI | 227 | | | | |
| Moyenne IC | 163 | | | | |

(MI : maison individuelle, IC : immeuble collectif)

Source : Traisnel, 2001, Cahier du CLIP n° 13.

Pour réduire de façon notable les besoins de chauffage, il convient de distinguer les modes d'intervention selon la typologie du parc. Il est par exemple utile de distinguer le parc qui supporterait une réhabilitation lourde, avec isolation thermique par l'extérieur (ITE), (notamment pour le parc social 1949-1975), du parc pour lequel des gestes plus légers seraient basés sur des techniques actuelles largement fondées sur l'isolation thermique par l'intérieur (ITI). Cette seconde solution s'imposerait lorsque les critères architecturaux interdisent le recours à l'ITE (maçonneries appareillées, modénature architecturale particulière, etc.), et éventuellement lorsque les règles d'urbanisme écarteraient le traitement des pignons et des façades sur rue (en cas d'empiètement sur le domaine public), mais ici nous considérerons que ces contraintes sont levées.

Une hypothèse simplificatrice, permettant de développer des scénarios contrastés entre énergies de substitution, veut que l'application des règles de réhabilitation des logements, selon leur typologie architecturale, soit indépendante du scénario énergétique. La performance du bâti demeure privilégiée, jusqu'à la « saturation » possible de cette première voie de MDE (maîtrise de la demande en énergie dans le bâtiment).

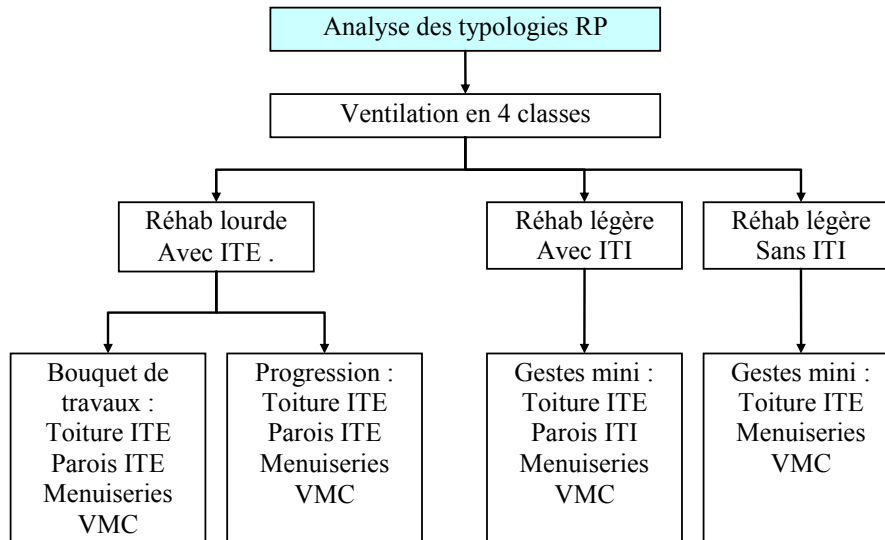


Figure 29. Arbre de décision pour les gestes « bâti »

Il serait possible d'identifier les bâtiments pour lesquels une réhabilitation lourde avec ITE serait réalisée, sous forme de bouquet de travaux complet, par opposition au cas d'une répartition des gestes au rythme de la durée de vie des parties d'ouvrages. Cette seconde catégorie pourrait répondre à certains statuts d'occupation, par exemple l'immeuble collectif en copropriété. Mais à terme, l'impact cumulé est le même : seule la vitesse de réalisation et la répartition des coûts dans le temps changent.

En réhabilitation légère, on considère qu'un ensemble de gestes est toujours faisable (gestes « mini ») :

- L'isolation de la toiture (ITE toits terrasses ou ITI charpente/couverture)
- La pose de menuiseries performantes
- L'installation d'une VMR ou d'une VMC (ventilation mécanique répartie ou contrôlée), qui serait associée à la rénovation des menuiseries, afin de garantir la nécessaire aération des locaux en relais de la ventilation naturelle.

Dans cette situation, la décision du rejet ou non de l'isolation thermique par l'intérieur (ITI) pourrait dépendre de la zone climatique, H1, H2, H3, en considérant la question du confort d'été, éventuellement de la situation urbaine (rejet dans le cas d'une charge foncière élevée, en zone centre). Mais cela risque de dégrader fortement le facteur moyen de réduction des besoins de chauffage. Pour cette raison, nous introduisons une isolation thermique par l'intérieur lorsque l'ITE est impossible, en considérant qu'une intégration de matériaux à changement de phase compenserait la perte d'inertie thermique, et permettrait de réduire les épaisseurs à mettre en œuvre.

Pour représenter les deux familles, la première (réhabilitation lourde) pouvant toucher en priorité la construction intensive, la seconde que nous associerons à la construction ancienne, faisant appel à la maçonnerie appareillée (briques, moellons, pierre de taille), les coefficients de réduction des besoins sont différenciés selon la période de construction.

Tableau 39. Différenciation des taux de réduction des besoins de chauffage en fonction de la date de construction.

| Date de construction | Av. 1948 | 1949-1975 | 1976-1989 | 1990-1999 |
|-------------------------------|----------|-----------|-----------|-----------|
| Taux de réduction des besoins | - 50% | - 70% | - 60% | - 50% |

Ces taux estimés sur des exemples de bâtiments, donnent les besoins après réhabilitation, la moyenne de gains sur les besoins étant d'environ 60%, sur les besoins conventionnels.

En réalité, les consommations de départ sont inférieures à leur estimation à partir des besoins conventionnels, en raison des travaux de réhabilitation partiels déjà effectués, ainsi que des mesures de limitation des factures de chauffage, par réduction des niveaux de confort.

Tableau 40. Besoins unitaires, en kWh/m² SHAB, après réhabilitation du bâti

| Date de construction | Av. 1948 | 1949-1975 | 1976-1989 | 1990-1999 | Moyenne |
|----------------------|----------|-----------|-----------|-----------|---------|
| H1 MI | 140 | 75 | 72 | 51 | 100 |
| H1 IC | 100 | 55 | 50 | 30 | 75 |
| H2 MI | 110 | 60 | 60 | 40 | 80 |
| H2 IC | 75 | 40 | 35 | 25 | 50 |
| H3 MI | 90 | 45 | 42 | 30 | 60 |
| H3 IC | 55 | 22 | 20 | 17 | 35 |
| Moyenne MI | | | | 89 | |
| Moyenne IC | | | | 65 | |

(MI : maison individuelle, IC : immeuble collectif)

Les besoins estimés après réhabilitation permettent néanmoins de déterminer les consommations après renouvellement des systèmes, les rendements étant supposés en croissance linéaire entre 2010 et 2050.

Tableau 41. Consommations unitaires de chauffage des logements réhabilités en énergie finale en 2010 (en kWh/m²SHAB/an).

| Zone climatique | H1 | H2 | H3 |
|---------------------|-----|-----|----|
| Typologie/chauffage | | | |
| MI CCI PAC | 39 | 32 | 24 |
| MI EJ ELEC | 98 | 88 | 56 |
| MI CCI GAZ | 130 | 105 | 79 |
| MI CCI BOIS | 163 | 131 | 98 |
| MI AIC Bois + élec. | 132 | 118 | 75 |
| IC CCI PAC | 29 | 21 | 12 |
| IC CCI ELEC | 72 | 53 | 30 |
| IC CCI GAZ | 73 | 56 | 35 |
| CCC PAC | 30 | 23 | 15 |
| CCC GAZ | 84 | 65 | 41 |
| CCC CHU | 90 | 79 | 57 |
| CCC BOIS | 105 | 82 | 52 |

MI : maison individuelle, IC : immeuble collectif ;

AIC : appareil indépendant de chauffage ; CCI : chauffage central individuel ; CCC : chauffage central collectif ; CHU : chauffage urbain

2.3.3 Les consommations énergétiques de production d'eau chaude sanitaire

2.3.3.1 L'évolution des consommations énergétiques depuis 1985

Les consommations totales d'eau chaude sanitaire ont augmenté plus rapidement que la population au cours des décennies précédentes : de 40,7 TWh en 1985, pour 55 millions d'habitants, elles ont atteint 47,6 TWh pour 58,8 millions d'habitants en 2000. Selon les données de la DGEMP, un pic de consommation apparaît en 2000, suivi d'une légère décroissance des consommations totales, bien que le CEREN indique une consommation de 50,6 TWh en 2005, qui apparaît plus en continuité des consommations antérieures à 2000 (Figure 30).

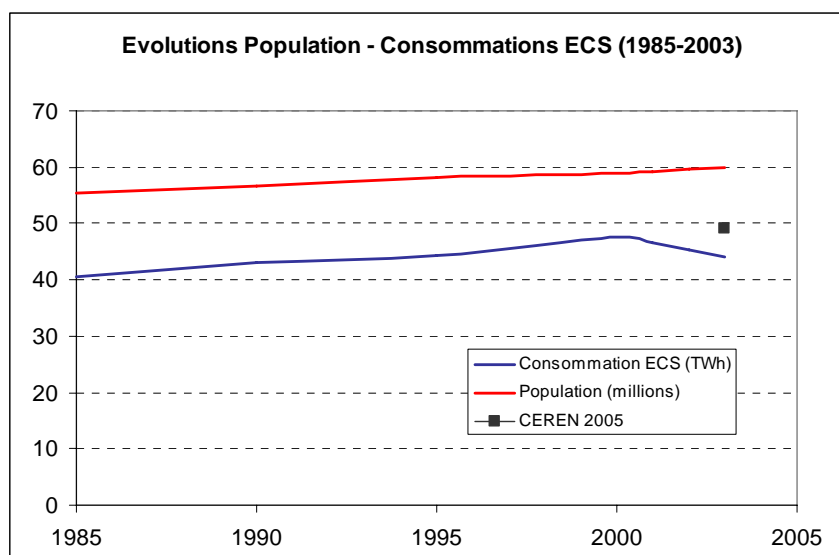


Figure 30. Evolutions comparées de la population et de la consommation d'énergie de production d'eau chaude sanitaire

Consommations ECS 1985-2003 : données DGEMP-Observatoire de l'énergie, 05/12/2005.

Quatre énergies dominent la production d'eau chaude sanitaire en 2003 : l'électricité (44%), le gaz de réseau (31%), le fioul (18%), et le GPL (6%).

Tableau 42. Consommations ECS par énergie

| Energie (TWh) | 1985 | 1990 | 2003 |
|---------------|-------|-------|-------|
| Gaz | 9,81 | 10,62 | 13,77 |
| Fioul | 15,12 | 13,95 | 8,14 |
| GPL | 3,82 | 3,82 | 2,55 |
| Electricité | 10,9 | 13,3 | 19,4 |
| Autres (°) | 1 | 1,4 | 0,3 |
| TOTAL | 40,64 | 43,09 | 44,16 |
| CO2 Mt | 7,58 | 7,59 | 6,44 |

(°) Calage sur les différentes données DGEMP-Observatoire de l'énergie (05/12/2005).

Le fioul décline lentement, bien que les données récentes de la DGEMP indiquent une chute plus rapide depuis 2000, qui peut être liée à l'augmentation des prix du combustible fossile : en conséquence, les émissions totales de CO2 sont en légère décroissance. La part grandissante de l'électricité, à faible contenu CO2 pour la production d'ECS (à 40 gCO2/kWh), est aussi un facteur favorable à cette diminution des émissions de CO2.

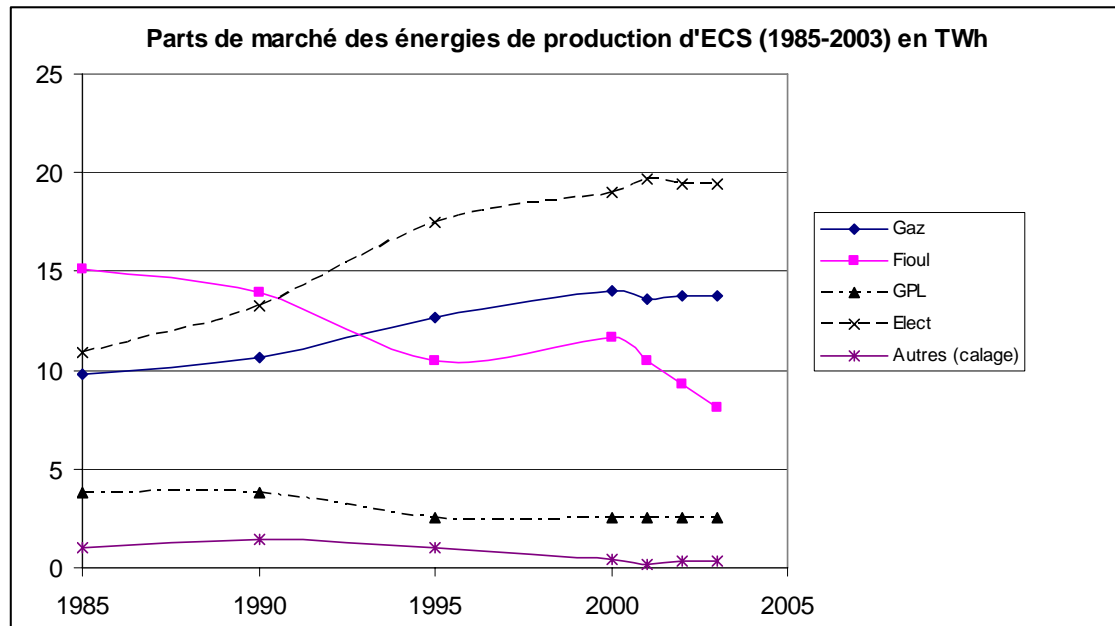


Figure 31. Evolution des parts de marché des énergies de production d'eau chaude sanitaire (1985-2003)

Consommations ECS 1985-2003 : données DGEMP-Observatoire de l'énergie, 05/12/2005.

2.3.3.2 Méthode d'évaluation prospective des besoins par personne

Les besoins d'eau chaude sanitaire (que l'on peut exprimer en énergie utile) sont supposés être affectés à la personne. Deux types de besoins doivent être distingués :

- les besoins théoriques basés sur une consommation conventionnelle d'eau chaude par personne et par jour, dépendant de la température de l'eau, donc de la saison et de la localisation ;
- les besoins réels, ou effectifs, qui représentent en réalité une consommation d'eau chaude que l'on constate inférieure à la norme, bien que la part de population équipée pour satisfaire les besoins théoriques approche 98%.

La méthode utilisée comporte trois étapes :

- l'estimation par le calcul conventionnel des besoins théoriques en énergie utile (kWh/an/pers.) selon la température de l'eau, dépendant de la zone climatique, estimation qui sera considérée comme une borne supérieure à l'évolution tendancielle des besoins par personne ;
- la définition d'un taux dit de satisfaction (besoins constatés/besoins théoriques) ;
- l'application de mesures d'économie de consommation d'eau sur la norme conventionnelle, par l'introduction progressive d'un taux de 30%.

L'écart constaté entre les besoins réellement satisfaits et la norme montre que les gestes d'économie d'eau peuvent être généralisés à l'horizon de 2050, mais sur la base d'un confort étendu à la totalité de la population.

L'évolution des besoins unitaires par personne sera dressée sur cette base, selon la double loi d'un passage à 100% de taux de satisfaction dès que celui-ci est atteint par extrapolation tendancielle, en introduisant simultanément un taux de réduction (d'économie d'eau) de 1 en 2010 à 0,7 en 2050.

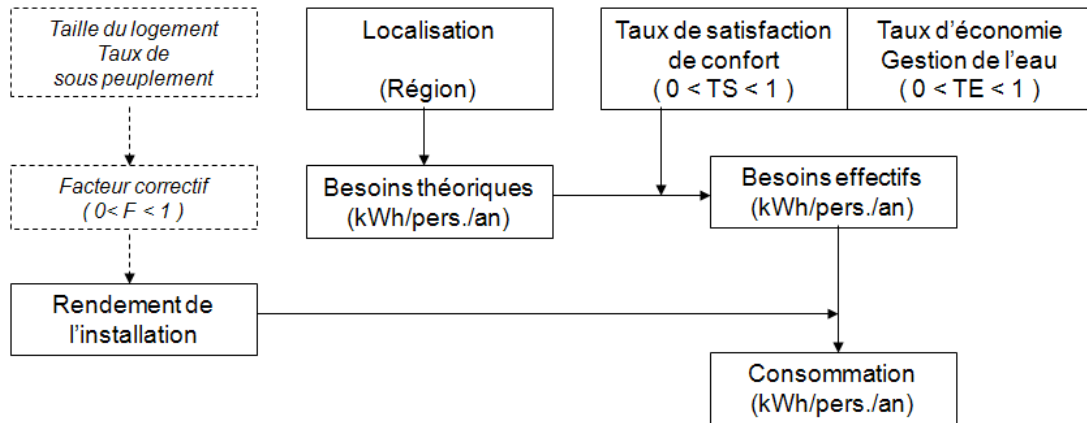


Figure 32. Procédure d'estimation des consommations unitaires d'énergie pour la production d'ECS

(A ce stade, la correction selon le taux de sous peuplement n'est pas prise en compte)

Les besoins théoriques Becs (en kWh) peuvent être calculés par la méthode 3CL, à partir de la température de moyenne de l'eau froide T_{ef} et de la surface habitable SH :

$$Becs = 1,163 * Q_{ecs} * (40 - T_{ef}) * 48 / 1000$$

Avec: $Q_{ecs} = 470,9 * \ln(SH) - 1075$

Pour des valeurs moyennes de $T_{ef} = 11,5^{\circ}\text{C}$, de $SH = 90 \text{ m}^2$ et de 37 mètres carrés par personne, les besoins théoriques peuvent être estimés à 680 kWh/personne.

Cette valeur moyenne peut-être différenciée selon les zones climatiques. Une estimation des consommations annuelles, sur des bases forfaitaires de besoins journaliers à 45 litres/personne, pour une consommation répartie sur 335 jours par an, et une température de l'eau chaude produite à 50° , permet de produire des besoins par grande zone climatique, proches des résultats de la méthode 3CL.

Tableau 43. Estimation des besoins en eau chaude sanitaire pour trois zones climatiques

| Zone climatique | Te ref | l/pers/jour | T ECS | Besoins (kWh/pers/an) |
|-----------------|--------|-------------|-------|-----------------------|
| H1 | 10,5 | 45 | 50 | 693 |
| H2 | 12 | 45 | 50 | 666 |
| H3 | 14,5 | 45 | 50 | 622 |

Nous retiendrons ces valeurs moyennes, et en particulier la moyenne nationale de 680 kWh/personne/an, bien qu'en réalité, comme l'exprime la méthode 3CL, les quantités d'eau et d'énergie consommées par personne dépendent de la taille du logement. L'AICVF indique les besoins annuels, que l'on peut exprimer par personne, sur la base de l'occupation (1 pièce = 1 personne). Les valeurs semblent correspondre, pour un usage de 335 jours /an, à une élévation de température de l'eau de 35°C .

Tableau 44. Estimation des besoins en eau chaude sanitaire selon la taille du logement

| Taille logement | l/j | kWh/an | kWh/pers/an |
|-----------------|-----|--------|-------------|
| Logement 1 P | 75 | 1020 | 1020 |
| Logement 2 P | 105 | 1420 | 710 |
| Logement 3 P | 150 | 1930 | 643 |
| Logement 4 P | 180 | 2440 | 610 |

D'après : Guide ECS AICVF (1991)

Pour évaluer les consommations d'énergie à partir de l'estimation des besoins, il conviendrait par conséquent de tenir compte du nombre de personnes occupant le logement, le rendement de l'installation pouvant être amélioré par la mutualisation des besoins. Par ailleurs, l'installation est en règle générale dimensionnée en fonction de la taille du logement (superficie en m² ou capacité d'accueil en nombre de personnes par logement), ce qui peut affecter le rendement de l'installation de production d'ECS (cf. notamment les rendements de stockage et de distribution), en cas de sous peuplement du logement. Un facteur correctif tenant compte de la taille du logement et du taux de sous peuplement pourrait être introduit, en distinguant pour le rendement de stockage :

- les systèmes accumulés (individuels en particulier) dont le rendement diminue avec le sous-peuplement ;
- les systèmes instantanés (ou micro-accumulés) dont le rendement est égal quelle que soit la quantité d'ECS fournie au premier ordre.

