

n° 2004-0189-01

juin 2005

Recherche et développement sur les économies d'énergie et les substitutions entre énergies dans les bâtiments

**Recherche et développement
sur les économies d'énergie
et les substitutions entre énergies
dans les bâtiments**

établi par

Jean ORSELLI,
ingénieur général des ponts et chaussées

Destinataire

Le Directeur de la recherche et de l'animation scientifique et technique



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

note à l'attention de

Monsieur le Ministre des transports,
de l'équipement, du tourisme et de la mer

A l'attention de

Monsieur le Directeur de la recherche
et de l'animation scientifique et technique

ministère
des Transports,
de l'Équipement,
du Tourisme
et de la Mer



conseil général
des Ponts
et Chaussées

Le Vice-Président

La Défense, le 23 JUIN 2005

Rapport n° 2004-0189-01

Par note du 2 septembre 2004, vous avez sollicité le concours du Conseil général des ponts et chaussées afin de recenser l'ensemble des thèmes possibles de recherche et développements sur les économies d'énergie et les substitutions entre énergies dans le domaine des bâtiments.

Je vous prie de bien vouloir trouver ci-joint le rapport établi par **M. Jean ORSELLI**, ingénieur général des ponts et chaussées.

Ce rapport établit que les économies d'énergie dans les bâtiments existants représentent un enjeu beaucoup plus important quantitativement que la diminution des consommations dans les bâtiments futurs, et qu'il convient donc d'y porter une attention particulière en terme de recherche et développement.

Il existe des techniques d'isolation, chauffage et appareillages électriques, très performantes économiquement et énergétiquement, mais qui sont loin d'avoir la place qu'elles devraient avoir sur le marché.

L'utilisation de la biomasse, déjà très employée en chauffage, reste toutefois cantonnée à une fraction du parc de logements et pourrait connaître une bien plus grande diffusion.

La publication de ce rapport par voie électronique sur le site internet du ministère interviendra, sauf objection de votre part, dans un délai de deux mois à compter de la présente diffusion.

Claude MARTINAND

Tour Pascal B
92055 La Défense cedex
téléphone :
01 40 81 21 22
télécopie :
01 40 81 62 62
mél . Cgpc-vp
@equipement.gouv.fr

Diffusion du rapport n° 2004-0189-01

- le secrétaire général du ministre des transports, de l'équipement, du tourisme et de la mer	1 ex
- le chef de la mission stratégie (DAFI)	1 ex
- le directeur de la recherche et de l'animation scientifique et technique	30 ex
- le directeur général de l'urbanisme, de l'habitat et de la construction	10 ex
- le secrétaire permanent du Plan Urbanisme, Construction, Architecture	5 ex
- le président de l'Agence gouvernementale de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie	5 ex
- le président du Centre scientifique et technique du bâtiment	5 ex
- le vice-président du CGPC	1 ex
- la présidente et les présidents de section du CGPC	7 ex
- la secrétaire et les secrétaires de section du CGPC	7 ex
- le coordonnateur du collège Logement du CGPC	1 ex
- le coordonnateur du collège Bâtiment et construction publique du CGPC	1 ex
- le coordonnateur du collège Aménagement, urbanisme, habitat et déplacements du CGPC	1 ex
- le coordonnateur du collège Environnement et aménagement durable du CGPC	1 ex
- le coordonnateur de la mission Normes et règlements techniques du CGPC	1 ex
- M. ORSELLI	1 ex
- archives CGPC	1 ex

Remerciements.

Les économies d'énergie et la substitution entre énergies dans le domaine des bâtiments, sujet du présent rapport, forment un ensemble à la fois très technique et très pragmatique, au sens des pratiques effectives des utilisateurs.

Or, nous verrons que les « grands utilisateurs » représentent une part très minoritaire de l'ensemble des usagers et se séparent eux-mêmes en multiples sous catégories. De plus, les solutions techniques applicables aux usagers individuels, logements à chauffage individuel et petits locaux tertiaires, constituent la plus grande partie des technologies utiles pour les grands utilisateurs. En conséquence, nous n'avons pas procédé à des enquêtes particulières les concernant.

Nous avons, par contre, privilégié des entretiens avec des « experts » du domaine de l'énergie dans les bâtiments et avec quelques responsables (et anciens responsables) de la politique dans le domaine.

Nous voudrions donc remercier les personnes suivantes que nous avons consultées :

Christophe Barel, ADEME,

Jean-Jacques Becker, Ministère de l'Économie, direction de la Prévision, ancien membre de la Mission interministérielle de l'effet de serre,

Pierre-André Bernard, expert en énergie auprès des tribunaux,

Dominique Bidou, président de l'Association Haute Qualité Environnementale, chargé de la sous-section Environnement du Conseil général des Ponts et chaussées,

Jean-Claude Boncorps, vice-président de la Fédération Française des Entreprises Gestionnaires de services aux Equipements, à l'Énergie et à l'Environnement (FG3E), président du Syndicat National du Chauffage Urbain et de la climatisation urbaine (SNCU),

Alain Corfdir, Ecole nationale des ponts et chaussées, ancien membre de la Mission interministérielle de l'effet de serre,

Christo Dimitrov, ancien directeur du Bâtiment et des Énergies renouvelables de l'ADEME, membre du Conseil général des Ponts et chaussées,