Il faut relever cependant que les pertes de stockage d'ECS sont récupérables pendant la saison de chauffage à condition que le stockage soit placé dans le volume chauffé (ce qui est souvent le cas avec les ballons électriques dans les appartements). En revanche pendant l'été, cette énergie perdue est susceptible de dégrader le confort d'été.

2.3.3.3 Estimation des rendements de production de l'ECS (analyse rétrospective)

La procédure d'estimation des besoins réels actuellement satisfaits suppose de connaître les rendements de production d'ECS :

$$R_{\text{tot}} = R_g \times R_d \times R_s$$

Avec R_{tot} : rendement total de production d'eau chaude sanitaire,

R_g : rendement de génération, dépendant de la performance du générateur et de l'énergie utilisée (ballon électrique, chaudière gaz, fioul, etc.).

R_d : rendement de distribution (0,9 dans le neuf, 0,8 dans l'existant)

R_s : rendement de stockage (0,9)

Sur la base de la méthode 3CL, on peut estimer les valeurs des rendements pour les différentes énergies sur la base des parts de marché et de la répartition des effectifs.

Tableau 45. Rendement total (Rtot)

| Type d'énergie ECS | 1985 | 1990 | 2000 |
|--------------------|------|------|------|
| Fioul | 0,43 | 0,44 | 0,45 |
| GPL | 0,49 | 0,49 | 0,5 |
| Gaz réseau | 0,44 | 0,44 | 0,48 |
| Chauffage urbain | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| Bois | 0,25 | - | - |
| Electricité | 0,67 | 0,67 | 0,68 |

A partir de ces valeurs de Rtot, on en déduit les besoins totaux Btot :

$$B_{tot} = \Sigma (C_i * R_{tot_i})$$

Avec C_i : consommation de l'énergie i

R_{tot_i} : rendement moyen pour l'énergie i

Le rendement moyen varierait ainsi de 0,50 en 1985, à 0,55 en 2000. Les besoins réels apparaissent ainsi assez éloignés des besoins théoriques de 680 kWh/pers.

Tableau 46. Estimation des rendements moyens de production d'ECS

| | 1985 | 1990 | 2000 |
|--|--------|--------|---------|
| Consommations totales (TWh) | 40,64 | 43,09 | 47,61 |
| Somme des besoins réels (TWh) | 20,49 | 22,43 | 26,37 |
| Population (en millions) | 55,30 | 56,62 | 58,8250 |
| Besoins réels (kWh/pers) | 370,55 | 396,16 | 448,26 |
| Rendement moyen (besoins/consommations) | 0,50 | 0,52 | 0,55 |

2.3.3.4 Taux de satisfaction des besoins en ECS et estimation projective des besoins à 2050

A partir de la double estimation des besoins théoriques moyens, et des besoins effectifs, on définit un taux de satisfaction moyen Tsm des besoins en ECS :

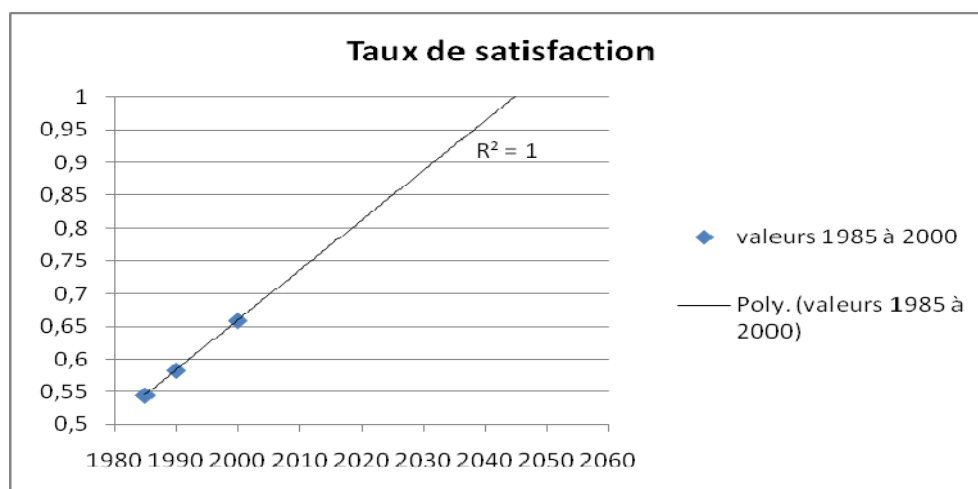
$$T_{sm} = \text{Besoins réels} / \text{Besoins théoriques}$$

Ce taux progresse légèrement entre 1985 et 2000. Les besoins théoriques sont fixés en moyenne à 680 kWh/personne/an.

Tableau 47. Estimation du taux de satisfaction moyen (production d'ECS, analyse rétrospective)

| Année | 1985 | 1990 | 2000 |
|----------------------|-------|-------|-------|
| Taux de satisfaction | 0,545 | 0,583 | 0,659 |

L'hypothèse du taux de satisfaction exprime que le calcul théorique des besoins représente la borne supérieure, qui n'est théoriquement jamais atteinte. La poursuite du taux de croissance actuel du rapport (besoins constatés/besoins théoriques) jusqu'en 2050 montre cependant que la valeur 1 serait atteinte en 2050 (cf. Figure 33).

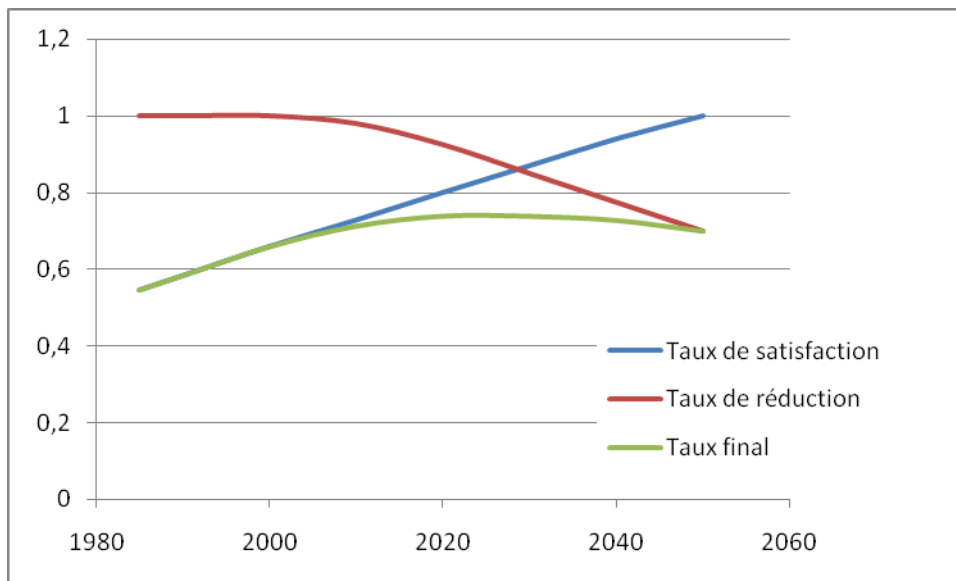
**Figure 33. Estimation du taux de satisfaction des besoins en eau chaude sanitaire**

Parallèlement à l'évolution de ce taux (réel/référence), il est également possible d'introduire un taux de réduction de la consommation d'eau, dû à des équipements plus économes. Les dispositifs actuellement sur le marché sont susceptibles d'entraîner une baisse de consommation d'eau chaude de 30% qui peut être adoptée dans un scénario volontariste tant vis-à-vis des ressources énergétiques que des ressources en eau. Ainsi leur généralisation à l'horizon 2050 peut se traduire par l'application d'un taux progressif de réduction des besoins, de 1 pour la période 1985-2005, à 0,7 en 2050. Il en résulte un taux final que nous pourrions appliquer aux besoins de références (obtenus par le calcul théorique) afin d'obtenir les besoins énergétiques pour la production d'ECS, servant de base au calcul des consommations.

Ce taux obtenu à l'échelle nationale pourrait en réalité être régionalisé : compte tenu des températures de l'eau plus élevées au départ en zone H3, il est probable que le taux de satisfaction serait également supérieur à la moyenne nationale.

Tableau 48. Taux de réduction des besoins en eau chaude sanitaire, projection 2050

| | 1985 | 1990 | 2000 | 2010 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|------|
| Taux de satisfaction (Ts) | 0,545 | 0,583 | 0,659 | 0,728 | 0,8 | 0,87 | 0,94 | 1 |
| Taux d'économie ou de réduction (Te) | 1 | 1 | 1 | 0,98 | 0,925 | 0,85 | 0,775 | 0,7 |
| Taux final (Te*Ts) | 0,545 | 0,583 | 0,659 | 0,7134 | 0,74 | 0,7395 | 0,7285 | 0,7 |

**Figure 34. Estimation du taux final de réduction des besoins en eau chaude sanitaire**

Pour chaque année t , on calcule les besoins unitaires réels par personne B_u en fonction de la zone climatique i :

$$B_u(t,i) = B_{ecs}(i) * T_s(t) * T_e(t)$$

$B_{ecs}(i)$: besoins théorique (ou borne supérieure) de la zone climatique i (i : 1 à 3) en kWh/pers/an

$T_s(t)*T_e(t)$: taux final de réduction des besoins théoriques pour l'année t , calculé à l'échelle nationale.

Sur la base des besoins unitaires utiles, l'évolution des besoins totaux pour l'ensemble de la population peut être estimée : en énergie utile, ces besoins totaux croissent modérément en raison du taux de réduction, qui atteint 0,7 en 2050.

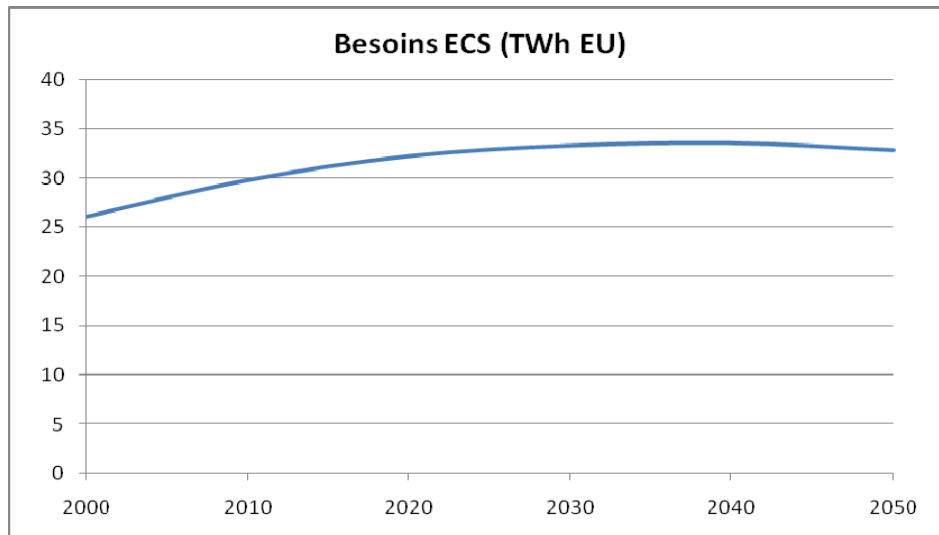


Figure 35. Evolution prospective des besoins totaux en eau chaude sanitaire

EU : énergie utile

2.3.3.5 Estimation des consommations unitaires destinées à l'eau chaude sanitaire

En écartant les corrections qui seraient liées au taux de sous peuplement¹⁰, on peut estimer pour une année t donnée, les consommations totales par logement Cecs à partir des besoins unitaires Bu (exprimées par personne), selon la zone climatique i, par l'expression :

$$Cesc(t, i) = [Bu(t, i) - As(i)] * [1/Rtot(t)] * TM(t)$$

Cecs (t,i) en kWh/logt/an

Bu (t,i) en kWh/pers/an

As (i) : apports solaires thermiques de la zone climatique i rapportés à la personne en kWh/pers/an, en cas d'utilisation de panneaux solaires pour la production d'ECS.

TM (t) : taille du ménage, en nombre de personnes par logement pour l'année t.

Rtot (t) : rendement total de l'installation, pour l'année t (fixe pour la période de non renouvellement de l'installation).

Les besoins unitaires sont calculés à partir de la valeur théorique (dite borne supérieure) selon la zone climatique, affectée du coefficient (Ts*Te) défini plus haut. La taille du ménage a été estimée annuellement par région jusqu'en 2030, à partir de l'âge moyen de la population des ménages déduit des scénarios INSEE. Il conviendrait de l'appliquer en différenciant pour chaque région sa valeur selon la typologie (maison individuelle / immeuble collectif).

Le rendement total sera estimé à partir de deux rendements :

$$Rtotal = Rg * Rds$$

Rg : rendement de génération selon le système et l'énergie

Rds : rendement de distribution et de stockage pris ici de manière forfaitaire, Rds = 0,8

¹⁰ Cette question mériterait d'être approfondie, notamment quand la taille du ménage décroît au cours des ans, pour une surface du logement constante.

Sans correction du taux de sous peuplement, les besoins par personne décroîtraient dès 2020 sous le double effet du taux de réduction introduit, et de l'augmentation des surfaces habitables par personne.

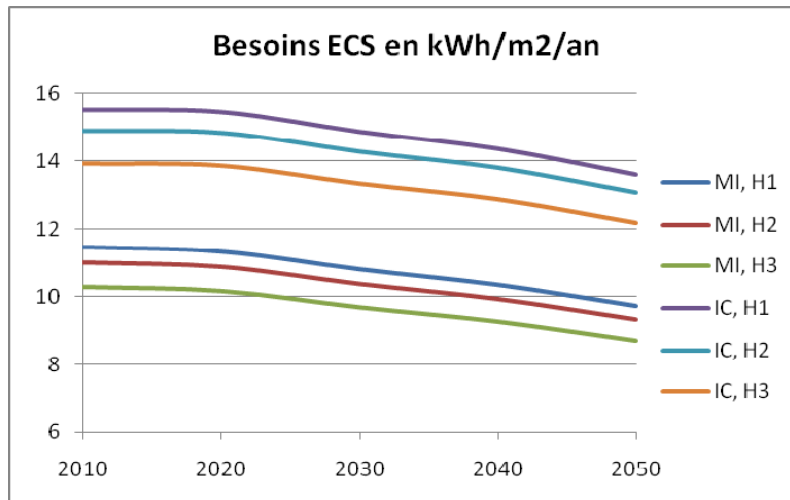


Figure 36. Besoins en eau chaude sanitaire, exprimés en kWh (énergie utile) par m2 de surface habitable, selon la zone climatique et le type de logement

La nécessité de respect de la réglementation thermique appliquée aux consommations unitaires se traduit par des évolutions technologiques tranchées. Pour une production d'eau chaude sanitaire par ballon électrique ($R_t = 0,7$) en zone H3, un niveau en énergie utile de 10 kWhEU/m2 entraîne une consommation en énergie finale de 14,3 kWhEF/m2 soit 37 kWhEP/m2 : cette consommation apparaît impossible au niveau BBC qui sera généralisé dès 2012. Cela rend obligatoire le recours au solaire thermique (à un minimum de 50%) associé à la recherche d'optimum technologique sur l'appoint.

2.3.3.6 Dimensionnement du solaire thermique pour la production d'eau chaude sanitaire

La convention adoptée est de favoriser l'intégration généralisée du solaire dans le bâtiment, sans optimisation économique préalable, pour tout scénario énergétique :

- à 100% dans le neuf,
- et selon les caractéristiques urbaines et architecturales dans le parc existant.

La méthode SOLO-TECSOL donne des résultats proches des évaluations précédentes en termes de besoins, pour un logement individuel occupé par 3 personnes, de l'eau chauffée à 55°C, et une utilisation de 335 jours répartie sur les 12 mois. Le dimensionnement des panneaux solaires est effectué sur la base de 0,75 m² par personne, ce qui inférieur à la pratique actuelle (les installations courantes sont basées sur le taux de 1 m² par personne, soit 4 m² pour une maison individuelle), mais permet d'obtenir une productivité du mètre carré supérieure.

Tableau 49. Apports solaires pour une installation de 3 personnes (et 0,75 m2 de panneau par personne)

| Zone climatique / Station | Besoins par personne | Besoins (3 pers) | Apports solaires (2,25 m2) | Couverture solaire | Apports solaires par m2 |
|---------------------------|----------------------|------------------|----------------------------|--------------------|-------------------------|
| | KWh/an | KWh/an | KWh/an | (%) | KWh/m ² /an |
| H1 (Reims) | 634 | 1902 | 821 | 43% | 365 |
| H2 (Poitiers) | 617 | 1852 | 884 | 48% | 393 |
| H3 (Montpellier) | 582 | 1745 | 977 | 56% | 434 |

Hypothèses : panneau orienté sud, incliné à 30°, stockage de 180 litres pour 3 personnes.

En supposant que la productivité solaire reste constante entre aujourd'hui et 2050 et que la base de dimensionnement du solaire est stabilisée à 0,75 m2/personne quelle que soit la zone climatique, les apports solaires A_s par personne s'expriment selon la zone climatique par :

$$A_s(i) = 0,75 * A_u(i)$$

$A_u(i)$: apport solaire unitaire en kWh/m2/an, pour la zone climatique i

2.3.4 Les qualités énergétiques et environnementales liées à la morphologie

2.3.4.1 L'approche méthodologique

A ce stade d'analyse, la morphologie urbaine est directement liée aux paramètres suivants :

- les besoins énergétiques des logements, qui dépendent de la surface habitable ;
- les besoins de chauffage, par le taux de contiguïté des logements (nul par définition pour le pavillonnaire diffus)
- les possibilités de mutualisation des besoins (par réseaux de chaleur, par production décentralisée d'énergie) ;
- le taux de solarisation des toitures (surfaces disponibles, expositions favorables ou non) et des façades verticales ;
- le type de géothermie associée aux pompes à chaleur (géothermie de surface ou par forage vertical) ;
- les contraintes dimensionnelles du bois énergie.

Par ailleurs, l'impact est également important, en considérant la densité (en nombre de logements à l'hectare par exemple), sur l'occupation de territoire et sur les possibilités de desserte par les transports en commun, ou de l'offre de services de mobilité (exemple de l'autopartage), ce qui sera traité dans la tâche B3.

Une première définition de la morphologie peut être dégagée à partir des impacts environnementaux ainsi identifiés. Les deux paramètres principaux utilisés dans les études paramétriques qui concernent les consommations énergétiques dans la construction neuve seront :

- l'impact du choix typologique MI/IC (maison individuelle/immeuble collectif) ;
- le taux de contiguïté entre logements (maisons de ville ou petits collectifs en bande)

La question de la contiguïté pourra être étendue, du cas de la construction neuve, à celle de l'évolution du parc existant. En effet, la construction neuve peut favoriser la densification des tissus pavillonnaires, ce qui améliorerait la situation énergétique du parc existant.

On peut également estimer, dans le parc existant, le nombre de niveaux moyen de chaque typologie, qui a un impact sur les taux de solarisation des toitures destinée à la production d'eau chaude sanitaire et à la compensation photovoltaïque en bâtiment à énergie positive.

Les contraintes liées à d'autres thématiques environnementales (gestion des eaux pluviales en particulier) sont écartées dans cette étude. Il conviendrait néanmoins de prendre en compte les exigences de rétention des eaux pluviales en toiture, qui peuvent conduire à végétaliser les toitures en tout ou partie, un seul des deux équipements (panneau solaire ou couverture végétale) pouvant être choisi dans la configuration des toitures en pente. Pour les toitures terrasses, il est concevable d'associer les deux problématiques, avec des rendements moindres en occupation spatiale.

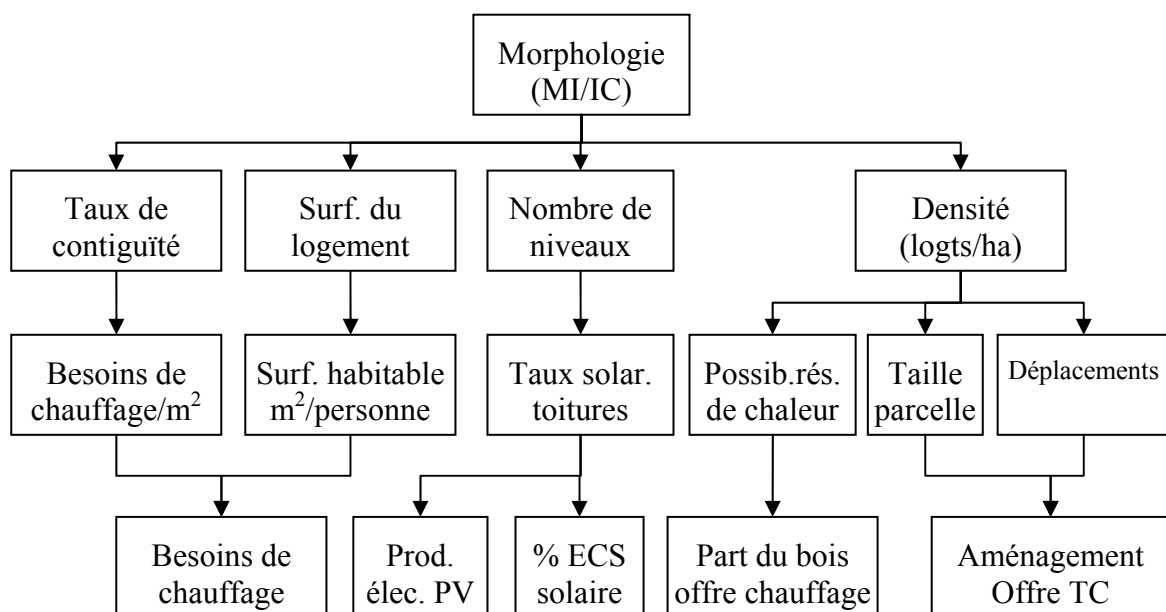


Figure 37. Méthodologie d'analyse morphologique du parc de logements

2.3.4.2 Estimation du nombre d'étages du parc existant

Pour la maison individuelle, le nombre d'étages peut être estimé à une valeur légèrement supérieure à deux (soit une configuration dominante en R+1). Un certain nombre de tissus de logements individuels ont été identifiés dans une étude en cours¹¹. Cet échantillon, quoique réduit, donne un nombre moyen d'étages (pondéré par la surface habitable) de 2,3, valeur sans doute un peu élevée, mais qui sera adoptée pour la suite de l'étude. Le coût élevé des terrains tend à écarter depuis quelques décennies le modèle du pavillon de plain pied sur sous sol ou garage, qui a dominé au cours des années 1970 notamment, pour favoriser les pavillons en R+1, avec combles aménagés.

¹¹ Cf. M. Maïzia, Recherche en cours « Aménagement Urbain Transports Résidences Energie », PUCA, Appel à projet Energie dans le bâtiment : Prebat, Incidence des formes urbaines et des dynamiques d'agglomération sur les émissions de gaz à effet de serre et l'efficacité énergétique liées aux bâtiments.

Tableau 50. Géométrie des échantillons

| Localisation et date de construction | Colombet (1915-1948) | Saint-Nom la Bretèche (1968-1974) | Cergy Ville nouvelle (1968-1974) | Cergy Ville nouvelle (1968-1974) | Colombet (1968-1974) | Cergy Ville nouvelle (1975-1981) |
|--------------------------------------|----------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------|----------------------------------|
| Emprise au sol (m2) | 5835 | 9228 | 4225 | 3247 | 3830 | 3597 |
| Nombre de niveaux | 2,23 | 2,4 | 1,59 | 2,2 | 1,76 | 3,05 |
| SHAB (*) totale (m2) | 10843 | 18456 | 5598 | 5953 | 5617 | 9142 |

(Source : Elioth)

(*) SHAB : surface habitable basée sur l'emprise au sol*Nombre de niveaux/1,2

Pour les immeubles collectifs, la répartition selon le nombre d'étages doit être prise en compte, afin d'écartier les situations de tours, pour lesquelles le potentiel de solarisation des toitures ne permettrait pas de répondre au seul besoin de la production d'eau chaude sanitaire (sur la base définie de 0,75 m²/personne). La répartition des logements en fonction du nombre d'étages de l'immeuble montre un maximum à 5 niveaux habitables. Cet effet de seuil a été, provoqué, au cours de la période de construction intensive du logement social (1960-1980) par l'obligation d'installation d'ascenseurs au-delà de 5 niveaux habitables (donc à partir de R+5). Pendant cette période, hors prix du terrain, le prix du mètre carré construit décroissait de 100 (base en R+1, soit deux étages habitables), à 83 (en R+4), pour augmenter ensuite en raison du coût des ascenseurs et des renforcements structurels¹². Le nombre de logements décroît très vite au-delà de 6 étages habitables en zone H1 et H2, et à partir de 10 étages en zone H1, dans laquelle se situe la région Ile de France.

¹² Cf. Encyclopédie pratique de la construction et du bâtiment, Quillet, Paris, 1959. Tome 1, p. 1040.

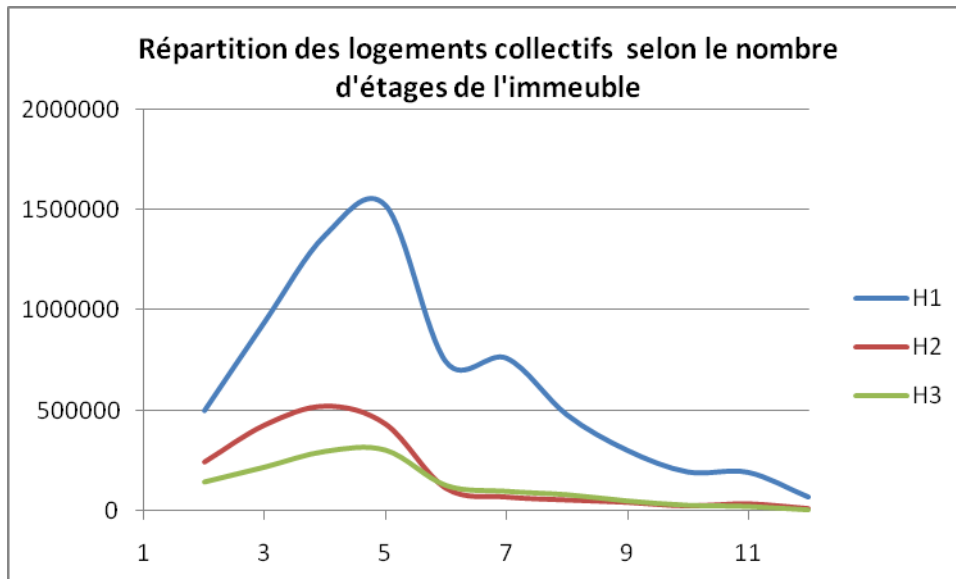


Figure 38. Répartition des logements collectifs selon le nombre d'étages de l'immeuble et la zone climatique.

La connaissance du nombre d'étages, donc de la surface de toiture, interviendra dans l'estimation des ressources solaires des logements.

2.3.4.3 Estimation des surfaces de toiture du parc existant

Les surfaces de toiture sont largement plus étendues pour le total des maisons individuelles, comparé au total des immeubles collectif. En se basant sur la surface hors-œuvre brute, et pour un nombre moyen de 2,3 étages (soit un peu plus qu'en R+1), les maisons individuelles représenteraient plus de 810 millions de mètres carrés, contre environ 200 millions de mètres carrés pour les immeubles collectifs. Ces chiffres représentent la surface de toiture projetée sur le plan horizontal, qui sera utilisée pour apprécier les surfaces disponibles pour la solarisation.

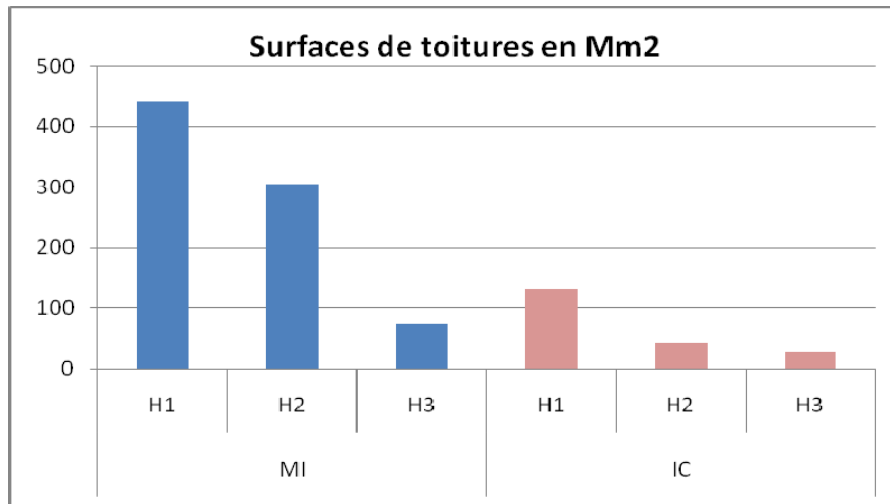


Figure 39. Surfaces de toiture totales des deux typologies de logements pour les trois zones climatiques

Estimation basée sur le calcul de l’emprise au sol

(MI : maison individuelle, IC : immeuble collectif)

2.3.4.4 *Les hypothèses adoptées pour l’estimation des potentiels de solarisation du parc existant*

Si l’orientation sud donne la meilleure performance théorique annuelle (en cas d’insolation également répartie entre le matin et l’après midi), une rotation de 30° par rapport à cet azimut ne conduit pas à des pertes notables de productivité annuelle du capteur solaire, l’irradiation annuelle étant réduite de 5 à 10% pour un panneau solaire présentant une pente de 20 à 50° sur l’horizontale.

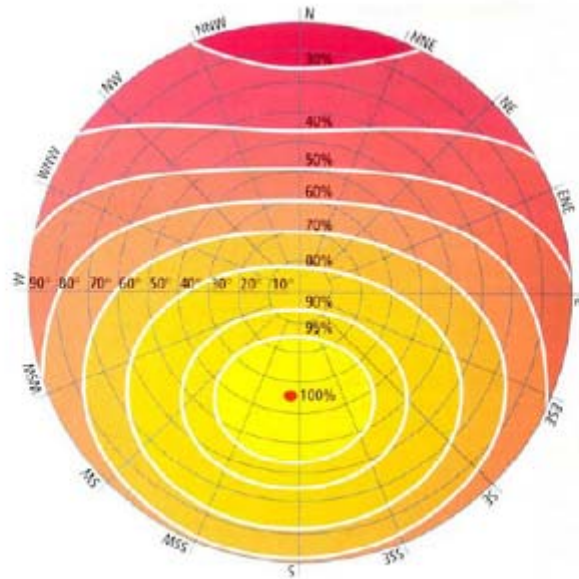


Figure 40. Irradiation annuelle relative en France, fonction de l'orientation et de l'inclinaison

(Source : Cythelia)

On peut donc admettre que les pans de toitures bien orientés constituent un ensemble représentant 1/3 des configurations possibles (azimuts des axes compris dans un double secteur de 60° d'ouverture), ce qui concerne essentiellement le parc de maisons individuelles et les immeubles collectifs construits avant 1949.

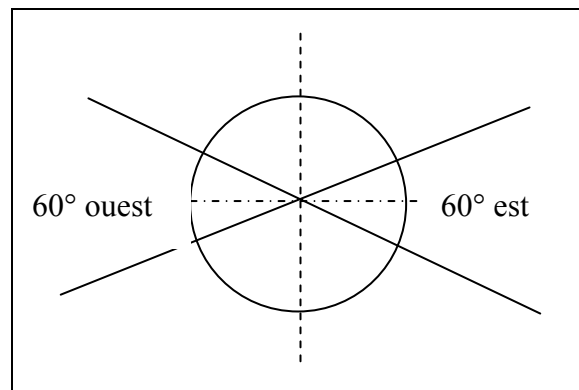


Figure 41. Secteurs est et ouest admissibles pour l'axe des toitures solarisées

Les toitures terrasses dominent néanmoins en immeuble collectif de construction postérieure à 1945. En raison de leur forte dépendance aux morphologies urbaines (orientation des pans de toiture, encombrement des toits terrasses, nombre d'étages, présence possible de masques), les potentiels de solarisation seront soumis à une borne supérieure, que nous estimons comprise

entre 20% et 50% en fonction de la typologie et du contexte urbain¹³. Cette borne supérieure exprimée en % de logements est supposée atteinte en fin de période, la vitesse d'équipement du parc existant étant assujettie à la rénovation des systèmes énergétiques.

Tableau 51. Potentiels de solarisation adoptés pour l'équipement des toitures dans le parc existant

| Configurations | Rural | Urbain |
|---|-------|--------|
| Maisons individuelles (toits en pente) | 30% | 20% |
| Immeubles Collectifs (toits en pente) | 30% | 20% |
| Immeubles Collectifs (toits terrasses) | 50% | 40% |

En émettant l'hypothèse que 2/3 des maisons individuelles et 1/3 seulement des immeubles collectifs sont dans une situation favorable (de type « rural »), nous adopterons les coefficients moyens de 26,5% pour les maisons individuelles, de 23,5 % pour les immeubles collectifs avec toitures en pente et de 43,5% pour les immeubles collectifs avec toiture terrasses.

2.3.4.5 Estimation des surfaces de toiture disponibles (immeuble neuf ou existant)

Pour une toiture en pente (de type deux pans symétriques, le plus courant) bien orientée, on peut considérer que la surface disponible sur un versant de toiture S_{sol} , est, en mètres carrés et pour une inclinaison de 30° :

$$S_{sol} = SHOB / (2 * Ne * \cos 30^\circ)$$

Avec :

SHOB : surface hors œuvre brut du logement (m²), qui sera prise à 1,2 fois la surface habitable, $Shab$

Ne : nombre d'étages,

Soit :

$$S_{sol} = 0,7 * Shab / Ne$$

Pour les toitures terrasses, l'orientation est moins contraignante, mais le potentiel est plus faible, en raison de l'écartement nécessaire entre les rangées de panneaux. La surface de toiture disponible est en général réduite par les acrotères et les émergences, celles-ci étant en surface croissante avec le nombre d'étages.

¹³ Une approche plus fine pourrait s'appuyer sur la connaissance du nombre d'étages: les gabarits les plus élevés ont plus de chance d'échapper aux ombres portées par les immeubles voisins. Ils ont cependant un taux d'occupation des toitures plus important par les émergences techniques.

La surface disponible horizontale $Shor$ peut ainsi être liée au nombre d'étages et à la surface habitable totale de l'immeuble, affectée d'un coefficient inférieur à 1 (établi forfaitairement à 0,8, en tenant compte de la compensation des parties communes de circulation qui contribuent également à la surface de toiture) :

$$Shor = 0,8 * Shab / Ne$$

Avec :

$Shab$: surface habitable totale de l'immeuble (m²)

Ne : nombre d'étages

Pour tenir compte de la limite d'ombrage, en prenant un angle moyen de 18° (hauteur du soleil en région parisienne au solstice d'hiver à 12 h TSV), et une pente des panneaux de 30°, il convient d'écartier les rangées entre elles de 2,4 fois la longueur des panneaux.

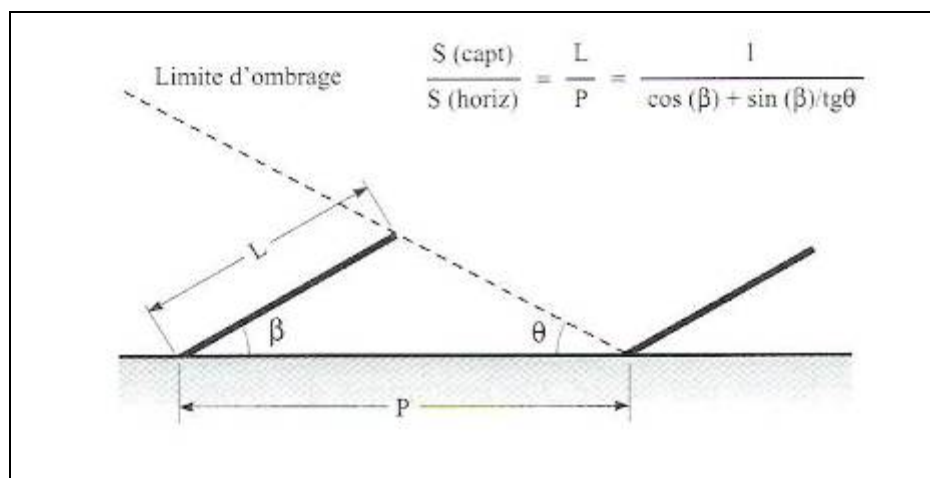


Figure 42. Règle d'écartement des rangées de panneaux solaires

Pour $\beta=30^\circ$ et $\theta=18^\circ$, $S_{capt}/Sh_{horiz} = L/P = 1/(2,4)$.

La même règle est appliquée pour le solaire thermique ou le PV.

Pour R rangées de panneaux de surface unitaire Sr ($S_{sol} = R * Sr$), la surface de toiture nécessaire est :

$$Shor = Sr * [(R-1) * 2,4 + \cos 30^\circ]$$

$$Shor/Sr = (R-1) * 2,4 + \cos 30^\circ$$

En adoptant un nombre de rangée $R=4$, la surface de panneaux totale devient :

$$S_{sol} = 4 * Sr = 0,5 * Shor$$

Ainsi, le potentiel de solarisation des toitures terrasses sera exprimé par :

$$S_{sol} = 0,4 * Shab / Ne$$

Dans le parc neuf, la solution pour maximiser le gisement solaire consiste à adopter des morphologies de toitures en pente d'inclinaison 20 à 30°, orientées sud (azimut sud +/- 20°). Nous verrons que pour l'obtention du niveau BEPOS, la typologie de l'immeuble collectif pourrait même recourir à une toiture à pan unique orientée sud.

Dans le parc existant, en supposant que les orientations de toitures sont équitablement réparties, l'effet de la configuration de toiture apparaît peu important. En effet, les toitures terrasses sont pénalisées par leur situation urbaine, par la nécessité d'écarter les rangées de panneaux, mais elles ne peuvent pas, par nature, être affectées par l'orientation du bâtiment. Pour cette raison les hypothèses concernant les typologies de toiture sont peu importantes. Nous conviendrons néanmoins que 100% des maisons individuelles appartiennent à la catégorie des toitures en pente, et seulement 40% des logements en immeubles collectifs.

Sur cette base, les surfaces disponibles (en tenant compte de l'inclinaison des panneaux solaires à 30°) peuvent être estimées : le taux de solarisation est de 15,5 % des surfaces de toitures (considérées comme surfaces au sol) en maisons individuelles et de 14,2 % en immeuble collectif.