Guy Flesselles, expert en énergie agréé, société SCORE,

Thomas Guéret, ancien membre de la Mission interministérielle de l'effet de serre, Agence internationale de l'énergie,

Alain Le Berre, directeur du Marketing et du Développement, Office national des Forêts,

Paul Laffont, directeur de l'Environnement et de la Normalisation de Saint-Gobain Glass, représentant le Syndicat des industries du verre en France,

Alain Morcheoine, directeur de l'Air, du bruit et de l'efficacité énergétique, ADEME,

Jean-Christophe Pouet, chef du Projet Bois-Energie, ADEME,

Henri Prévôt, membre du Conseil général des Mines,

Pierre Toledano, délégué général du Groupement des fabricants de matériels de chauffage central par l'eau chaude et de la production d'eau chaude sanitaire (GFCC),

Laurent Valiergue, Office national des Forêts, chargé du développement du bois-énergie,

Pierre Viola, Direction générale de l'urbanisme, de l'habitat et de la construction.

Synthèse du Rapport.

Le présent rapport traite des « **recherche et développement sur les économies d'énergie et les substitutions entre énergies dans les bâtiments** ».

Cette étude sur les technologies énergétiques des bâtiments se situe dans le cadre du lancement du **Programme de recherche et d'expérimentation sur l'énergie dans les bâtiments (PREBAT¹)**.

1 Les consommations et leur prospective.

La consommation des bâtiments représente près de la moitié de l'énergie utilisée en France, avec plus de 100 Mtep/an² et entraîne plus de la moitié des dépenses.

Ces consommations (et leurs dépenses) se répartissent grossièrement par moitiés entre le chauffage et les autres usages, électricité dite « spécifique », services urbains, préparation d'eau chaude sanitaire (ECS), etc.

Contrairement aux habitudes anciennes de séparation des usages « calorifiques » et « électriques », attestés par exemple dans le *Programme national de lutte contre le changement climatique* de 2000, le présent Rapport proposera une vue d'ensemble de ces deux domaines.

L'évolution de la consommation globale de chauffage a été très lente dans la période récente, malgré une très vive croissance de surfaces construites. Cela est dû, d'une part à des réglementations énergétiques successives qui, en 2000, avaient divisé par 3 les consommations par m² de surface neuve par rapport aux consommations moyennes des immeubles construits avant 1973 et, d'autre part, aux économies d'énergie réalisées dans les bâtiments existants.

Au contraire, la consommation de l'électricité dite « spécifique » et de la préparation d'eau chaude sanitaire augmente toujours rapidement.

Une prospective de la consommation de chauffage fait apparaître que celle-ci peut rester à peu près constante malgré la poursuite de la croissance des surfaces construites. Mais, le durcissement accéléré des normes actuelles pour les bâtiments neufs n'apporte pas grand chose à la maîtrise des consommations, du fait du niveau déjà très bas des consommations actuelles de ceux-ci.

Par contre, il importe avant tout de poursuivre vigoureusement la réalisation d'économies d'énergie dans les bâtiments existant en 1973 ou construits avec des normes insuffisamment durcies dans les années 1975-1995. En effet, la destruction des immeubles, extrêmement lente en France, aura peu d'effet même à long terme.

¹ Tous les **sigles** utilisés sont explicités dans le **Glossaire** en Annexe. Le PREBAT est un programme commun aux cinq ministères chargés respectivement de la Recherche, de l'Emploi, de l'Industrie, de l'Équipement et du Développement durable, se déroulant sur la période 2005-2009.

² Mtep/an = million de tep/an. Les **abréviations** sont explicitées dans le **Glossaire** en Annexe.

2 Augmenter l'utilisation des « meilleures technologies » dans la rénovation diffuse.

Les ménages et petits utilisateurs tertiaires supportent en moyenne 75 % des consommations et dépenses. Ces décideurs individuels sont extrêmement désarmés pour faire des choix sur la réalisation d'investissements d'un coût parfois très faibles vis-à-vis de celui des consommations énergétiques (et autres dépenses de fonctionnement) ultérieures.

D'où l'utilisation par ces décideurs, mal informés, de matériels à médiocres performances énergétiques (et économiques), surtout dans le domaine des rénovations des bâtiments anciens. Pour le neuf, les réglementations énergétiques successives ont assuré la promotion des meilleures techniques, avec toutefois un certain retard sur d'autres pays.

Diverses évaluations des politiques de l'énergie ont mis en évidence les médiocres résultats des efforts d'information faits dans le passé, information proprement dite, orientations par des aides spécifiques, etc.

En fait, les principales opérations d'économie d'énergie se font par de la « rénovation diffuse », liée à l'obsolescence de deux grands groupes de composants du bâtiment : les vitrages et huisseries (40 % des travaux) et les chaudières (40 % des travaux).

L'utilisation des « meilleures technologies » est toujours rentable pour les usagers. Il s'agit donc d'« actions à coût négatif », auxquelles les politiques publiques doivent accorder la priorité.

Pour les vitrages, la technologie des « vitrages à isolation renforcée », disponible depuis les années 1980, ne couvre encore que 50 % du marché français, alors que le surcoût par rapport à un double vitrage « ordinaire » est remboursé en un an. Les 50 % de double vitrages ordinaires posés en 2004 vont entraîner une surconsommation de 100 000 tep/an pendant toute leur durée de vie, 80 ans environ...