Tableau 52. Estimation des surfaces de toiture « solarisables » dans le parc existant.

| Typologie | Zone climatique | Surface de toitures (en Mm2) | Surfaces « solarisables » (en Mm2) |
|-----------------------|-----------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| Maisons individuelles | H1 | 439 | 68 |
| | H2 | 304 | 47 |
| | H3 | 73 | 11 |
| Immeubles collectifs | H1 | 132 | 19 |
| | H2 | 42 | 6 |
| | H3 | 28 | 4 |

2.3.5 Affectation des surfaces de toitures (solaire thermique et photovoltaïque)

2.3.5.1 Le potentiel du solaire thermique dans le parc existant

L'affectation des toitures au solaire thermique est considérée comme prioritaire. Le dimensionnement à 0,75 m² /personne en solaire thermique conduit à affecter une surface de capteurs de 0,75*TM par logement, TM étant la taille du ménage à l'année d'application, différenciée selon la typologie.

La surface disponible, telle qu'elle a été évaluée précédemment, est suffisante pour les besoins de la production d'eau chaude sanitaire, dans tous les cas en maison individuelle, et dans la majeure partie des immeubles collectifs, compte tenu du taux d'occupation moyen actuel (en nombre de personnes par logement) et pour les configurations prépondérantes ne dépassant pas les 10 étages.

Il apparaît ainsi que les surfaces de solaire thermique qui pourraient être implantées dans le parc existant en 2005 s'élèveraient à 7,7 millions de m² en maisons individuelles, et 5,7 millions en immeubles collectifs : cela représenterait environ 13,5 millions de m², soit près d'un tiers du dimensionnement total basé sur la population (0,75 m² par personne pour 60 millions d'habitants, soit 45 millions de m²).

Sur cette base, la production potentielle totale du solaire thermique du parc existant peut être estimée à plus de 5 TWh, mais cette valeur doit être confrontée à l'économie de gaz ou d'électricité qu'elle permet dans la production de l'eau chaude sanitaire.

Tableau 53. Production potentielle du solaire thermique généralisé sur la base du parc existant en 2005

| Zone climatique | MI (Mm2) | IC (Mm2) | Total (Mm2) | Prod. Unitaire (kWh/m2/an) | Prod. Totale (GWh/an) |
|-----------------|----------|----------|-------------|----------------------------|-----------------------|
| H1 | 4,22 | 4,02 | 8,25 | 365 | 3010 |
| H2 | 2,76 | 0,97 | 3,73 | 393 | 1468 |
| H3 | 0,68 | 0,74 | 1,41 | 434 | 614 |
| Total | 7,66 | 5,73 | 13,39 | 380 (moyenne) | 5091 |

MI : maisons individuelles, 100% des toitures à deux pans

IC : immeubles collectifs, 60% des toitures en terrasses.

2.3.5.2 Le potentiel du solaire photovoltaïque dans le parc existant

Pour toute construction avec toitures en pente (toujours supposée inclinée à 30°), le potentiel photovoltaïque sera considéré comme complémentaire au besoin estimé pour l'ECS :

$$Spv = Ssol - Secs = 0,7 * Shab / Ne - TM * 0,75$$

Pour l'immeuble collectif avec toiture terrasse, le potentiel photovoltaïque adoptera l'expression :

$$Spv = Ssol - Secs = 0,4 * Shab / Ne - 0,75 * TM$$

TM étant alors la somme des tailles de ménages sur l'ensemble de l'immeuble.

Compte tenu de l'évaluation totale du potentiel selon la typologie individuel/collectif, et des exigences du solaire thermique, estimées sur la base de 0,75 m2 par personne, la surface de toiture résiduelle disponible pour le photovoltaïque apparaît importante, soit près de 120 millions de mètres carrés en maison individuelle et 23 millions de mètres carrés en immeuble collectif. Ces valeurs sont certainement des bornes supérieures, notamment pour les toitures en pente, dans la mesure où leurs géométries apparaissent bien plus complexes que la configuration à deux pans, ce qui diminue le potentiel total (exemples de pans coupés, de croupes, de présence de lucarnes et fenêtres de toit, etc.).

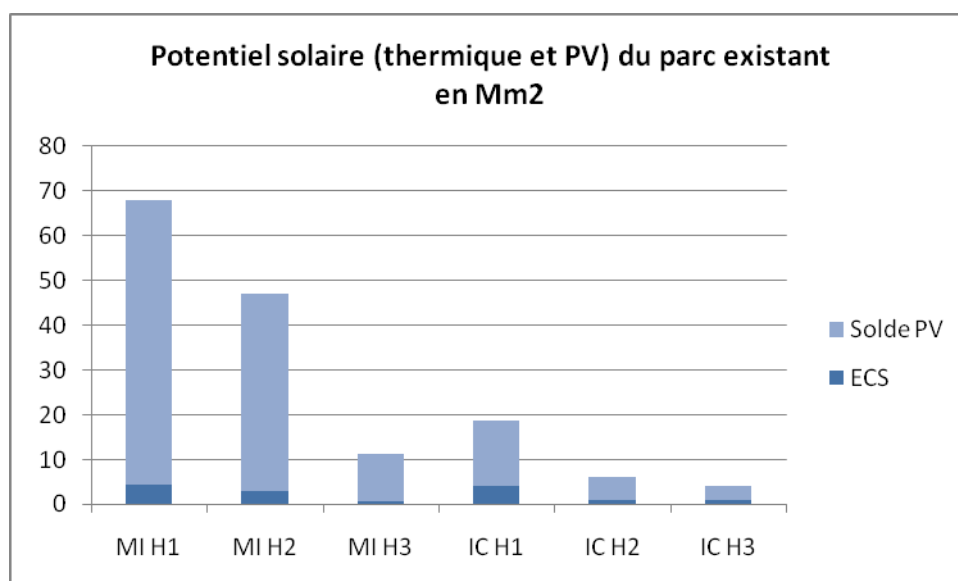


Figure 43. Décomposition du potentiel solaire des toitures existantes entre la production d'ECS (eau chaude sanitaire) et le photovoltaïque

(MI : maison individuelle ; IC : immeuble collectif)

La productivité du solaire photovoltaïque évolue avec l'année de l'installation, en raison des progrès de rendement attendus dans la filière (ce paramètre a été cependant écarté pour le solaire thermique, en se fixant sur les technologies disponibles en 2005-2010). Pour une productivité moyenne sur la période 2005-2050, différenciée selon la zone climatique, la production potentielle totale du parc existant peut être estimée à plus de 19 TWh en énergie finale (51 TWh en énergie primaire).

Tableau 54. Production potentielle du solaire photovoltaïque sur la base du parc existant en 2005

| Zone climatique | MI (Mm2) | IC (Mm2) | Total (Mm2) | Prod. Unitaire (kWh/m2/an) | Prod. Totale (GWh/an) | Prod. Totale (TWh ep/an) |
|-----------------|----------|----------|-------------|----------------------------|-----------------------|--------------------------|
| H1 | 63,71 | 14,69 | 78,39 | 129,5 | 10152 | 26,19 |
| H2 | 44,29 | 5,01 | 49,31 | 143 | 7051 | 18,19 |
| H3 | 10,62 | 3,17 | 13,79 | 174 | 2399 | 6,19 |
| Total | 118,62 | 22,87 | 141,48 | 139 | 19601 | 51 |

MI : maisons individuelles, 100% des toitures à deux pans

IC : immeubles collectifs, 60% des toitures en terrasses.

2.3.5.3 Le potentiel de solaire thermique dans le neuf

Il est possible d'estimer le potentiel de solaire thermique dans la construction neuve, en équipant tous les logements construits dans l'optique BBC à partir de 2012 sur la base de 0,75 mètres carrés par personne. Il est cependant difficile d'estimer la taille des ménages pour les

différentes configurations de logements, individuel ou collectif. On peut cependant s'appuyer sur des chiffres globaux, rapportés à la zone climatique, et fondés sur les hypothèses de population habitant le neuf, résultante de la population totale moins la population du stock (en considérant que la taille du ménage est plus grande dans le logement neuf). En 2030, la surface installée dans le neuf depuis 2012 atteindrait près de 8 millions de mètres carrés, pour une production de plus de 3 TWh (énergie finale).

Tableau 55. Production du solaire thermique dans le parc construit après 2012

| | Zone climatique | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 |
|---|-----------------|------|------|------|------|
| Surface solaire thermique (Mm2) | H1 | 1,12 | 2,29 | 3,30 | 4,19 |
| | H2 | 0,64 | 1,36 | 2,03 | 2,66 |
| | H3 | 0,24 | 0,53 | 0,82 | 1,09 |
| (Mm2) | TOTAL | 2,00 | 4,18 | 6,15 | 7,94 |
| Production unitaire moyenne (kWh/m2/an) | Moyenne | 382 | 383 | 383 | 384 |
| Production totale (GWh/an) | H1 | 408 | 834 | 1205 | 1529 |
| | H2 | 251 | 535 | 799 | 1046 |
| | H3 | 105 | 231 | 354 | 474 |
| (GWh/an) | TOTAL | 764 | 1600 | 2359 | 3049 |

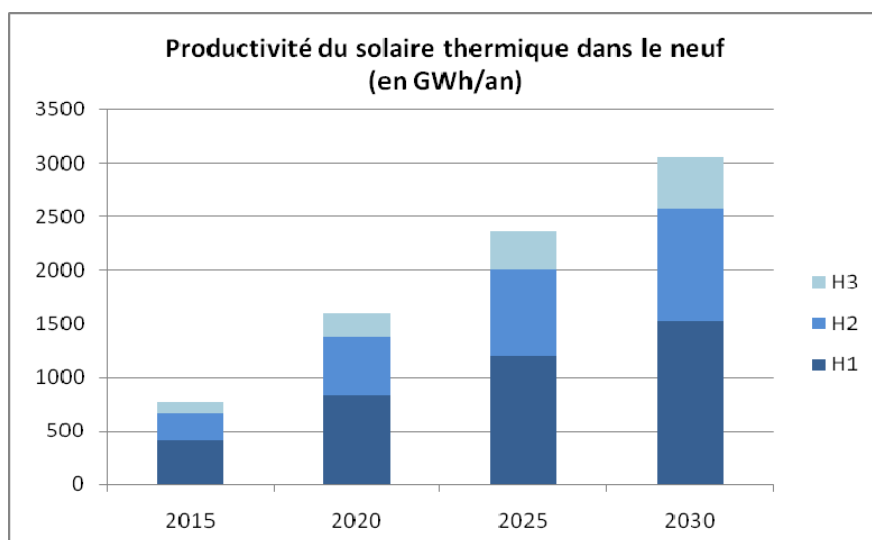


Figure 44. Production du solaire thermique (eau chaude sanitaire) cumulée dans la production neuve, après 2012.

2.3.5.4 Le potentiel photovoltaïque dans le neuf.

Dès 2012, compte tenu des exigences BBC, l'ECS solaire est généralisée à 100% du parc neuf : les toitures terrasses sont supposées conçues en concordance avec les besoins, les immeubles tours devant développer des surfaces sud en brise soleil pour compenser les limites du ratio : surface disponibles en toiture / habitant, qui peut être inférieur à 0,75 m²/personne. Les toitures en pente sont supposées disposer dans tous les cas d'un pan bien orienté (sud +/- 30°).

Le BEPOS étant un BBC compensé en énergie primaire, les surfaces de PV (photovoltaïque) nécessaires peuvent être déterminées à partir des consommations forfaitaires, fixées par région climatique, en supposant que le niveau BBC n'évoluera pas d'ici 2050. Mais les rendements PV évoluant avec le temps, les surfaces nécessaires peuvent décroître entre 2020 et 2050.

Pour chaque zone climatique i et pour chaque année t entre 2020 et 2050, on dimensionne la surface PV nécessaire, Spv^+ , sur la base des consommations de niveau BBC ($Cbbc$) par la relation :

$$Spv^+(t,i) * Ppv(t,i) * 2,58 = Shab * 1,15 * Cbbc(i)$$

Avec :

$Ppv(t,i)$ productivité PV de l'année t et de la zone i , en énergie finale (kWh/m²/an)

$Shab$: surface habitable

2,58 : coefficient de conversion (finale en primaire)

1,15 : coefficient de conversion de la surface habitable en SHON pour les maisons individuelles (1,10 pour les immeubles collectifs)

$Cbbc(i)$: niveau réglementaire de consommation unitaire de la zone i , en énergie primaire (en moyenne, 50 kWhEP/m²/an)

On peut directement dresser les ratios de mètre carré de toit PV par mètre carré de SHON ($Spv^+/SHON$), qui dépendent de la zone climatique, et qui décroissent avec le temps :

$$Spv^+/SHON = Cbbc / (Ppv * 2,58)$$

Tableau 56. Dimensionnement des surfaces PV en compensation BBC (en énergie primaire)

| | Cbbc (kWhEP/m ² SHON) | 2020 (m ² PV/m ² SHON) | 2030 (m ² PV/m ² SHON) | 2040 (m ² PV/m ² SHON) | 2050 (m ² PV/m ² SHON) |
|---------|-------------------------------------|---|---|---|---|
| Zone H1 | 65 | 0,219 | 0,202 | 0,187 | 0,175 |
| Zone H2 | 50 | 0,152 | 0,141 | 0,131 | 0,122 |
| Zone H3 | 40 | 0,100 | 0,092 | 0,086 | 0,080 |

(On suppose que les niveaux BBC sont atteints grâce à la contribution du solaire thermique, qui ne vient donc pas en déduction des consommations).

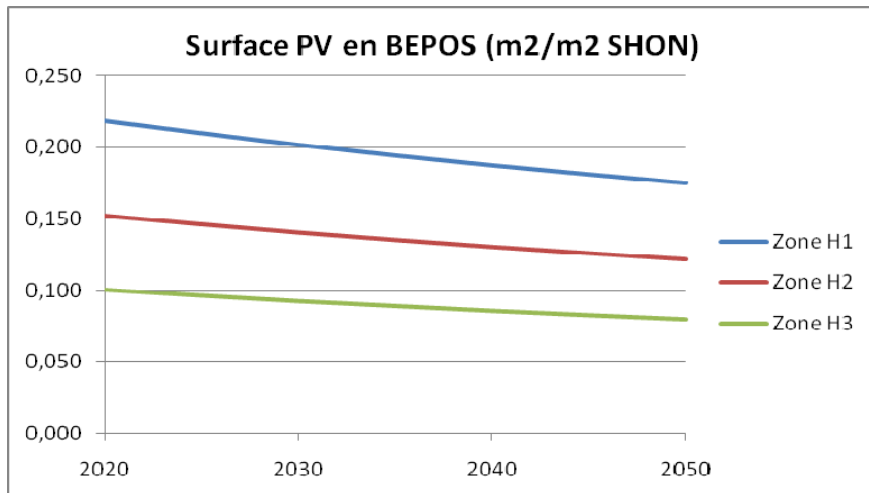


Figure 45. Ratios de surfaces PV par m2 SHON, pour le niveau BEPOS

2.3.5.5 Configurations d'immeubles collectifs en BEPOS selon la zone climatique

La configuration en toiture terrasse n'est pas propice à la compensation PV en panneaux inclinés, sauf à les répartir sur la façade sud. Les solutions de membranes photovoltaïques sont en effet d'un rendement encore insuffisant pour répondre à la compensation BEPOS, hors bâtiment très performant, de niveau passif, et d'un nombre d'étages réduit. Il conviendrait de reconsidérer les besoins de chauffage des immeubles collectifs, en leur appliquant les mêmes prestations d'enveloppe qu'en maisons individuelles (ce que traduit le coefficient Ubat), ce qui améliorerait les bilans en raison des fortes contigüités entre logements.

En maintenant le niveau BBC à un niveau identique entre la maison individuelle et l'immeuble collectif, il est possible de déterminer le nombre maximum d'étages pour obtenir une compensation par énergie photovoltaïque, sans recours au bois. Le nombre d'étages en immeuble collectif peut en effet être déduit des deux équations exposées précédemment :

$$Spv = Ssol - Secs = 0,7 * Shab / Ne - \sum TM * 0,75$$

$$Spv^+(t,i) * Ppv(t,i) * 2,58 = Shab * 1,10 * Cbbc(i)$$

Soit, pour une surface habitable moyenne par personne de 33,2 mètres carrés en 2020 dans le logement collectif :

$$Ne = 0,7 / (0,43 * Cbbc / Ppv + 0,023)$$

Tableau 57. Configuration des immeubles collectifs en BEPOS en 2020

| Zone climatique | Cbbc (kWhEP/m2SHON/an) | Ppv (kWhEF/m2/an) | Ne Nombre d'étages |
|-----------------|---------------------------|----------------------|-----------------------|
| Zone H1 | 65 | 115,2 | 2,64 |
| Zone H2 | 50 | 127,2 | 3,65 |
| Zone H3 | 40 | 154,8 | 5,22 |

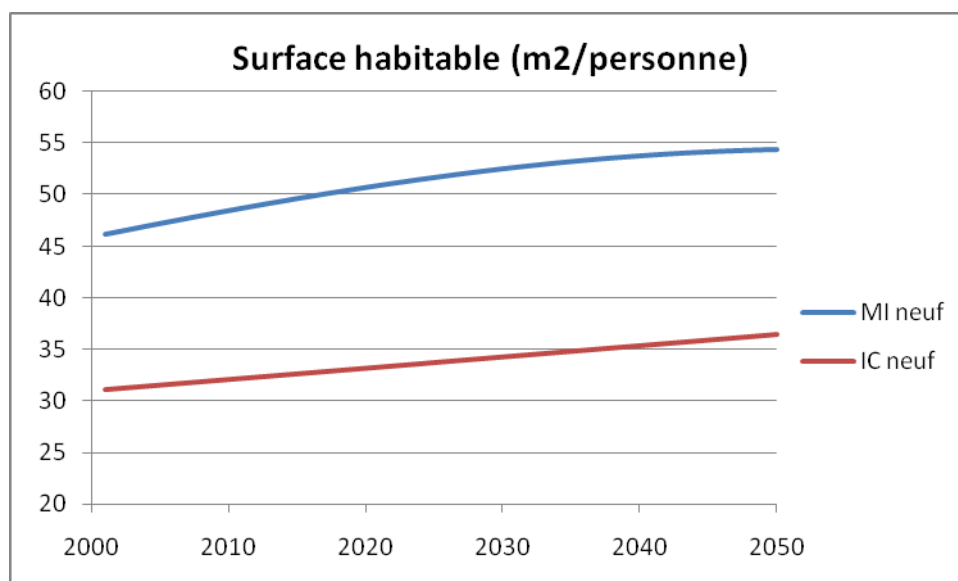
Ainsi, en zone H1, les logements collectifs en BEPOS seraient limités à 2,6 étages (soit en R+2), à condition de développer l'ensemble de la toiture en un seul plan incliné de pente d'environ 30° et orientée au sud. Des gabarits plus importants seraient admissibles en zones H2 et H3, tout en demeurant dans la configuration de petits collectifs de type maisons de ville. A l'inverse, pour un gabarit en R+3 en zone H1, le niveau BBC devrait être réduit à 41,2 kWhEP/m²/an, ce qui exige une isolation très renforcée, sans doute facilitée par la forte contiguïté entre logements, ou une contribution du bois énergie, car celle-ci n'intervient pas dans le calcul de la compensation photovoltaïque.

2.3.5.6 Effet « taille du parc » sur les consommations énergétiques à 2050 dans le neuf

Les projections établies pour la construction neuve à 2050 reposent sur plusieurs hypothèses, d'évolution lente des surfaces habitables dans le logement collectif, plus rapide dans la maison individuelle. Les coûts croissants de l'accession à la propriété (dans le neuf et dans l'ancien) devraient être pris en compte pour évaluer l'effet de cette force de rappel sur les surfaces des logements neufs, qui devront également faire face à des exigences croissantes de performance énergétique (bâtiment basse consommation dès 2010, à énergie positive dès 2020), et environnementale (choix des matériaux en fonction des impacts sur la santé, dispositifs de récupération d'eau pluviale, double circuit d'alimentation en eau, etc.).