Pour les chaudières, le marché est plus complexe. Mais, il existe, de même, des appareils dont le surcoût par rapport à d'autres, pourtant très utilisés sur le marché, est remboursé dans un délai de quelques mois à un an. Les plus mauvais matériels, notamment les chaudières à gaz à veilleuse ou « non étanches » continuent à être vendus au détriment de l'intérêt du client. La surconsommation d'énergie nationale se chiffre ici encore en centaines de milliers de tep/an, tempérée toutefois par la moindre « durée de vie » des chaudières (20 à 30 ans).

Force est donc de constater que ces meilleures technologies n'ont pas envahi les marchés. Les explications de ces faits sont complexes. Les médiocres résultats des politiques passées, information, orientations par des aides spécifiques, « effet d'entraînement de la réglementation du neuf sur l'ancien », etc. semblent indiquer que de nouvelles voies doivent être explorées. Or, il existe des pays européens où la diffusion des techniques les plus avancées est bien meilleure qu'en France. Il semble que leur politique se soit appuyée, outre les moyens utilisés en France, sur une « réglementation des composants et matériels », prise dans le respect des contraintes communautaires.

La poursuite d'une politique très vigoureuse d'économies d'énergie sur le chauffage dans les bâtiments existants en 1995, divisant leurs consommations par 2 entre 1995 et 2080 (en tenant compte de la destruction de 10 % des surfaces) permettra tout juste de stabiliser la consommation de chauffage totale aux environs de 50 millions de tep/an, compte tenu des bâtiments neufs à construire d'ici 2080. Le durcissement plus ou moins accéléré des normes des bâtiments neufs n'a pratiquement aucune influence sur ce niveau (moins de 0,5 Mtep/an à l'horizon 2040).

Une politique de substitution d'énergie dans le chauffage est donc fondamentale.

3 La substitution : bois-énergie et réseaux de chaleur.

L'usage du bois-énergie, important en France avec près de 8 Mtep/an pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire, pourrait être augmenté de 8 à 12 Mtep/an, par amélioration des rendements du bois déjà utilisé et par l'utilisation de bois laissé à pourrir chaque année en forêt.

L'utilisation actuelle du bois est intimement liée à un système d'auto-production (complété par un « marché informel ») exempté en quasi-totalité de charges sociales et de TVA. Il est donc pratiquement limité aux « chauffages individuels », et ne se développe plus.

Son extension suppose une politique d'aides, qui n'arrive pas à se mettre en place à la hauteur des objectifs qu'on pourrait se fixer. Le rythme actuel de création de grosses chaufferies est de 20 000 tep/an, ce qui demandera 400 ans pour atteindre les 8 Mtep/an qu'on pourrait se fixer comme objectif...

De même, le développement du « chauffage central au bois », seul capable d'améliorer sensiblement les rendements des utilisations existantes, stagne, ou plutôt régresse, avec 8 000 chaudières installées par an (renouvellement compris) contre plus de 200 000 appareils plus ou moins médiocres (inserts, poêles).

Diverses mesures d'aides propres à accélérer le développement du bois-énergie, décidées dans le cadre du Programme de lutte contre le changement climatique peinent à être prises effectivement (TVA à 5,5 % sur le bois et l'abonnement aux réseaux de chaleur).

Le manque d'ambition de la politique actuelle doit impérativement faire l'objet d'une évaluation pour définir les moyens, financiers, techniques et réglementaires à mettre en place. Rappelons que le secteur du bois-énergie, pourtant déjà producteur de 9 Mtep/an d'énergie renouvelable (industrie comprise) est le moins aidé, de très loin, avec moins d'une centaine de million € (toutes aides confondues), face aux bio carburants, éoliennes, cogénération industrielle d'électricité, etc.

Les réseaux de chaleur sont le véhicule fondamental des énergies renouvelables, dont le bois, les déchets, la géothermie, la cogénération, etc. Ils constituent un objectif fondamental pour la substitution. Or, ils sont très peu développés en France, jusqu'à 10 fois moins comparés à certains pays étrangers. Ils utilisent surtout des combustibles fossiles, qui se développent au détriment de la géothermie notamment.

Ils sont même en régression actuellement, du fait d'un changement de la politique à leur égard, budget de subvention très réduit, TVA sur l'abonnement portée en 1995 à 18,6 % contre 5,5 % auparavant, etc.

La situation actuelle doit impérativement faire l'objet d'une évaluation pour définir les moyens, financiers, techniques et réglementaires à mettre en place pour une nouvelle politique des réseaux de chaleur.

4 Un programme pour le PREBAT.

Les études de type socio-économique sur les blocages ayant empêché d'utiliser au mieux les technologies les plus performantes dans les immeubles existants paraît la première priorité à assigner au PREBAT. Bien qu'elles soient immédiatement rentables pour l'utilisateur, ces techniques sont trop peu utilisées en France, alors qu'elles paraissent systématisées dans certains pays étrangers.

La recherche-développement technologique sur les matériels et immeubles innovants devrait se limiter à des sujets précis.

La priorité des recherches technologiques devrait concerner les bâtiments existants. Son budget et son programme devra être clairement individualisé dans le PREBAT.