La surface habitable par personne en logement collectif peut être maintenue dans l'intervalle de 30 à 36 mètres carrés, ce qui semble néanmoins supérieur aux différents programmes immobiliers, du T1 au T5, pour lesquels la surface apparaît plus proche de 25 m² par personne. En maison individuelle, les programmes de construction privilégiant une surface de 120 mètres carrés en moyenne, qui permet, si elle est stabilisée, d'obtenir une surface habitable approchant les 55 m² par personne, sous l'effet de la décroissance de la taille moyenne du ménage dans ce parc (de 2,6 personnes en 2002 à 2,2 personnes en 2050).

Figure 46. Evolution prospective de la surface habitable par personne, selon le type de logement neuf



Selon la typologie qui est favorisée, la surface cumulée de logements neufs en 2050 peut évoluer de 883 millions de mètres carrés pour un taux constant de maisons individuelles de 10%, à 1215 millions de m² si le taux de maisons individuelles est maintenu à 80%.

Figure 47. Evolution des surfaces cumulées de logements neufs, selon trois hypothèses de part de la maison individuelle

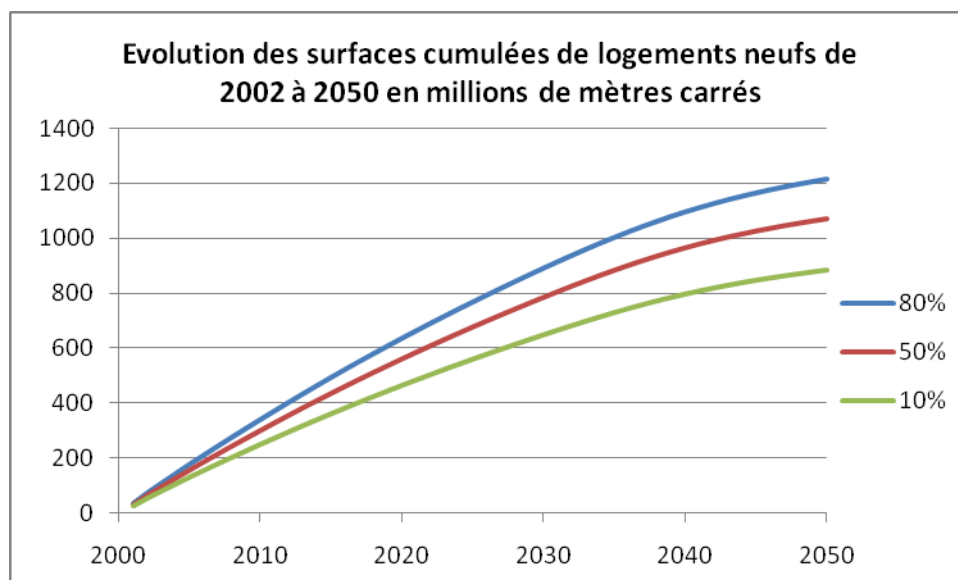


Tableau 58. Etude de sensibilité du modèle aux hypothèses de répartition MI/IC pour la construction neuve, valeurs cumulées en 2050

| Part de MI dans le parc neuf (en %) | Cumul neuf (2002-2050) (Mm2) | Parc final 2050 (Mm2) | Part du neuf (post 2002) en 2050 (en %) |
|--|---------------------------------|--------------------------|---|
| 80% | 1215 | 3289 | 36,95 |
| 50% | 1072 | 3147 | 34,06 |
| 10% | 883 | 2957 | 29,86 |

En considérant que tous les logements construits à partir de 2012 seront au niveau BBC (bâtiments basse consommation, soit à 50 kWhep/m² SHON en moyenne pour l'ensemble des zones climatiques), compensé à partir de 2020, il est possible d'estimer le total des consommations énergétiques pour le parc neuf construit dans l'intervalle 2012-2050. Ces consommations énergétiques concernent l'ensemble des postes pris en compte par la réglementation thermique, c'est-à-dire le chauffage, la climatisation, la production d'eau chaude sanitaire et leurs auxiliaires, l'éclairage et la ventilation. Un écart de 14 Twhep sépare les deux extrêmes (part de 10% ou de 80% pour la maison individuelle dans le neuf de 2012 à 2050).

Tableau 59. Consommations énergétiques en 2050, pour les logements construits dans l'intervalle 2012-2050

| Part de MI dans le parc neuf (en %) | Cumul neuf (°) (MI en Mm2) | Cumul neuf (*) (IC en Mm2) | Total énergie primaire (Twhép/an) |
|--|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|
| 80% | 744,8 | 66,6 | 46,5 |
| 50% | 465,5 | 249,9 | 40,5 |
| 10% | 93,1 | 494,3 | 32,5 |

(°) En maison individuelle, la consommation est estimée à 57,5 kWhép/an par mètre carré de surface habitable, en raison du coefficient de SHON (1 m² habitable pour 1,15 m² SHON)

(*) En logement collectif, la consommation est estimée à 55 kWhép/an par mètre carré de surface habitable, en raison du coefficient de SHON (1 m² habitable pour 1,10 m² SHON).

2.3.5.7 Paramètre de contiguïté

Le taux de contiguïté des logements croît avec le nombre de parcelles mitoyennes et le nombre d'étages : à surface habitable identique, la surface d'enveloppe extérieure peut être réduite de plus de 60%, pour un ensemble de maisons de ville de 5 étages, en bande de plus de 7 unités (Figure 48).

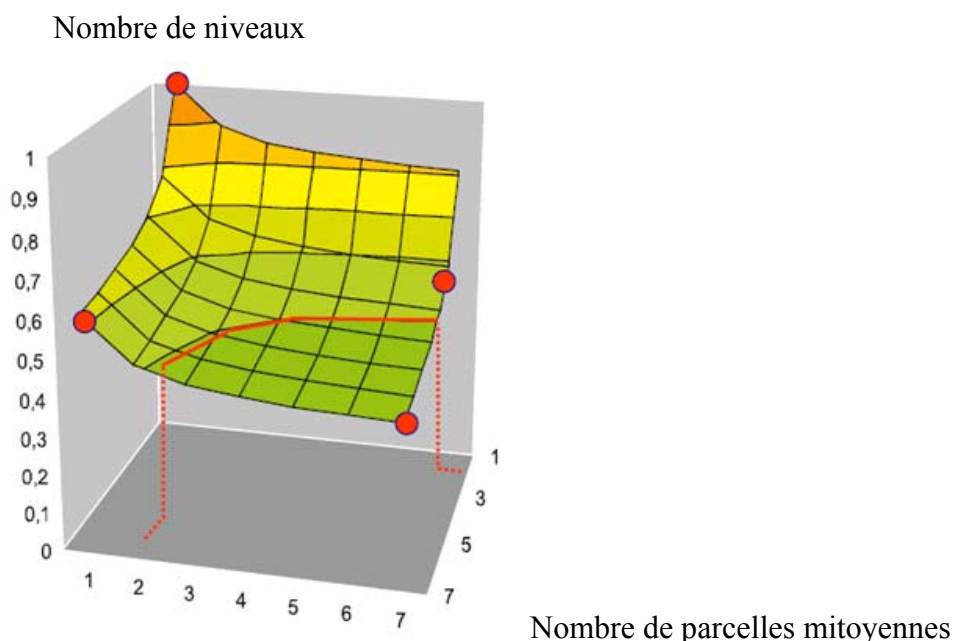


Figure 48. Facteur de réduction du rapport S(enveloppe)/S(habitable)

Cependant, le taux de contiguïté n'est pas pris en compte dans la recherche de la performance énergétique : la cible moyenne BBC de 50 kWhép/m²/an est identique pour toutes les typologies du neuf. Néanmoins, à prestations d'enveloppe égales (niveau d'isolation des

parois opaques et des parois vitrées), le niveau BBC serait amélioré grâce aux typologies de petits immeubles urbains.

Par ailleurs, ce paramètre intervient dans le développement des réseaux de chaleur car les possibilités augmentent en raison de la densité de chaleur à fournir par mètre linéaire de réseau. Dans le cas de logements très performants, neufs ou réhabilités thermiquement, il conviendra de tenir compte de l'ensemble des besoins thermiques (chauffage et eau chaude sanitaire, ECS) afin de mieux répartir les besoins sur l'année. Par unité de surface, les besoins annuels de chauffage et d'ECS peuvent être voisins (de 25 à 30 kWh/m²), même si l'intermittence de la consommation d'eau chaude est une donnée défavorable à la fourniture des besoins par réseau.

2.4 Tâche B3 : Scénarios énergétiques et artificialisation du territoire

2.4.1 Les hypothèses de scénarios énergétiques

2.4.1.1 *L'aménagement urbain durable et les segments privilégiés de la construction neuve*

Les textes du Grenelle qui concernent l'urbanisme se situent dans l'objectif de lutte contre l'étalement urbain, de développer les énergies renouvelables dans les zones d'aménagement, par la création ou le raccordement à un réseau de chaleur ayant recours aux énergies renouvelables et de récupération.

Pour cette raison, nous privilégierons les formes urbaines continues en ce qu'elles répondent aux critères de faisabilité des réseaux de chaleur. Il importe également de satisfaire aux conditions de réversibilité entre énergies (gaz, bois, électricité). Il convient donc de faciliter la conversion au bois énergie, soit sous forme de réseau, soit dans les équipements collectifs de chauffage, le bois étant exclus des équipements individuels en immeubles.

En conséquence, dans nos scénarios énergétiques, la construction neuve écarte les segments suivants :

- Maisons individuelles (hors rural) et immeubles collectifs en tissus discontinus ;
- Immeubles collectifs équipés en CCI (chauffage central individuel).

Concrètement, cela signifie que, dans les tissus urbains, toutes les constructions sont considérées comme étant le fruit d'opérations planifiées et que la mise en œuvre de moyens de chauffage mutualisés y est possible. Les hypothèses posées concourent notamment à l'élimination des maisons individuelles en diffus hors rural pour les constructions neuves. Cependant, ces options pourront être reprises afin de comparer l'impact territorial d'une réelle maîtrise de l'étalement urbain.

Cependant, afin de ne pas multiplier les scénarios, les comparaisons des différentes solutions énergétiques seront basées sur des hypothèses uniques de renouvellement de France de répartition entre les maisons individuelles et les logements en immeuble collectif pour la construction neuve. Celle-ci sera basée sur la moyenne des années 200-2004, soit 59,4% de maisons individuelles pour 40,6% logements en immeuble collectif, en moyenne métropole

Tableau 60. Part de maisons individuelles en construction neuve selon la Région

| | |
|----------------------|-------|
| Alsace | 0,444 |
| Aquitaine | 0,624 |
| Auvergne | 0,710 |
| Basse Normandie | 0,786 |
| Bourgogne | 0,712 |
| Bretagne | 0,692 |
| Centre | 0,725 |
| Champagne-Ardenne | 0,712 |
| Corse | 0,583 |
| Franche-Comté | 0,673 |
| Haute-Normandie | 0,677 |
| Ile-de-France | 0,294 |
| Languedoc-Roussillon | 0,629 |
| Limousin | 0,712 |
| Lorraine | 0,590 |
| Midi-Pyrénées | 0,609 |
| Nord-Pas-de-calais | 0,676 |
| PACA | 0,734 |
| Pays de la Loire | 0,716 |
| Picardie | 0,800 |
| Poitou-Charentes | 0,509 |
| Rhône-Alpes | 0,501 |
| Total | 0,594 |

D'après SITADEL, moyennes 2000-2004.

2.4.1.2 Les quatre scénarios énergétiques

Les scénarios comparatifs favorisent successivement les trois énergies prédominantes :

- Le bois ;
- Le gaz ;
- L'électricité.

Le principe central consiste à favoriser le bois-énergie :

- soit en énergie 1 (les compléments étant alors apportés selon deux scénarios, gaz puis électricité ou électricité puis gaz) ;
- soit en énergie 2.

Les énergies sont successivement généralisées dans leur champ d'application. Il y a toujours une solution électrique qui permet de combler les carences (hors champs d'application) des deux autres énergies. Les combinaisons donnent quatre scénarios :

- BOIS/GAZ/ELEC ;
- BOIS/ELEC (le GAZ est alors absent) ;
- GAZ/BOIS/ELEC ;
- ELEC/BOIS/GAZ (le GAZ est alors absent, le BOIS est présent sous forme d'appareils indépendants de chauffage avec appoint électrique et en réseau de chaleur).

Le champ d'application du bois obéit aux principes suivants :

- Toutes les communes sont supposées disposer de ressources suffisantes (en raison des faibles volumes nécessités par le neuf), en déchets végétaux ou d'industrie dans un périmètre donné.
- En zone rurale, une installation bois par immeuble (maison individuelle ou immeuble collectif)
- En zone urbaine, les opérations groupées permettent la création de mini réseaux de chaleur (bois, appoint gaz pour le chauffage et l'ECS)
- En raison des émissions dues aux chauffages individuels au bois en zone urbaine, le bois est écarté en MI dans l'immédiat au profit des chaudières collectives et des réseaux de chaleur (technologies moins polluantes)

Le champ d'application du gaz est défini selon les principes suivants :

- Les communes reliées au réseau de gaz étant identifiées (25% des communes en 2005 qui concernent 75% de la population), il n'y a pas de connexion nouvelle d'ici à 2050 ;
- Dans les communes desservies, les zones urbanisées au cours de l'intervalle 2005-2050 sont supposées systématiquement connectées (donc tous les logements neufs).
- En présence du réseau, il existe toujours une solution gaz

Le champ d'application de l'électricité répond aux les principes suivants :

- Il existe toujours une solution « électrique » (sous forme de pompe à chaleur notamment), pour tout niveau de performance et pour toute typologie (MI, IC, CCI ou CCC).
- Donc, dans les scénarios, l'électricité remplit tout le champ d'application (soit en énergie 1, soit en énergie 2, après le bois).

2.4.1.3 Les effectifs de logements neufs selon les différents scénarios

Dans le scénario BGE (BOIS/GAZ/ELEC), compte tenu des hypothèses adoptées, tous les immeubles collectifs peuvent être équipés au bois (en chauffage central collectif) ; en comptant les maisons individuelles, le bois équipe les 2/3 des logements neufs. Les règles d'implantation des maisons individuelles (hors rural où la chaudière bois est acceptée), de préférence en densification de bourgs, favorisent l'extension des réseaux de gaz existants : il y a donc peu de logements individuels qui recourent à la PAC électrique (environ 3% en moyenne sur l'ensemble du parc neuf).

Dans le scénario BEG (BOIS/ELEC/GAZ), les effectifs « bois » sont identiques aux précédents, le solde soit 1/3 étant pris en totalité par les solutions électriques : le gaz est donc totalement absent.

Dans le scénario GBE (GAZ/BOIS/ELEC), le gaz étant prioritaire, il équipe les 3/4 des logements, et près de 90% des immeubles collectifs, le solde affecté aux solutions électriques étant identique au premier scénario BGE, soit 3%.

Dans le scénario EBG (ELEC/BOIS/GAZ), la totalité des effectifs est en électrique (PAC).

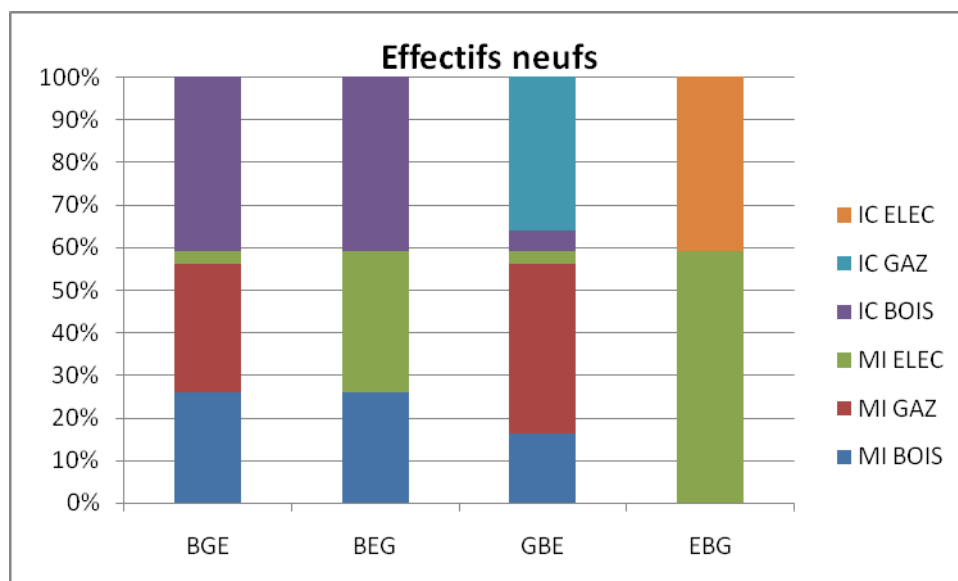


Figure 49. Répartitions des effectifs de logements neufs (2010-2050) selon les quatre scénarios

2.4.1.4 Les effectifs de logements neufs et réhabilités selon les différents scénarios

Les règles d'affectation des énergies, établies selon la localisation (rural/urbaine), la présence ou non de réseau de chaleur et de la desserte en gaz, aboutissent à des répartitions très contrastées selon les quatre scénarios en 2050 :

- BOIS/GAZ/ELEC : le bois est présent dans 43% des effectifs, le gaz est présent à 26% en chauffage central individuel (en maison ou immeuble), l'électricité équipe les 31% restants ;
- BOIS/ELEC : le bois occupe la même place que dans le scénario précédent, le solde étant à totalité équipé en électrique (le gaz est en effet totalement absent) ;
- GAZ/BOIS/ELEC : la position du bois est réduite à un peu plus de 25%, le gaz occupe environ 43%, l'électricité équipe les mêmes segments que dans le scénario BOIS/GAZ/ELEC ;
- ELEC/BOIS/GAZ : le gaz étant totalement absent, le bois est présent à 18% sous forme d'appareils indépendants de chauffage avec appoint électrique et en réseau de chaleur, les PAC électriques équipent plus de 53% des logements en chauffage central indépendant, 14% des logements en chauffage central collectif, l'effet joule subsistant dans moins de 15% des logements.

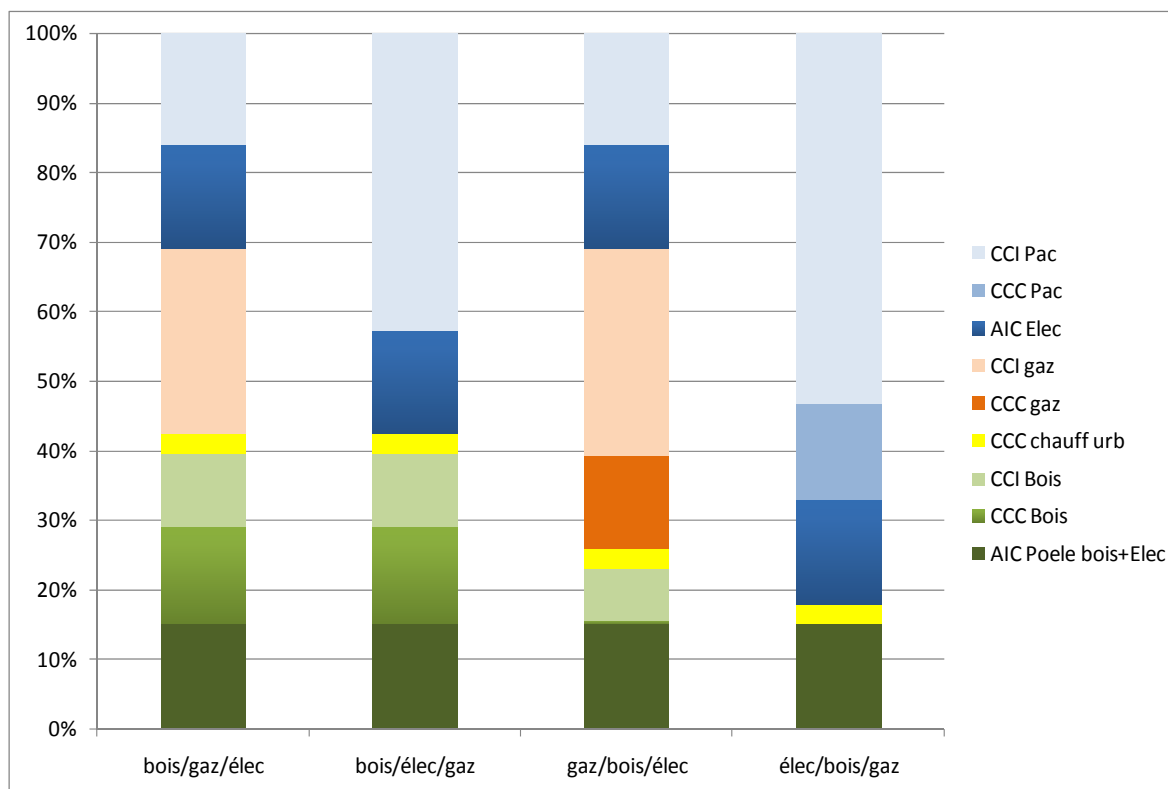


Figure 50. Répartition des effectifs de résidences principales selon les énergies de chauffage, pour les quatre scénarios

2.4.2 Les résultats des scénarios énergétiques

2.4.2.1 Les consommations d'énergie de chauffage et les émissions dans la construction neuve

En raison des fortes disparités dans les rendements de génération des systèmes, qui ne sont pas compensés par des actions renforcées sur le bâti dans nos hypothèses d'obtention du niveau BBC¹⁴, le scénario dans lequel le bois puis le gaz sont fortement développés (BGE) se s'écarter nettement du scénario ELEC/BOIS/GAZ (EBG), qui en réalité est construit entièrement sur le développement de la pompe à chaleur. Cette technologie, dont les rendements de génération (COP) varient de 3,3 en 2010 à 4,6 en 2050 pour la maison individuelle, et de 2,7 en 2010 à 4,4 en 2050 pour l'immeuble collectif, permet ainsi de quasiment stabiliser les consommations dans le neuf à moins de 10 TWh (ef) en 2050. Des gains complémentaires sont à prévoir, dans la mesure où les systèmes énergétiques n'ont pas été renouvelés dans l'intervalle 2010-2050. En intégrant un renouvellement des systèmes complet tous les 20 ans, le gain sur les systèmes remplacés pourrait suffire à équilibrer les entrées de construction neuve après 2050, au moins pour les systèmes de PAC, électrique puis dans une moindre mesure, des PAC gaz.

¹⁴ BBC : bâtiment basse consommation.

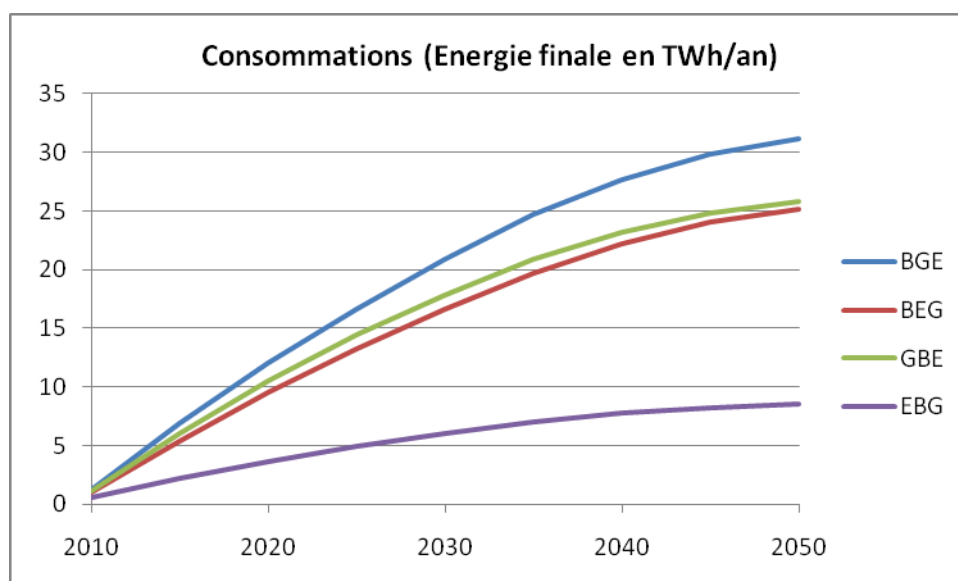


Figure 51. Consommations d'énergie finale dans la construction neuve (2010-2050) pour les quatre scénarios.

En énergie primaire, les écarts sont moins sensibles, mais ce seul critère conduirait à privilégier les solutions électriques, alors que le meilleur résultat est obtenu, en émissions de CO₂, par le scénario associant Bois et Electricité (BEG) : en 2050, les émissions dues au chauffage des constructions neuves s'élèveraient à 3,5 MtCO₂ pour le scénario GBE privilégiant le gaz, contre 0,56 MtCO₂ pour le scénario BEG dans lequel le bois est assisté par les PAC électriques. Dans ce cas, 6 millions de logements seraient chauffés au bois en 2050, le solde de 3 millions étant équipés de PAC électriques.

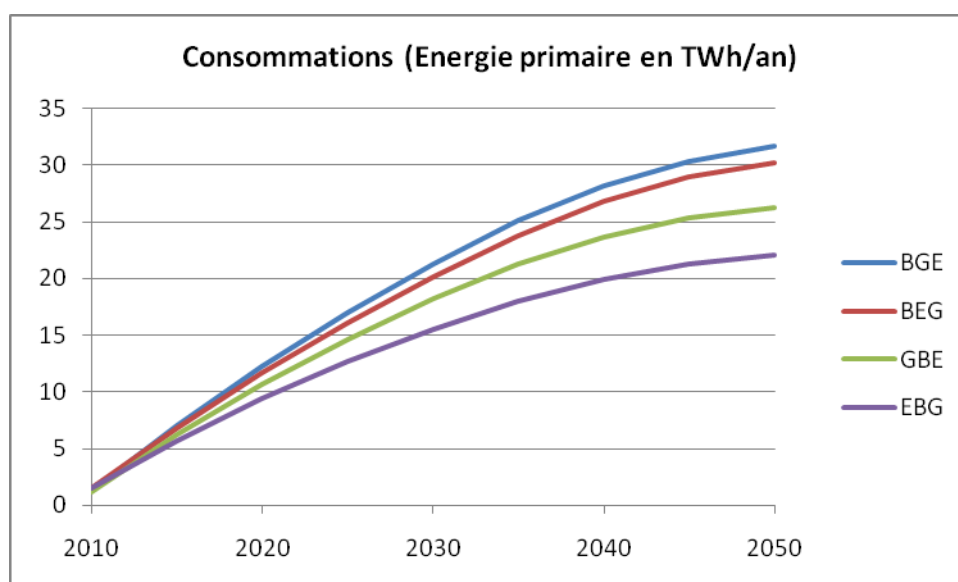


Figure 52. Consommations d'énergie primaire dans la construction neuve (2010-2050) pour les quatre scénarios.

Conversion : 1 pour le gaz et le bois ; 2,58 pour l'électricité

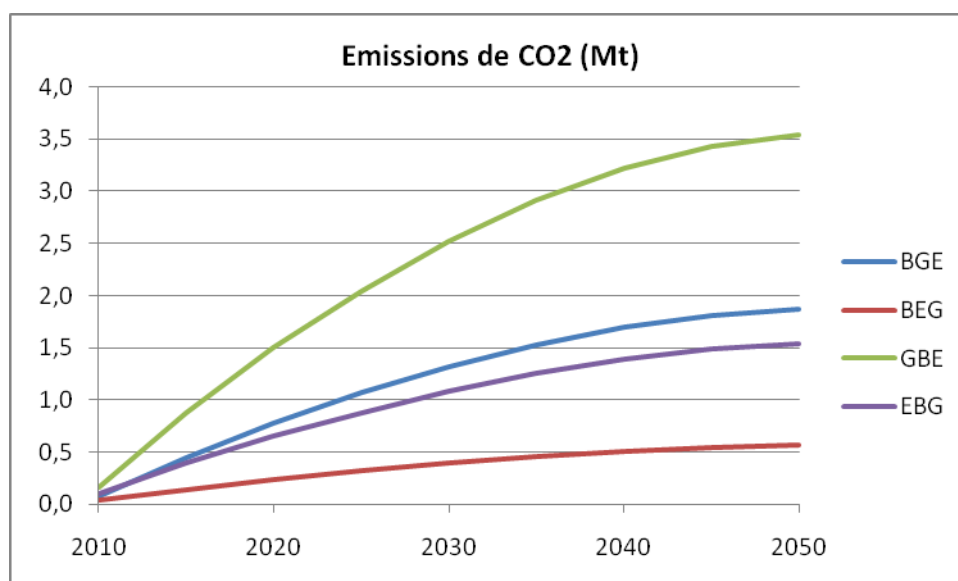


Figure 53. Emissions de CO2 dans la construction neuve (2010-2050) pour les quatre scénarios.

Conversion : 205 gCO₂/kWh pour le gaz ; 0 gCO₂/kWh pour le bois ; 180 gCO₂/kWh pour l'électricité.

2.4.2.2 Un scénario de réhabilitation : le scénario BOIS/GAZ/ELEC

En 2050, compte tenu des règles d'affectation des énergies de chauffage et du rythme de réhabilitation dans le parc de construction antérieure à 2005, 9,4 millions de logements sont chauffés au bois, pour 8,6 millions chauffés à l'électricité (PAC majoritairement) et 6,9 au gaz. Les rendements des pompes à chaleur permettent de réduire la part de l'électricité dans les consommations d'énergie finale à 15%, contre 35% pour le gaz et 50% pour le bois. En énergie primaire, les différences entre énergies s'amenuisent dans ce scénario. Enfin, le gaz devient prépondérant dans les émissions de CO₂, à 14,1 MtCO₂ sur un total de 19,4 MtCO₂ en 2050, soit une réduction de 71% par rapport au niveau de 2005 (67,3 MtCO₂). Ce scénario n'apporte donc pas de réduction suffisante des émissions pour compenser les émissions supplémentaires du neuf construits dans l'intervalle (environ 2 MtCO₂), pour le seul poste du chauffage.

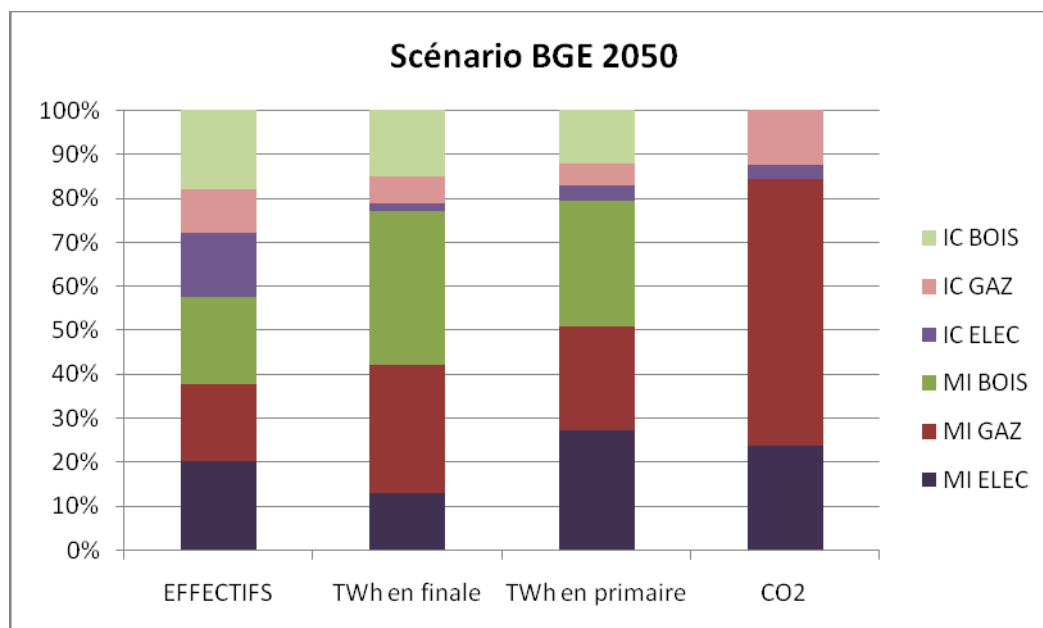


Figure 54. Répartitions des effectifs de logements, des consommations énergétiques (en énergie finale et en énergie primaire) et des émissions de CO2 en 2050 pour le scénario BOIS/GAZ/ELEC

Le rythme de réhabilitation doit également être ajusté en fonction des objectifs à 2020. Il est convenu dans les scénarios que les gestes de réhabilitation du parc existant sont tous appliqués dans l'intervalle 2010-2050, donc au rythme de 1/40 du parc chaque année. Les équipements de chauffage sont également réhabilités entièrement tous les 20 ans, quelque soit le système de chauffage. La période de 40 ans permet donc deux renouvellements complets des systèmes énergétiques. Dans ces conditions, un maximum de consommation apparaît en 2030, alors que 50% du parc est réhabilité, et que les systèmes énergétiques n'ont été rénovés qu'une seule fois. Il conviendrait, pour réduire ce pic, de donner priorité aux logements très énergétivores, et pour lesquels les gains de réhabilitation seraient les plus forts, soient les logements construits massivement dans l'intervalle 1940-1975.

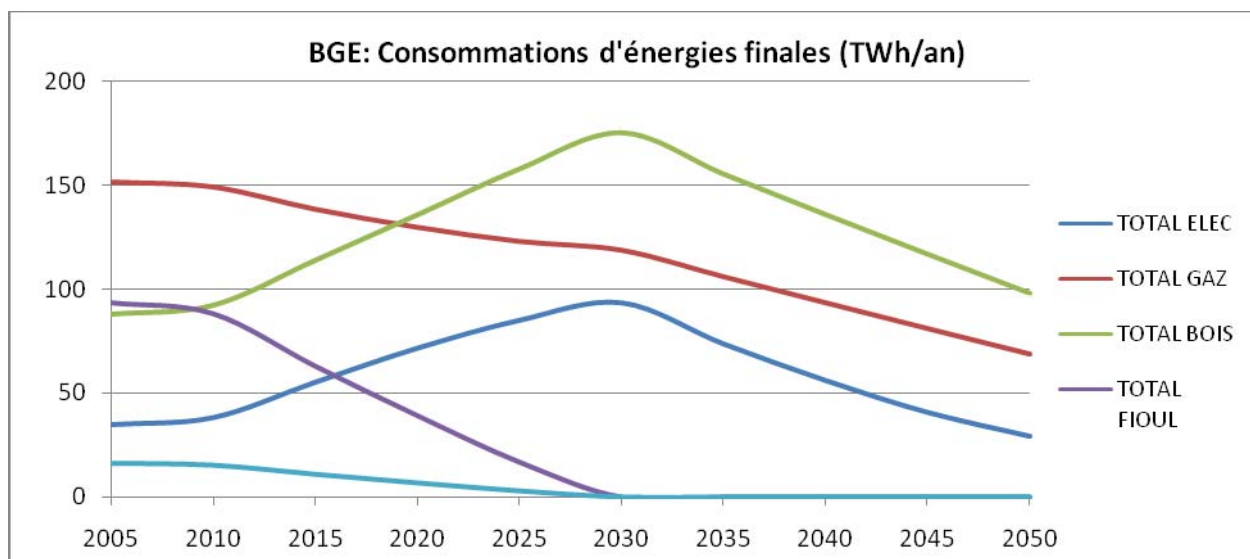


Figure 55. Evolution des consommations d'énergie de chauffage pour le scénario BOIS/GAZ/ELEC

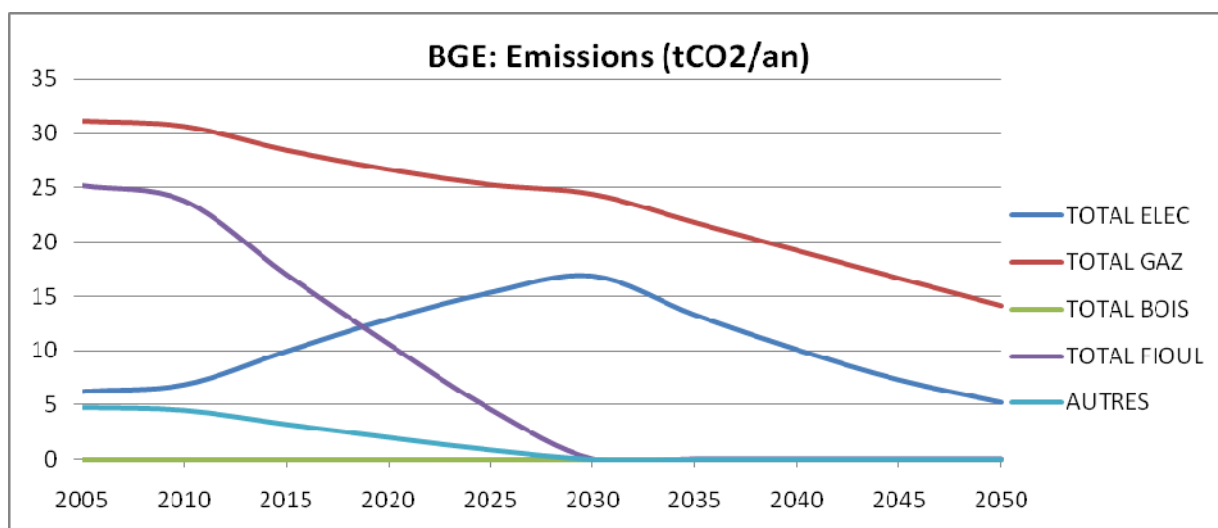


Figure 56. Evolution des émissions de CO2 liées au chauffage pour le scénario BOIS/GAZ/ELEC

2.4.2.3 Une estimation des consommations totales (chauffage et production d'eau chaude sanitaire)

Pour le scénario BOIS/GAZ/ELEC qui a été simulé, il est possible d'estimer les consommations totales d'énergie destinée au chauffage et à la production d'eau chaude sanitaire (ECS) en 2050 :

- Les besoins en ECS ont auparavant été déterminés par zone climatique et selon la typologie MI/IC en kWh/m²/an, et projetés à 2050 ;
- Pour les rendements de génération d'ECS, nous ferons l'hypothèse d'un choix de système identique pour le chauffage et la production d'ECS, mais avec des rendements légèrement inférieurs, tels qu'ils ont été identifiés plus haut ;

- Les consommations de chauffage sont également connus pour les logements construits dans l'intervalle 2010-2050, ainsi que pour le parc réhabilité de construction antérieure à 2005¹⁵.

Les consommations totales d'énergie pour la production d'eau chaude sanitaire s'élèveraient à plus de 45 TWh en 2050, dans le scénario qui privilégie le bois puis le gaz, en raison des rendements inférieurs de génération de ces deux énergies, comparées à ceux des pompes à chaleur électrique. Pour le neuf 2010-2015, le solaire thermique a été associé pour tous les systèmes hors bois, pour éviter la compétition entre deux énergies renouvelables.

En comparaison, l'application systématique du solaire thermique selon les règles énoncées plus haut (7,66 millions de mètres carrés en maisons individuelles et 5,73 millions de mètres carrés en immeuble collectif affectés selon les zones climatiques) permettrait de réduire la consommation totale de plus de 5 TWh, et les émissions de CO₂ de près de 0,5 millions de tonnes en 2050. Ces valeurs seraient plus significatives dans la situation des consommations d'énergie actuelles, compte tenu du poids des énergies carbonnées, beaucoup plus important.