Enfin, **la recherche-développement concernant les bâtiments neufs** (ventilation, techniques applicables seulement aux bâtiments à Haute Qualité Environnementale, « bâtiments à énergie positive » et autres « concept buildings »), très consommatrice de crédits, et dont l'objectif en 2080 est inférieur à 0,5 Mtep/an, devrait émerger à un fonds nettement séparé de celui du PREBAT destiné à l'existant.

La priorité est de promouvoir les technologies économes existantes (vitrages à isolation renforcées, chaudières, etc.) très insuffisamment utilisées, avant de dépenser pour de la recherche-développement sur d'autres techniques encore plus performantes. Actuellement on peut estimer à plus de **250 000 tep/an la « surconsommation établie chaque année »** qui se cumule année après année et durera autant que les matériels considérés, de 80 ans pour les vitrages à 30 ans pour les chaudières.

Les grands producteurs de matériels, dont 3 à 5 couvrent 80 % de chaque sous-marché, devront être tout particulièrement écoutés, rompant avec les pratiques antérieures visant à « informer les installateurs », dont l'efficacité limitée est désormais démontrée.

La recherche-développement correspondante, sur la « comparaison technique » entre les matériels, les déterminants des marchés, les exemples étrangers, etc., devra être suffisamment dotée.

L'économie d'électricité, responsable de 50 % des dépenses, ne devra pas être oubliée dans le PREBAT, rompant ainsi avec les pratiques traditionnelles qui traitent les économies d'électricité avec sa production et non comme partie intégrante des bâtiments.

Ici aussi, la recherche-développement devra être à l'écoute des grands fabricants de matériels (éclairage, etc.) et porter la « comparaison technique » entre les matériels, les déterminants des marchés, les exemples étrangers, etc., et devra être suffisamment dotée.

Quelques domaines concernant les bâtiments existants ne disposent pas de technologies très performantes. Ils devront donc faire l'objet d'une recherche-développement volontariste. Citons notamment :

- la production d'eau chaude sanitaire, avec 12 Mtep/an,
- les pompes des circuits de chauffage avec 2,5 Mtep/an,
- le choix des meilleurs matériels de chauffage individuel au bois avec 7,5 Mtep/an.

INTRODUCTION

Présentation du rapport.

Le présent rapport traite des « **recherche et développement sur les économies d'énergie et les substitutions entre énergies dans les bâtiments** ».

Cette étude sur les technologies énergétiques des bâtiments se situe dans le cadre du lancement du **Programme de recherche et d'expérimentation sur l'énergie dans les bâtiments** (PREBAT).

Le PREBAT dépasse le champ des actions à court terme concernant la lutte contre le changement climatique, notamment celles qui répondent au Protocole de Kyoto.

C'est clairement dans le contexte de la « **division par 4 des consommations unitaires** » qu'il faut situer la présente étude. Aussi, accorderons-nous une place importante à la prospective des bâtiments et de leur consommations.

La première ligne de partage se situe entre les bâtiments neufs et les bâtiments existants.

Une dynamique ancienne d'évolution des technologies a permis de diviser environ par trois la « consommation au m² » des constructions actuelles par rapport au niveau moyen des bâtiments construits avant la crise de l'énergie. En ce sens, on peut parler d'un « succès dans le neuf ».

Par contre, ces mêmes technologies se sont difficilement répandues dans l'existant, ce qui oblige à dresser un constat d'échec (voir page 25). Il ne s'agit pas ici d'une appréciation personnelle, mais d'un constat effectué depuis longtemps, par exemple par le rapport de M. Yves Martin³ publié en 1998, *La maîtrise de l'énergie, rapport d'évaluation* [1]⁴.

Pour nous référer à un documents récent, voici une « *Note d'orientation* » de 2004 pour le PREBAT [2] :

« Cependant, on peut observer que, spontanément, les stratégies de progrès s'orientent sur le neuf parce qu'il semble plus "facile" d'en renouveler la conception et d'y intégrer les meilleures techniques et équipements. En revanche, les progrès applicables au parc existant paraissent soumis à un rythme lent ; ils semblent incrémentaux ou partiels et il paraît bien probable que ce ne soient pas les technologies les plus performantes qui se diffusent à travers le renouvellement de l'existant. »⁵

Le corollaire du succès dans le domaine du neuf est que la marge de gain d'origine technologique restant à y acquérir est devenue très réduite. Nous nous attacherons particulièrement à démontrer que les objectifs concernant les futurs bâtiments neufs sont beaucoup moins importants que ceux qui concernent les bâtiments existants. Ce résultat nous paraît particulièrement importants en ce qui concerne les orientations à donner au futur PREBAT.

À l'intérieur du champ des bâtiments existants, une des principales difficultés des politiques passées résulte de l'apparence trompeuse de diversité de l'ensemble des bâtiments, logement ou tertiaire, logement individuel, collectif, social, tertiaire public et tertiaire privé, gamme très étendue des bâtiments tertiaires (quoi de commun entre un gymnase, un hôpital ou une tour de bureaux ?), etc.

³ *La maîtrise de l'énergie, rapport d'évaluation*, Instance d'évaluation présidée par M. Yves Martin, pour le Comité interministériel de l'évaluation des politiques publiques, Commissariat général du Plan, 1998, édition La documentation française [1]. On pourrait multiplier les références...