Tableau 61. Consommations d'énergie et émissions de CO₂ pour la production d'eau chaude sanitaire en 2050.

| Energie (ECS) | Sans solaire en réhabilitation | | Avec solaire en réhabilitation | |
|---------------|--------------------------------|--|--------------------------------|--|
| | Consommations (TWh ef) | Emissions CO ₂ (MtCO ₂) | Consommations (TWh ef) | Emissions CO ₂ (MtCO ₂) |
| BOIS | 28,25 | 0 | 25,60 | 0 |
| ELEC | 5,14 | 0,92 | 4,32 | 0,778 |
| GAZ | 11,98 | 2,46 | 10,36 | 2,123 |
| TOTAL | 45,37 | 3,38 | 40,28 | 2,901 |

Conversion : 205 gCO₂/kWh pour le gaz ; 0 gCO₂/kWh pour le bois ; 180 gCO₂/kWh pour l'électricité.

Les consommations totales s'élèveraient à près de 270 TWh en 2050, contre 437 TWh en 2005 pour les deux postes, soit une réduction de 40 % en énergie finale. Mais compte tenu de l'importance du bois énergie, qui atteint 145 TWh soit une augmentation de 60% par rapport au niveau de 2005. Cette part importante du bois se traduit dans le bilan CO₂ en 2050, à 24 MtCO₂ en 2050, soit environ un facteur de division par 3 par rapport à la situation 2005.

¹⁵ Il conviendra également d'intégrer de façon forfaitaire, faute de statistiques complètes disponibles, les logements construits dans l'intervalle 2005-2010, qui répondent au niveau de la réglementation thermique RT2005, éventuellement améliorée par application des labels THPE / THPE ENR (très haute performance énergétique / Energie renouvelable).

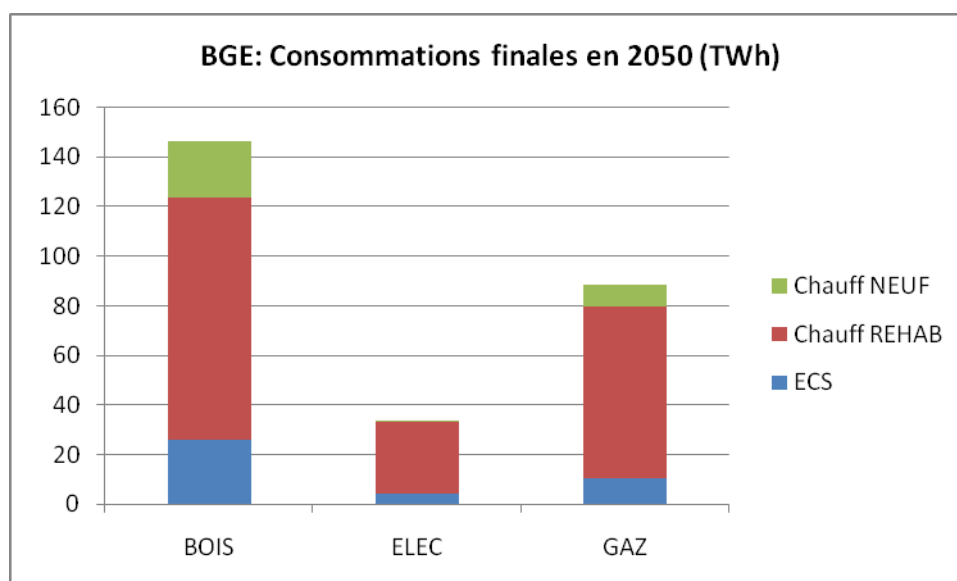


Figure 57. Répartition des consommations énergétiques en chauffage et production d'eau chaude sanitaire pour le scénario BOIS/GAZ/ELEC en 2050 (TWh énergie finale)

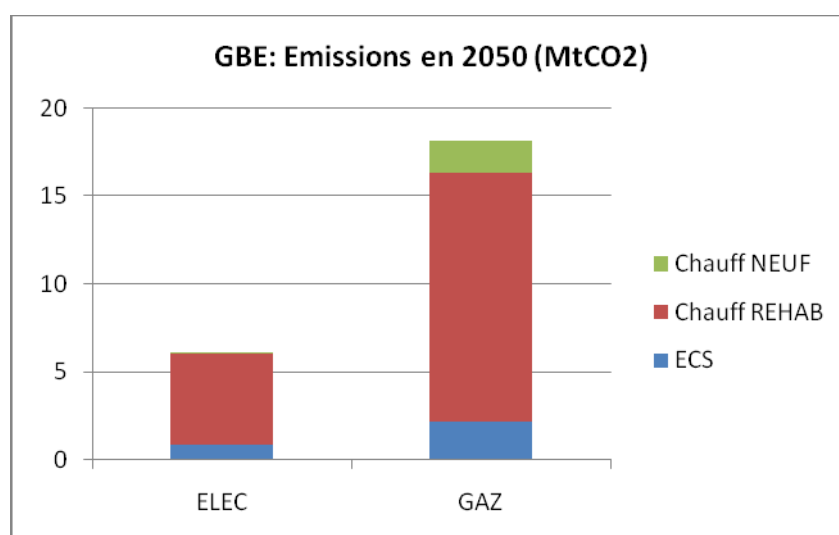


Figure 58. Répartition des émissions de CO2 dues au chauffage et à la production d'eau chaude sanitaire pour le scénario BOIS/GAZ/ELEC en 2050 (MtCO2)

2.4.3 L'aménagement du territoire

2.4.3.1 La croissance récente bénéficie en priorité aux zones urbaines les moins denses.

La croissance annuelle du parc est supérieure à la moyenne métropolitaine dans les unités urbaines de population inférieure à 10.000 habitants, ainsi que dans le rural¹⁶. Le pic de croissance de la population correspondante tend à s'éloigner des centres des aires urbaines au

¹⁶ Cf. C. Plateau, J. Rakotomalala, A. Robert, *Hausse générale de la construction de logements, détente du marché dans les villes moyennes*, SESP en bref, n°9, Août 2006.

cours du temps : ce pic est passé d'une distance de 15 km dans la décennie 1990-1999, à 25 km après 2000¹⁷. La part de la construction neuve sous forme de maison individuelle en diffus et en rural, est aujourd'hui de 26% (108.000 sur 410.000 unités). La surface moyenne des terrains étant de 1426 m² en zone rurale¹⁸, la consommation annuelle de territoire y atteint 15.400 ha.

2.4.3.2 L'évolution des densités urbaines par la localisation des logements neufs

Trois sous-ensembles du parc de résidences principales sensiblement d'égale importance peuvent être retenus pour distinguer les comportements de mobilité :

- les villes centre (32% des résidences principales en 1999) ;
- les banlieues (31%)
- les zones à plus faible densité, et plus éloignées des centres, couronnes périurbaines (14,2%), espaces multipolarisés (4,6%) et espace à dominante rurale (18,2%), soit un total de 37%.

Tableau 62 : Répartition des résidences principales (RP) par zone d'aire urbaine en 1999

| | Structure 1999 (%) | Nombre RP 1999 |
|--------------------------------------|--------------------|----------------|
| Ville centre | 32 | 7 618 081 |
| Banlieue | 31 | 7 380 016 |
| Couronne périurbaine | 14,2 | 3 380 523 |
| Ensemble des 354 aires urbaines (1) | 77,2 | 18 378 621 |
| Multi polarisé (2) | 4,6 | 1 095 099 |
| Espace à dominante urbaine (1) + (2) | 81,8 | 19 473 721 |
| Espace à dominante rurale | 18,2 | 4 332 783 |
| TOTAL | 100 | 23 806 505 |

Source : Notes de synthèse du SESP N° 160, Août à décembre 2005

La croissance urbaine est tirée par le développement des espaces les moins denses situés à la périphérie des pôles urbains, ce qui confirme la poursuite de l'étalement urbain identifié à partir des recensements de 1975 à 1999.

Trois scénarios contrastés peuvent être envisagés, sur la base des taux actuels de renouvellement du parc :

- un scénario tendanciel « diffus » favorisant le développement des zones les moins denses (périurbain et rural), obtenu en prolongeant la répartition récente (de 1999 à 2003) de la construction neuve entre les différentes zones, mais sans création de pôles de densité ;

¹⁷ B. Morel, P. Redor, *Enquêtes annuelles de recensement 2004 et 2005, La croissance démographique s'étend toujours plus loin des villes*. Insee Première 1058, Janvier 2006.

¹⁸ Source: *La construction de maisons individuelles, Une tenue remarquable, Point de conjoncture, Bilan et perspectives du marché et questions d'actualité*. UNCMI, Conférence de presse du jeudi 23 février 2006.

- un scénario « écoquartiers périphériques » identique au précédent, mais tentant de rassembler les logements neufs en zones d'aménagement concerté, peu à peu densifiées, au sein du périurbain ;
- un scénario « densification des centres » qui accentue le dynamisme des villes centres et des banlieues (première couronne).

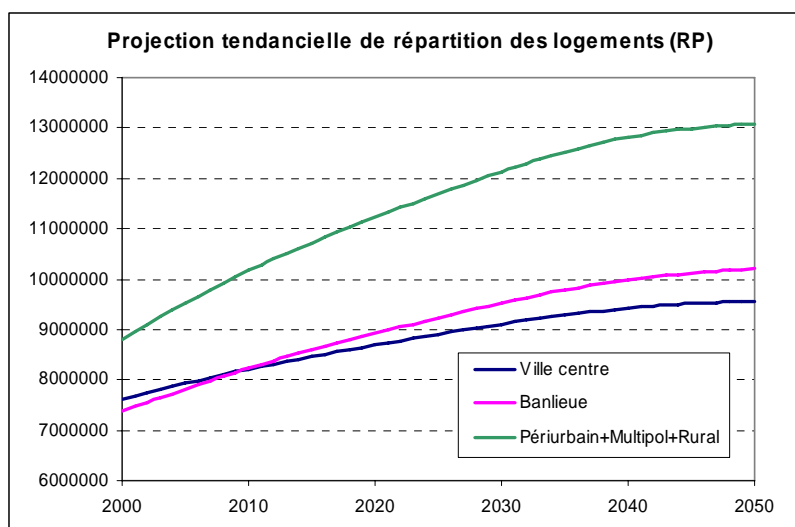
Les deux scénarios extrêmes peuvent être poussés à leur limite (100% de la construction en rural pour le premier, et 100% de la construction neuve au centre de l'aire urbaine pour le dernier). En revanche, il est plus difficile de définir les paramètres de réalisation du scénario intermédiaire, de création ou de renforcement des polarités secondaires, car il conviendrait d'identifier les communes de l'aire urbaine qui en bénéficieraient. Il est également possible de décrire ce scénario comme résultant de la construction de la périphérie sur elle-même, selon le principe du « bonus de COS ». Cela consisterait à autoriser par exemple un doublement de la surface habitable, par création d'un grand ou de plusieurs petits logements, en extension d'immeubles (souvent de type pavillonnaire) existants.

Tableau 63 : Variation du nombre de résidences principales (logements neufs) entre 1999 et 2003 par zone d'aire urbaine

| | Variation du nombre de résidences principales (°) | (En %) |
|--------------------------------------|---|----------|
| Ville centre | 247 282 | 0,211 |
| Banlieue | 343 610 | 0,293 |
| Couronne périurbaine | 285 021 | 0,243 |
| Ensemble des 354 aires urbaines (1) | 875 913 | 0,747 |
| Multi polarisé (2) | 79 472 | 0,068 |
| Espace à dominante urbaine (1) + (2) | 955 385 | 0,815 |
| Espace à dominante rurale | 217 004 | 0,185 |
| TOTAL | 1 172 389 | 1 |

(°) Entre 1999 et 2003, Source : Notes de synthèse du SESP N° 160, 2005

La projection tendancielle aboutirait à une domination du périurbain en 2050 : le parc de RP en centre ville représenterait 30% du total en 2025 (29% en 2050), celle des banlieues 31% (31% en 2050), et celle des zones les moins denses 39% (40% en 2050).

Figure 59 : Projection tendancielle de répartition des logements

De nombreuses questions sont ainsi soulevées¹⁹ : quelle est la capacité du foncier en centre ville et en banlieue à accueillir des logements neufs ? Comment les contraintes de foncier peuvent-elles être levées pour contrer l'étalement vers le rural, au-delà du périurbain ? Quelle est la part incompressible du rural dans la construction neuve (résidences principales) ? Pour la mobilité locale, un scénario de « densification des centres » n'aboutirait sans doute pas à l'optimum : la plus faible dynamique de la construction neuve en périurbain peut ne pas être suffisante pour créer des pôles de services, desservis par des réseaux efficaces de transports en commun. En revanche, un scénario « diffus », s'appuyant sur la tendance actuelle, cumule à l'horizon 2050 la construction neuve de 5,5 millions de résidences principales en zone peu denses (3,16 en 2025). La question essentielle réside dans la possibilité d'organiser cette dynamique en pôles de services, facilitant l'irrigation des zones peu denses actuelles. Il s'agirait dans ce cas d'une densification du périurbain, sous forme d'écoquartiers périphériques : à raison de 3000 à 4000 logements par opération en 20 ans, les 2 millions de logements à construire hors centres et banlieues (et en considérant 1 million de logements construits en rural) peuvent être regroupés en 500 ou 600 opérations soit en moyenne 1,5 opération pour chacune des 354 aires urbaines réparties sur le territoire.

L'organisation de formes urbaines continues (maisons de ville, petits immeubles²⁰ en R+3) apporte de nombreux avantages, en particulier du point de vue de l'exploitation de l'habitat :

- la possibilité de développement de services de proximité, de couplage habitat-activité ;
- une réduction des besoins de chauffage, par l'effet de contiguïté du bâti (réduction de 30 à 50% des déperditions thermiques par l'enveloppe) ;
- une meilleure efficacité de la mutualisation des besoins et des ressources énergétiques, sous forme de réseaux de chaleur urbains (bois énergie, cogénération, etc.).

La question de la production décentralisée d'énergie plaide pour la mise en micro réseaux d'ensembles de bâtiments, réduisant les besoins de stockage d'énergie, qui peuvent faire appel

¹⁹ Cette analyse, en cours, fera l'objet d'un complément présenté en octobre 2009 au séminaire de l'ADEME.

²⁰ Une catégorie du parc connaît une expansion particulière : celle des gabarits intermédiaires entre le grand ensemble et la pavillon individuel, sous forme d'immeubles de moins de 3 étages, ne nécessitant pas d'ascenseur, cf. SESP, n°9, Août 2006.

à des solutions collectives, ce qui atténue d'autant l'impact sur les réseaux de distribution électrique notamment.

Références

- ADEME (1999), Stratégie de localisation de la grande distribution alimentaire et conséquences sur la mobilité, Beauvais Consultants, rapport au PREDIT, 35p.
- AMBROSINI (C.), PATIER (D.), ROUTHIER (J.L.), al. – *Résultats des enquêtes réalisées à Bordeaux 1994, Dijon et Marseille*, 1996, LET, 1999.
- Ambrosini C., Routhier J. L. (2004), Objectives, Methods and Results of Surveys Carried out in the Field of Urban Freight Transport: An International Comparison, *Transport Reviews*, n° 24 (1), p. 57 – 77.²
- Arentze T. A., Oppewal H., Timmermans H. J. P., A multipurpose shopping trip model to assess retail agglomerations effects, *Journal of Marketing Research* n° 42 (2005) 109–115.
- Badoe D. A., Steuart G. N. (1997) Urban and Travel Changes in the Greater Toronto Area and the Transferability of Trip-generation Models, *Transportation Planning and Technology*, vol. 20, pp. 267-290.
- Beauvais Consultants (2005), *Evolution du commerce et utilisation de la voiture*, DRAST, Projet Distribution des biens de consommation et usage de la voiture particulière pour motif ‘achats’ dans les agglomérations françaises, 138 p.
- BEAUVAIS Consultants, – *Evolution du commerce et utilisation de la voiture*, 134 p., DRAST, 2003.
- Bellamy V., Léveillé L.(2007), *Enquête Budget de famille 2006*, Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques, <http://www.insee.fr/fr/publications-et-services/irweb.asp?id=BDF06>.
- Borgers A., Timmermans H. (1986), A model of pedestrian route choice and demand for retail facilities within inner-city shopping areas, *Geographical Analysis* n° 18 (2), p. 115–128.
- BOUDOUIN (D.) – *Guide de mise en œuvre d'espaces logistiques urbains*. CRET-Log, Action fédérative ELU, PREDIT, à paraître à la Documentation Française, 2006.
- BOUDOUIN (D.), MOREL (C.) – *Logistique urbaine ; l'optimisation de la circulation des biens et services en ville*. La Documentation française, 134 p., 2002.
- Bouget, S. (1995), *Flux d'achats*, CECOD.
- Button K.J., Hensher D.A. (2001), *Handbook of Transport Systems and Traffic Control*, Handbooks in Transport vol. 3, Pergamon, Amsterdam.
- CALVET (M), CALZADA (C), LE BLANC (F), VANDENDRIESSCHE (M), *Les modèles de développement urbain en France (1999-2003)*, Notes de synthèse du SESP n° 160 - 08/2005
- CCI Lyon (2006), Consommation des ménages: Retour vers le centre, *Agir et Entreprendre* n° 15 p. 14–19.
- CCI Lyon (2008), Dossier de presse et premiers résultats, 8^{ème} Enquête sur les comportements d'achat des ménages en région lyonnaise, <http://www.lyon-cci.fr>.
- Cérami N., Camus M.(2004), Le budget des familles en 2001, *INSEE résultats* n° 29, avril 2004.

- CERTU, ADEME – *Plans de déplacements urbains. Prise en compte des marchandises, guide méthodologique*, 147 p., 1998.
- CHOLEZ (C.) – *Les chauffeurs-livreurs : une culture de la mobilité* - Thèse LAST-VST - Université de Tours, 2001.
- Cochez N. (2003), Les entreprises du petit commerce en France entre 1993 et 2003, Rapport Technique Bureau A2 pour la Direction du Commerce, de l'Artisanat, des Services et des Professions libérales, 36 p.
- Communauté Urbaine Lille Métropole (2006), *Enquête sur les déplacements des habitants de Lille Métropole ED 2006. Premiers résultats*. Lille métropole, 17 p.
- Comptes du logement 2006, Edition juillet 2008 (site : www.statistiques.equipement.gouv.fr)
- Cubukcu, K. Mert (2001) Factors Affecting Shopping Trip Generation Rates in Metropolitan Areas, *Studies in Regional and Urban Planning*, vol. 9, pp. 51-68.
- DABLANC (L.) – *Transport de marchandises en ville. Une gestion publique entre police et services, Liaisons*, 1998.
- DABLANC (L.), PATIER (D.) – *Rythmes urbains des marchandises*. Revue TEC 166, 2001.
- Dablanc L., Pecheur P. (2000), Transport de marchandises en ville: connaître et agir sur les déplacements d'achats, Lettre de Commande n. 99MT08 – TMV, 44 p.
- Delaporte C., Courel J. (2006) Les déplacements pour achats. Analyse des franciliens en matière de déplacements pour achats, Les cahiers de l'enquête globale de transport n°7, juillet 2006.
- Desse R. P. (2001), *Le nouveau commerce urbain. Dynamiques spatiales et stratégies des acteurs*, Presses Universitaires de Rennes - Collection espace et territoires, 198 p.
- DREIF (1995), Les déplacements des Franciliens en 1991-1992. *Enquête Globale de Transport*, 70p.
- DREIF (2004), *Les déplacements des Franciliens en 2001-2002. Enquête Globale de Transport, Plan de Déplacements*, http://www.ile-de-france.equipement.gouv.fr/IMG/pdf/egt2001_cle2bdd19.pdf, 42 p.
- DUFOUR (J.G.), PATIER (D.) – *Les transports de marchandises et la ville*, table ronde 109, Conférence Européenne des Ministres des Transports, p. 29-104, 1997.
- Durand S. (2002), Les différentes familles de modèles du transport de marchandises en urbain et interurbain, Laboratoire d'Economie des Transports, Journée de formation ENPC du 29 mai 2002.
- Eppli M. J., Shilling J. D. (1996), How critical is a good location to a regional shopping center ? *Journal of shopping center research*, vol. 12 n° 3, pp. 459-468.
- FCD (2007) *Un secteur dynamique en prise avec le monde*, Document de présentation des secteurs de la FCD, <http://www.fcd.asso.fr/index.php?page=14>.
- FCD (2008) Commerce, Croissance, Consommation. Faits et chiffres, juillet 2008, Rapport FCD, 67 p.
- FRESNEAU (A.), COMMANAY (J.), ALBERGEL (A.), RHAM (de) (C.) – *Bilan environnemental du transport de marchandises en ville - Agglomération de Marseille* - Aria Technologies, ADEME, 100 p., 2000.