⁴ **Les numéros entre crochets, comme [1], renvoient à la Bibliographie à la fin du document.**

⁵ Note d'orientation pour l'atelier 1 du PREBAT, *Quelle stratégie de recherche-développement pour agir sur l'existant ? Quelles filières technologiques et professionnelles développer ?* Décembre 2004, document de travail non publié, [2].

Cette diversité, réelle pour la conception et l'architecture des bâtiments, n'est pas transposable dans le domaine de l'énergie.

Pour prendre un premier exemple, le plus significatif, celui de l'éclairage, la différence est « quasi insensible d'un point de vue énergétique » entre l'éclairage d'un bureau, d'une salle de classe et de n'importe quel type de logement⁶. Les technologies d'éclairage les plus modernes constitue donc un bien commun pour l'ensemble du neuf et de l'existant, comme pour l'ensemble des bâtiments existants eux-mêmes [3]. Il en va de même pour la chaudière individuelle au gaz ou au fioul, qui couvre 80 % du chauffage des logements et petits tertiaires (hors chauffage électrique).

La problématique des technologies (chauffage, eau chaude sanitaire, électricité) applicables aux bâtiments existants se trouve en conséquence réduite à un petit nombre de points très bien identifiés. Le recensement et la description des technologies existantes de ce type qui n'ont pas « diffusé » dans le parc existant, et l'historique des politiques suivies sur ce sujet, seront un des axes majeurs de ce rapport.

En revenant sur la prospective des bâtiments et de leur consommations, on constatera que la simple stabilisation des consommations suppose un effort considérable sur les bâtiments existants, et qu'aucune alternative n'existe concernant la construction neuve.

Ce qui conduit à conclure qu'une politique vigoureuse dans le domaine des économies d'énergie concernant les bâtiments existants, doit accompagner d'une politique non moins importante de substitution par des énergies renouvelables. Or, le chauffage des bâtiments est déjà le secteur où l'utilisation des énergies renouvelables est la plus avancée, avec le chauffage au bois et l'utilisation de déchets en réseaux de chaleur⁷. Mais, la France est très loin d'utiliser toutes ses ressources dans ce domaine : les actions menées jusqu'ici sont sans commune mesure avec la mise en oeuvre de ces ressources sur une durée raisonnable⁸.

Ce sera donc un chapitre important de notre rapport, que de poser les contradictions entre les ressources existantes d'énergie renouvelable, à un prix analogue à celui des énergies fossiles, et leur faible développement en France.

La mise en oeuvre dans le domaine du bâtiment de « technologies non conventionnelles » comme le solaire, les pompes à chaleur, la production combinée de chauffage et d'électricité, de façon centralisée ou diffuse, a fait, ou fait encore, l'objet d'actions publiques. Leur impact en termes de quantité d'énergie est cependant très faible, et la nécessité d'une politique de fortes subventions marque la relative faiblesse économique de ces technologies confrontées aux autres disponibles sur le marché. Notamment, nous nous attacherons à en comparer les bilans avec ceux du développement de filières d'énergie de biomasse et de géothermie (directe, sans pompe à chaleur), actuellement très peu aidées.

Le besoin important de recherche et développement affiché pour l'amélioration de ces technologies est important. Or, on ne peut juger du rapport coût-efficacité de cette recherche-développement éventuelle qu'en analysant les paramètres de compétition future entre les nouvelles technologies qui pourraient en résulter et les technologies bien connues, d'utilisation des énergies renouvelables de biomasse notamment. Ces paramètres compétitifs incluent, évidemment, non seulement la comparaison des coûts, mais celle des objectifs quantitatifs.

Nous voudrions enfin terminer ces considérations préliminaires en indiquant que les technologies énergétiques utilisées dans les bâtiments sont très complexes. Nous verrons que les matériels (chauffage, eau-chaude, électricité) sont extrêmement divers et que leur « efficacité énergétique » varie beaucoup, parfois de 1 à 10, pour le même service rendu. La publicité comparative étant interdite en France, de mauvais (et très

⁶ Des créneaux très spécifiques, ateliers ou salles de très grande taille par exemple, existent, mais représentent quelques pour cent à peine de la consommation générale d'éclairage.

⁷ À l'exception de l'énergie hydraulique pour fabriquer de l'électricité.

⁸ On peut chiffrer en centaines d'années le temps nécessaire pour mobiliser les ressources de bois inutilisées au rythme des réalisations des dernières années écoulées...

mauvais) matériels prospèrent sans que le marché puisse porter la contradiction à leurs publicités. Les positions des organismes professionnels et des administrations se ressentent aussi de cette contrainte.

Il existe toutefois des techniciens susceptibles de répondre librement à des questions technico-économiques, ainsi qu'une littérature technique de qualité, dont *Le Recknagel, manuel pratique de génie climatique* [9], « bible » de l'ingénieur thermicien est le fleuron.

Le plan du présent rapport sera le suivant :

- présentation de la consommation d'énergie dans les bâtiments, en masses et en taux d'évolution récents, prospective des consommations,
- rappel des résultats des évaluations des politiques passées et en cours (protocole de Kyoto),
- présentation des technologies d'économies d'énergie existantes et de leurs difficultés de mise en œuvre,
- esquisse d'une politique d'actions à long terme, notamment par utilisation de la biomasse et des réseaux de chaleur (géothermie, production combinée) comparée à celles des « technologies non conventionnelles », et des besoins de recherche-développement y afférents.