- GART, ADEME – *Guide technique et juridique pour les livraisons en ville*. Editions Celse, 168 p., 2004.
- GART, DREIF – *Et si l'on harmonisait les réglementations ?*, 2004.
- Gasnier A. (1996) Les jeunes : nouveaux consommateurs ou nouvelles formes de consommation commerciale du centre ville ?, dans *Les nouveaux acteurs du commerce et leurs stratégies spatiales*, Actes du colloque de Brest, Université de Bretagne Occidentale, mars 1995, Editeur Desse R. P., Université de Bretagne Occidentale, coll. Commerce et société, Brest, pp. 333-344.
- Gentile G., Vigo D. (2007), *Movement generation and trip distribution for freight modelling applied to city logistics*, Working Paper.
- GERARDIN Conseil – *Premiers enseignements à tirer des expérimentations innovantes*. Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement, 2001.
- Hensher D. A., Button K. J. (2001), *Handbook of Transport Modelling*, Handbooks in Transport vol. 1, Pergamon, Amsterdam.
- Hunt J. D., Kriger D. S., Miller E. J. (2005), Current operational land-use-transport modelling frameworks : a review, *Transport Reviews* vol. 25-3, pp.329-376.
- JACQUOT (A.), *De plus en plus de maisons individuelles*, Insee Première N° 885 - Février 2003
- JACQUOT (A.), *Des ménages toujours plus petits, Projection de ménages pour la France métropolitaine à l'horizon 2030*, Insee Première N° 1106 - Octobre 2006.
- Jarrige, J. M., Raynard C. (2003) Politiques de stationnement et mobilité locale : approche empirique, *Notes de synthèse du SES* n° 149, pp. 13-20.
- Jasaroski E., Minvielle, E. (1999) Analyse typologique de la mobilité quotidienne, *Notes de synthèse du SES* n° 125, pp.33-36.
- Kaufmann V., Jemelin C., Guidez J.M. (2000) *Vers des nouvelles dynamiques urbaines écomobiles ?*, IREC (EPFL) et CERTU, Rapport de recherche IREC n° 148, 164 p.
- Keefer, L. E. (1966) *Urban Travel Patterns for Airports, Shopping Centers, and Industrial Plants*, Highway Research Board, National Academy of Sciences - National Academy of Engineering.
- LEON (O.), GODEFROY (P.), *Projections régionales de population à l'horizon 2030. Fortes croissances au Sud et à l'Ouest*, Insee Première N° 1111 - Décembre 2006
- Lestrade S. (2002), Les centres commerciaux dans la recomposition économique et culturelle des territoires urbains, *Flux* n° 50, pp. 59-62.
- LET, ARIA Technologie, Systems Consult – *Mise en place d'une méthodologie pour la réalisation des bilans environnementaux du TMV*. ADEME, EDF, 2002.
- LET, PATIER (D.), (Ed.) – *L'intégration des marchandises dans le système des déplacements urbains*, Actes des 13^{es} entretiens Jacques Cartier, Montréal., 358 p., 2000.
- Long-Lee M., Pace K. (2005) Spatial Distribution of Retail Sales, *The Journal of Real Estate Finance and Economics*, vol. 31 n° 1, pp. 53-69.
- Martínez, F. J. (2001), Towards a Land-Use and Transport interaction framework. In Hensher D. A., Button K. J., *Handbook of Transport Modelling*, Handbooks in Transport vol. 1, Pergamon, Amsterdam, pp. 145-164.

- Michaud-Trevinal A., Cliquet C. (2002), Localisation commerciale et mobilité du consommateur, Actes du 5ème Colloque Etienne Thil, Université de La Rochelle, 26-27 septembre 2002, CD-ROM.
- MOREL (B.), REDOR (P.), *Enquêtes annuelles de recensement 2004 et 2005, La croissance démographique s'étend toujours plus loin des villes*. Insee Première 1058, Janvier 2006.
- Motte B. (2006), La dépendance automobile pour l'accès aux services aux ménages en grande couronne francilienne, thèse de doctorat en Géographie, Université de Paris I, 379 p.
- Noguera J. de J. (2005) Multiple Markets and Spatial Agglomeration in a One Shopping Trip Model. Working Paper. The Center for Economic Research and Graduate Education - Economic Institute, Prague, 27 p.
- Okoruwa A. A., Noruse H. O., Terza J. V. (1994), Estimating Sales for Retail Centers : An Application of the Poison Gravity Model, *The Journal of Real Estate Research*, vol. 9 n° 1, pp. 85-97.
- Orfeuil J. P. (1995) Les déplacements domicile-travail dans l'enquête Transports de l'I.N.S.E.E. 1993-1994, *Rapport de Recherche Inrets*, 2, Arcueil.
- Orfeuil J. P. (2001), « L'automobile en France : comportements, perceptions, problèmes, perspectives », colloque international de l'Institut pour la ville en mouvement, Marne la Vallée, juin 2001, 27 p.
- Ortúzar J. de D., Willumsen L. G. (2001), *Modeling Transport*, Wiley, London, UK.
- Ourednik A. (2004), Déplacement et télécommunications. Une étude de l'impact des phénomènes liés aux télé-services et télé-loisirs interactifs sur la mobilité individuelle, Séminaire.
- PATIER (D.) – *La logistique dans la ville*. Celse Ed., 168 p., 2002.
- PATIER (D.) – *La place du transport de marchandises en compte propre*. DRAST - PREDIT, 59 p., 2004.
- Patier D., Routhier J.L., Segalou E., Geraldin Conseil (2000), *Diagnostic du Transport de marchandises en ville dans une agglomération*, DRAST, 85 p.
- PATIER Danièle, ALLIGIER (L.) – *Les conséquences du développement de nouvelles formes de commerce sur la logistique urbaine*, DRAST, 2004.
- PLATEAU (C.), RAKOTOMALALA (J.), ROBERT (A.), *Hausse générale de la construction de logements, détente du marché dans les villes moyennes*, SESP en bref, n°9, Août 2006
- Putrevu S., Ratchford B. (1997), A Model of Search Behavior with an Application to Grocery Shopping, *Journal of Retailing*, vol. 73 (4), p. 463-486.
- PV-TRAC (2005) *A Vision for Photovoltaic Technology*, rapport du Photovoltaic Technology Research Advisory Council, Communauté européenne, 2005.
- Recker W. W., Kostyniuk L. P. (1978), Factors influencing destination choice for the urban grocery shopping trip, *Transportation* n° 7, p. 19-33.
- Rimlinger A. (2004), Le petit commerce : s'adapter pour exister, *Chiffres pour l'Alsace* n° 21, pp. 3-6.

- ROBERT-BOBEE (I.), *Projections de population pour la France métropolitaine à l'horizon 2050. La population continue de croître et le vieillissement se poursuit*, Insee Première N° 1089 - Juillet 2006.
- ROUTHIER (J.L.) – *Du transport de marchandises en ville à la logistique urbaine*, Synthèses et Recherches. 2001 plus n° 59, 67 p., DRAST, avril 2002.
- ROUTHIER J.L., PATIER D., SEGALOU E., GERARDIN Conseil – *Diagnostic du Transport de marchandises dans une agglomération*, Programme national Marchandises en ville, DRAST, 83 p., 2000.
- Routhier, J. L., Segalou, E., Durand, S. (2001) *Mesurer l'impact du transport de marchandises en ville - le modèle Freturb (version 1)*, Programme national marchandises en ville DRAST-ADEME, 104 p.
- Routhier, J. L. and Aubert, P. L. (1999) Freturb, un Modèle de Simulation des Transports de Marchandises en Ville, in: *Proceedings of the 8th World Conference on Transport Research*, vol. 1, Elsevier, Amsterdam, p. 531–544.
- Sassy Y., Guyard A. (2008), *Guide de la création d'entreprise en franchise*, Observatoire de la franchise, <http://www.observatoiredefracnchise.fr/guide-creation-entreprise-en-franchise/introduction-sommaire.htm>.
- Segalou E. (1999a), *Les déplacements pour achats à Bordeaux. Exploitation de l'enquête ménages 1998 de l'agglomération bordelaise*, Laboratoire d'Economie des Transports, Rapport d'étape n° 2 ADEME et DDT, 71 p.
- Segalou E. (1999b), *Note relative au calcul de la distribution des flux de véhicules pour motif achats zone à zone*, Laboratoire d'Economie des Transports, Rapport d'étape n° 2 ADEME et DDT, 14 p.
- Simma A., Cattaneo P., Baumeler M., Axhausen K. (2004) Factors influencing the individual shopping behaviour: The case of Switzerland, *Arbeitsberichte Verkehrs- und Raumplanung*, 247, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), ETH Zürich, Zürich.
- Talbot J. (2001), Les déplacements domicile-travail - De plus en plus d'actifs travaillent loin de chez eux, *INSEE Première* n° 767, avril 2001.
- Thill J. C., Timmermans H. (1992) Analyse des décisions spatiales et du processus de choix des consommateurs : théorie, méthodes et exemple d'applications, *L'espace géographique* n°2, pp. 143-166.
- Toilier F., Alligier L., Patier D., Routhier J. L. (2005) *Vers un modèle global de simulation de la logistique urbaine : FRETURB version 2*, Rapport DRAST n° 05-S-03, 186 p.
- TRASNEL (J.P.), Cahiers du CLIP n° 13, *Habitat et développement durable, étude rétrospective et prospective*, Mai 2001
- UNCMI (2006) *La construction de maisons individuelles, Une tenue remarquable, Point de conjoncture, Bilan et perspectives du marché et questions d'actualité*. UNCMI, Conférence de presse du jeudi 23 février 2006.
- Van de Walle I., Rivoire L. (2005) *Commerce et mobilité. L'activité commerciale face aux nouvelles politiques publiques de déplacements urbains*, CREDOC - Cahier de Recherche n° 216, novembre, 93 pp.

- Vickerman R. W., Barmby T. A. (1984) The Structure of Shopping Travel: Some Developments of the Trip Generation Model, *Journal of Transport Economics and Policy*, vol. 18, no. 2, pp. 109-121.
- Vickerman R. W., Barmby T. A. (1985) Household Trip Generation Choice: Alternative Empirical Approaches, *Transportation Research B*, vol. 19, no. 6, pp. 471-479.
- Ward M.R., Morganosky M. (2000), Online Consumer Search and Purchase in a Multiple Channel Environment, Working Paper, <http://www.uta.edu/faculty/mikeward/cannibal.PDF>, 22p.
- Zahavi Y. (1976), Travel Characteristics in Cities of Developing and Developed Countries, *World Bank Working Papers*, 230.

Table des matières

| | |
|--|-----------|
| Introduction | 1 |
| 1 Activité A « Transport de marchandises en ville » | 2 |
| 1.1 Cadrage des travaux | 2 |
| 1.2 Les outils de modélisation existants | 4 |
| 1.3 Tâche A 1 : Les évolutions de l’emploi et du nombre d’établissements dans diverses agglomérations | 8 |
| 1.3.1 Les évolutions observées à Lyon | 9 |
| 1.3.2 Les évolutions observées à Bordeaux | 10 |
| 1.3.3 Comparaison entre les évolutions de Bordeaux et Lyon | 11 |
| 1.4 Tâche A2 : Modéliser la demande de transport de biens de consommation finale | 13 |
| 1.4.1 Modéliser l’approvisionnement des établissements commerciaux | 13 |
| 1.4.2 Modéliser les comportements d’achat des ménages | 13 |
| 1.4.2.1 Introduction | 13 |
| 1.4.2.2 Constats et généralités sur les déplacements liés aux achats | 14 |
| 1.4.2.3 Modélisation des déplacements d’achat dans les agglomérations de taille moyenne | 18 |
| 1.4.2.4 Génération des déplacements d’achat | 20 |
| a) Revue de la littérature | 20 |
| b) Description du modèle proposé | 21 |
| 1.4.2.5 Modèle « aire de chalandise » | 25 |
| 1.4.2.6 Estimation du nombre de déplacements et de la distance associés au tissu commercial de chaque zone | 27 |
| 1.4.3 Modéliser la vente à distance | 27 |
| 1.4.3.1 Quelques notes sur le shopping drive | 28 |
| 1.4.3.2 La livraison à domicile : caractérisation et quelques éléments de modélisation | 28 |
| 1.4.3.3 Identification et simulation des points relais : principes méthodologiques | 30 |
| 1.5 Tâche A3 : Scénarios et résultats des simulations | 30 |
| 1.5.1 Description des scénarios | 30 |
| 1.5.1.1 La situation de référence | 31 |
| 1.5.1.2 Famille 1 : l’urbanisme commercial | 31 |
| a) Calcul des équivalences entre différentes catégories de commerces | 32 |
| b) Calcul des équivalences entre les niveaux de commerce de détail | 34 |
| 1.5.1.3 Famille 2 : « commerce à distance » | 36 |
| a) Scénario 2a « livraison à domicile » | 36 |
| b) Scénario 2b « généralisation des points relais » (PR) | 37 |
| 1.5.2 Résultat des simulations | 38 |
| 1.5.2.1 La situation de référence | 38 |
| 1.5.2.2 Les scénarios extrêmes | 39 |
| a) Scénario "tout hypermarché" | 39 |
| b) Scénario "tout en petit commerce" | 40 |
| c) Famille 2 : les scénarios "livraison à domicile" et "points-relais" | 42 |
| d) Synthèse sur l’ensemble des scénarios | 44 |
| 2 Activité B « Secteur résidentiel » | 46 |

| | | |
|------------|--|------------|
| 2.1 | Cadrage des travaux | 46 |
| 2.2 | Tâche B1 : Modèle dynamique du parc | 46 |
| 2.2.1 | Le champ de l'étude concerne les résidences principales | 46 |
| 2.2.1.1 | Les effectifs en 2006..... | 46 |
| 2.2.1.2 | Les conditions de confort et la surface moyenne des logements | 47 |
| 2.2.2 | Les données de population et la croissance du parc de logements..... | 49 |
| 2.2.2.1 | Population et ménages en France métropolitaine | 49 |
| 2.2.2.2 | L'estimation des taux de sortie, de vacants et de construction neuve..... | 53 |
| 2.2.2.3 | Les projections de construction neuve, par région..... | 54 |
| 2.2.2.4 | Les hypothèses retenues en tendanciel | 57 |
| 2.2.2.5 | Affectation des surfaces à construire | 60 |
| 2.2.2.6 | La localisation de la construction neuve..... | 60 |
| 2.2.2.7 | Les taux de sortie, de logements vacants et de construction neuve doivent être mieux appréhendés..... | 63 |
| 2.3 | Tâche B2 : Analyse énergétique et morphologique du parc de logements. | 63 |
| 2.3.1 | Le contexte réglementaire et technologique..... | 63 |
| 2.3.1.1 | La construction neuve et le niveau BBC (bâtiment basse consommation)..... | 63 |
| 2.3.1.2 | Les objectifs de réhabilitation du parc existant..... | 65 |
| 2.3.1.3 | Le bâtiment à énergie positive et la production du solaire photovoltaïque..... | 66 |
| 2.3.2 | Les consommations énergétiques de chauffage | 67 |
| 2.3.2.1 | Les consommations de chauffage en 2005 | 67 |
| 2.3.2.2 | Les perspectives de la construction neuve (2005-2050) | 69 |
| 2.3.2.3 | La réhabilitation du parc existant, de construction antérieure à 2005..... | 72 |
| 2.3.3 | Les consommations énergétiques de production d'eau chaude sanitaire | 75 |
| 2.3.3.1 | L'évolution des consommations énergétiques depuis 1985..... | 75 |
| 2.3.3.2 | Méthode d'évaluation prospective des besoins par personne | 77 |
| 2.3.3.3 | Estimation des rendements de production de l'ECS (analyse rétrospective)..... | 79 |
| 2.3.3.4 | Taux de satisfaction des besoins en ECS et estimation projective des besoins à 2050..... | 80 |
| 2.3.3.5 | Estimation des consommations unitaires destinées à l'eau chaude sanitaire | 83 |
| 2.3.3.6 | Dimensionnement du solaire thermique pour la production d'eau chaude sanitaire..... | 84 |
| 2.3.4 | Les qualités énergétiques et environnementales liées à la morphologie | 85 |
| 2.3.4.1 | L'approche méthodologique | 85 |
| 2.3.4.2 | Estimation du nombre d'étages du parc existant | 86 |
| 2.3.4.3 | Estimation des surfaces de toiture du parc existant | 88 |
| 2.3.4.4 | Les hypothèses adoptées pour l'estimation des potentiels de solarisation du parc existant..... | 89 |
| 2.3.4.5 | Estimation des surfaces de toiture disponibles (immeuble neuf ou existant)..... | 91 |
| 2.3.5 | Affectation des surfaces de toitures (solaire thermique et photovoltaïque)..... | 93 |
| 2.3.5.1 | Le potentiel du solaire thermique dans le parc existant | 93 |
| 2.3.5.2 | Le potentiel du solaire photovoltaïque dans le parc existant | 94 |
| 2.3.5.3 | Le potentiel de solaire thermique dans le neuf | 95 |
| 2.3.5.4 | Le potentiel photovoltaïque dans le neuf..... | 97 |
| 2.3.5.5 | Configurations d'immeubles collectifs en BEPOS selon la zone climatique | 98 |
| 2.3.5.6 | Effet « taille du parc » sur les consommations énergétiques à 2050 dans le neuf | 99 |
| 2.3.5.7 | Paramètre de contiguïté | 101 |
| 2.4 | Tâche B3 : Scénarios énergétiques et artificialisation du territoire | 102 |
| 2.4.1 | Les hypothèses de scénarios énergétiques | 102 |
| 2.4.1.1 | L'aménagement urbain durable et les segments privilégiés de la construction neuve..... | 102 |
| 2.4.1.2 | Les quatre scénarios énergétiques..... | 103 |
| 2.4.1.3 | Les effectifs de logements neufs selon les différents scénarios..... | 104 |
| 2.4.1.4 | Les effectifs de logements neufs et réhabilités selon les différents scénarios..... | 105 |
| 2.4.2 | Les résultats des scénarios énergétiques | 106 |
| 2.4.2.1 | Les consommations d'énergie de chauffage et les émissions dans la construction neuve | 106 |
| 2.4.2.2 | Un scénario de réhabilitation : le scénario BOIS/GAZ/ELEC..... | 108 |
| 2.4.2.3 | Une estimation des consommations totales (chauffage et production d'eau chaude sanitaire) 110 | |
| 2.4.3 | L'aménagement du territoire | 112 |

2.4.3.1 La croissance récente bénéficie en priorité aux zones urbaines les moins denses. 112
2.4.3.2 L'évolution des densités urbaines par la localisation des logements neufs 113

Références 117