Indiquons enfin que les logements constituent l'objet essentiel du rapport, mais que nous donnerons quelques indications pour les domaines du tertiaire public et du tertiaire privé⁹.

Le cadre général : effet de serre et énergie, transfert de droits d'émission.

L'importance des bâtiments semble varier selon que l'on considère leurs émissions de gaz à effet de serre liées aux consommations énergétiques, ou ces consommations elles-mêmes :

- le secteur consomme près de 50 % de l'énergie finale utilisée en France ;
- d'autre part, il semble émettre une part plus modeste des gaz à effet de serre [4] :
 - o 17,5 % pour les usages thermiques (chauffage, eau chaude sanitaire),
 - o 5 % environ pour l'électricité spécifique¹⁰ et le chauffage électrique des bâtiments inclus dans le secteur de la « production d'énergie ». Cela est dû à l'importance de la production française d'électricité nucléaire et hydraulique, exemptes d'émissions de carbone fossile.

Il nous a fallu trancher cette question préalablement à notre réflexion sur les bâtiments.

Une parfaite « substituabilité » entre les diverses énergies caractérise le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire.

On utilise indifféremment la biomasse (bois essentiellement en France, mais aussi paille au Danemark), le fioul domestique, le GPL, le gaz naturel et l'électricité (thermique, nucléaire, renouvelable).

Sous réserve de passer par l'intermédiaire de réseaux de chaleur, certaines énergies renouvelables

⁹ Sur la prospective du tertiaire, voir *Etude de la contribution à long terme du secteur tertiaire au risque de changement climatique global*, 1998, [33].

Pour un cadre général sur la technologie, voir le rapport de Thierry Chambolle et Florence Méaux, *Nouvelles technologies de l'énergie*, [41].

¹⁰ « L'électricité spécifique » sert à l'éclairage, aux appareils ménagers, audiovisuels ou informatiques et aux matériels de services (ascenseurs, pompes, brûleurs, etc.).

(déchets, géothermie) ou de récupération (cogénération, effluents de centrales électriques) sont aussi substituables à celles du paragraphe précédent¹¹ ; leur seule limitation est d'être réservée à des urbanisations plus denses, qui représentent toutefois potentiellement les trois quarts du marché français. Le bâtiment est actuellement le principal secteur d'utilisation des énergies renouvelables autres que l'électricité hydraulique (90 % du total). Nous verrons que cette utilisation est très loin d'avoir atteint son niveau maximum possible.

Le bâtiment utilise la majorité de l'électricité en France.

L'électricité spécifique, l'eau chaude sanitaire et le chauffage électrique représentaient 55 millions de tep/an (Mtep/an) en 2000, contre un peu plus de 30 Mtep/an dans les transports et l'industrie (auto-production comprise). Et ce sont surtout les ménages qui les utilisent [3].

Il serait évidemment imbécile de se désintéresser des économies d'énergie sur l'électricité spécifique et sur le chauffage électrique des bâtiments, ou de la production d'eau chaude électrique.

En effet, tout gain sur du chauffage électrique, de la préparation d'eau chaude sanitaire électrique ou de l'électricité spécifique peut s'employer en remplacement d'une énergie fossile pour le chauffage ou la production d'eau chaude sanitaire d'autres bâtiments. La diminution d'émission de carbone fossile qui en résulte ne dépend que de l'énergie fossile utilisée avant substitution.

À moyen terme, tout gain d'électricité trouve à s'utiliser en France, ou à s'exporter dans les pays européens limitrophes où l'électricité est produite en majorité à partir d'énergies fossiles.

Dans une optique à long terme, où la demande d'électricité croît, tout gain d'électricité trouvera une utilisation dans la bâtiment ou dans d'autres applications de l'électricité aux transports ou à l'industrie.

L'échange des droits d'émission de carbone fossile est une des règles du protocole de Kyoto.

Pour les bâtiments, son application signifie que toute économie d'électricité, spécifique ou de chauffage a comme valeur d'émission de carbone fossile le contenu des émissions de l'activité substituable¹².

Le *Programme national de lutte contre le changement climatique* [4] de 2000 traite très curieusement l'électricité spécifique dans le chapitre 8 « *Le secteur de la production d'énergie* » sous la rubrique « *Action sur la demande d'électricité* », (sous-chapitre 8.3.E.2, pages 150 à 154) et non dans le chapitre des « *Bâtiments* ». Il renvoyait à d'hypothétiques changements des réglementations européennes et à d'improbables mesures fiscale, alors que d'autres pays européens ont déjà pris des mesures dans ce domaine.

C'est un signe très révélateur de ce que la vision séparant les « économies d'énergie » et les « diminutions d'émissions de carbone fossile » reste bien ancrée dans le secteur des bâtiments.

En conséquence, nous traiterons toutes les économies d'énergie dans les bâtiments de la même façon sans nous préoccuper de l'énergie primaire d'origine, sauf, évidemment, s'il s'agit d'une substitution par une énergie primaire renouvelable.

¹¹ Mentionnons l'utilisation par les bâtiments ou l'industrie, via le réseau gazier, de « gaz de méthanisation » produit à partir des déchets (décharges essentiellement). On ne reviendra pas sur cette question mineure.

¹² On peut pointer ici une ambiguïté majeure de la position européenne (dans l'exécution du protocole de Kyoto) qui, d'un côté, adhère au processus d'échange de droits à polluer (en cause ici) mettant toutes les mesures sur un même plan économique et, d'un autre côté, exige des « efforts sectoriels » (transports, industrie, chauffage, production d'électricités « vertes », etc.) qui aboutissent à prendre des mesures très disparates en termes de coût-efficacité, et à diviser le marché des droits à émettre en plusieurs marchés séparés. On peut penser que cette ambiguïté disparaîtra quand on en viendra à l'après-Kyoto.

L'ENERGIE DANS LES BATIMENTS ET SON EVOLUTION RECENTE

1 Presque la moitié de la consommation française d'énergie.

Les bâtiments représentaient la moitié de la consommation d'énergie en France en 2000, soit 109 Millions de tep/an sur 218,6 Mtep/an selon le Bilan de l'Observatoire de l'énergie¹³ en « comptabilisation ancienne ». C'est donc près de la moitié de la consommation française d'énergie qui est utilisée dans le chauffage, l'eau chaude sanitaire (ECS), l'électricité spécifique des bâtiments, les services urbains liés aux bâtiments et l'industrie du bâtiment et des travaux publics (BTP).

On ne s'attachera pas au détail¹⁴ des éléments chiffrés donnés ici à titre d'illustration. En effet la « comptabilité énergétique » est un casse-tête pour spécialistes, avec des notions enchevêtrées et soumises périodiquement à de fortes modifications : énergie « primaire¹⁵ », « finale » ou « utile », équivalences en tep, rendements théoriques (parfois éloignés des rendements réels), etc. De plus, la comptabilité « française » a été « renouvelée » depuis 2000 dans le cadre d'une unification internationale.

La « comptabilisation renouvelée » aboutit à diviser par 2,5 environ les valeurs « finales » pour l'électricité. La distorsion entre énergie primaire et énergie finale y varie très fortement. Alors qu'elle était de + 8 à 10 % environ pour toutes les énergies en comptabilisation ancienne, elle est de + 200 % pour l'électricité, + 30 % pour le charbon, + 10 % pour le pétrole et + 5 % pour le gaz. Les quantités « renouvelées » sont donc très éloignées des coûts selon le type d'énergie.

Nous avons préféré utiliser la « comptabilisation ancienne » qui présente les avantages :

- de présenter peu de distorsion entre énergie finale et énergie primaire ;
- d'être plus représentative de l'importance fondamentale de l'électricité dans le secteur des bâtiments ;
- de respecter les masses de « dépenses » des consommateurs dans les bâtiments ;
- d'offrir des séries détaillées pour les années antérieures à 2000 (seules les grandes masses ont été « renouvelées » rétrospectivement et non les sous-détails).

¹³ Pour les données statistiques voir le site du ministère www.industrie.gouv.fr Pour le logement, voir la série annuelle *Le compte du logement, Rapport à la commission des comptes du logement*, [17]

¹⁴ Le Protocole de Kyoto comporte un suivi précis des consommations, évidemment hors de notre propos.

¹⁵ Pour calculer les « consommations en énergie primaire », il faut en gros augmenter les consommations d'énergie finale de 10 % environ, pour tenir compte des « consommations de la branche énergie » (raffinage, pertes en ligne, distribution). Par ailleurs, l'utilisation de la biomasse (bois de chauffage) est comptabilisée avec un rendement théorique presque deux fois supérieur au rendement moyen réel, d'où une surévaluation de la consommation finale de cette énergie.

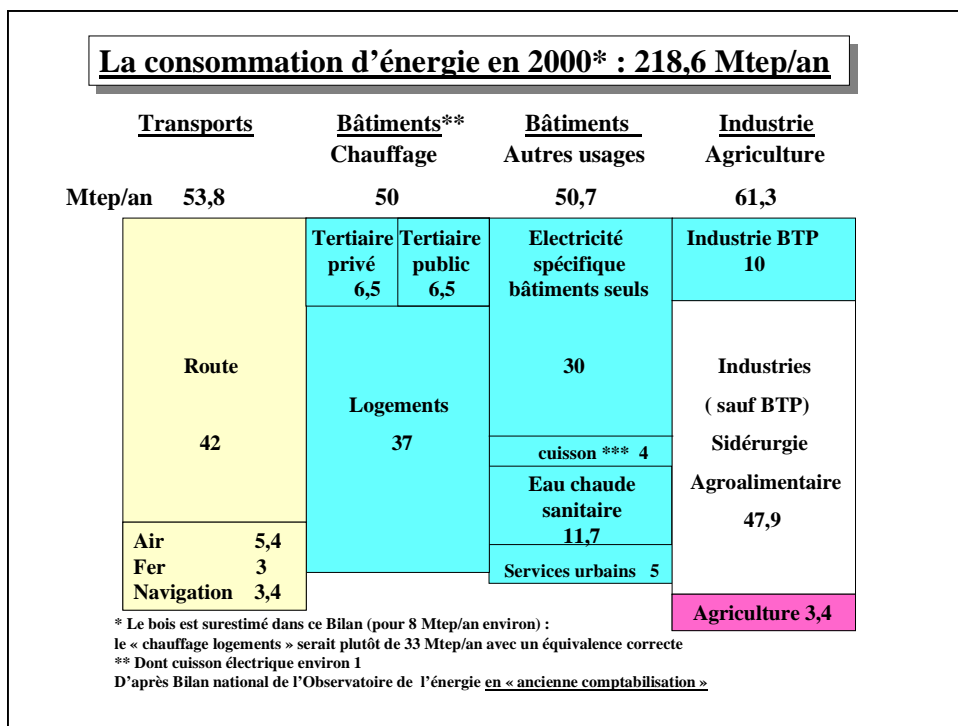


Figure 1. Le secteur des bâtiments dans la consommation d'énergie totale¹⁶

Le détail des consommations appelle les commentaires ci-dessous.

Le secteur tertiaire se répartit par moitié entre tertiaire public (bâtiments publics, notamment municipaux, santé, enseignement, sport) et tertiaire privé (bureaux, commerces, restaurants, etc.). La politique d'achat public est donc un moyen d'action évident dans ce secteur. Il a été, hélas, presque inutilisé jusqu'ici [1] ;

L'« électricité spécifique » : éclairage, services (ascenseurs, climatisation, pompes et brûleurs du chauffage, etc.), appareils électroménagers, audiovisuels et informatiques, est le domaine le plus important, en volume, après le chauffage des logements¹⁷. La politique passée a été peu active dans ce domaine.

L'importance de la production d'eau chaude sanitaire est méconnue ; elle atteint presque celle du chauffage du secteur tertiaire. Pourtant, les mesures prises la concernant ont été très pauvres jusqu'ici.

La consommation d'électricité des services publics liés aux bâtiments comme la fourniture d'eau, l'assainissement, l'éclairage public des voiries urbaines, etc. est notable.

Les vitesses d'évolution des divers secteurs sont extrêmement contrastées.

Le tableau ci-après montre les facteurs d'évolution des consommations dans le domaine des bâtiments selon le Tableau de bord 2000 de l'Observatoire de l'énergie (ancienne comptabilisation ; la biomasse est très surévaluée).

¹⁶ Les données sont disponibles sur le site de l'Observatoire de l'énergie, dont les modes de calcul sont en révision actuellement. Le bois est valorisé pour 9,11 Mtep/an (industrie comprise), ce qui est certainement excessif compte tenu des rendements réels ; nous avons réduit sa part. Les décompositions sont effectuées avec d'autres éléments. Pour 2000, les chiffres publiés sont :

- transports 53,8 Mtep, soit 24,9 %,
- résidentiel tertiaire 100,7 Mtep, soit 46,7 %,
- industrie 57,9 Mtep, soit 26,7 % ;
- agriculture 3,4 Mtep, soit 1,6 %.

¹⁷ En valeur, il passe au 1^{er} rang, le coût de la tep électrique étant supérieur à celui de la tep de chauffage.

Tableau 1. Évolution des consommations dans les bâtiments¹⁸.

	1990	1999	Croissance %/an
Chauffage, ECS, cuisson	58,8	64,1	1,0%
dont Chauffage logements	35,5	36,6	0,3%
dont Chauffage tertiaire	10,6	12,5	1,8%
dont ECS (eau chaude sanitaire)	9,7	11,5	2,1%
Électricité spécifique (bâtiments, services urbains)	23,6	33,6	3,9%
ENR non ventilées et ajustement	1,7	-0,5	
Total	84,14	97,32	1,6%
Combustibles fossiles	34,06	36,51	0,8%
Energie nouvelles et renouvelables et biomasse	9,54	8,62	-1,1%
Électricité tous usages	40,54	52,19	2,8%
dont chauffage et Eau chaude sanitaire	16,94	18,59	1,0%
dont électricité spécifique	23,6	33,6	3,9%

Les trois constatations essentielles issues de ce tableau sont :

- la faible croissance des consommations de chauffage dans le logement (0,3% par an) et dans le tertiaire (1,0% par an),
- la croissance rapide des consommations pour la préparation d'eau chaude sanitaire (2,1% par an),
- la croissance très rapide de l'électricité spécifique (3,9% par an). Cela renforce l'intérêt de la maîtrise de l'électricité spécifique, qui est déjà le poste le plus important en valeur.

2 Qui sont les consommateurs d'énergie dans les bâtiments ?

2.1 Part très majoritaire des ménages, acheteurs dispersés.

En volume de consommation d'énergie (tep/an), la répartition est la suivante :

- ménages : 67 %,
- tertiaire : 33 %, se répartissant par moitiés entre les secteurs publics et privés.

En dépenses, les effets de tarification dégressive de l'électricité, plus la valorisation effective du marché informel de l'autoconsommation du bois, donneraient une part plus importante pour les ménages :

- ménages : plus de 75 %,
- tertiaire : moins de 25 %.

La part des dépenses pour l'électricité dans la consommation des ménages augmente fortement. Elle a atteint 50 % des dépenses en 1987 et est restée stationnaire [3]. Les réévaluations tarifaires en cours en 2005 vont peu modifier cette répartition.

Le « chauffage individuel des logements » représente environ 80 % de la consommation de chauffage

¹⁸ La rénovation des conventions d'équivalence rend difficile le calcul de taux d'évolution détaillés sur une période « avant-après ». C'est pourquoi nous présentons les variations avant 2000. Les variations les plus récentes (2000-2005) paraissent tout à fait analogues.

des logements. Sa part ne cesse d'augmenter.

Pour l'électricité spécifique, les acheteurs individuels représentent près de 95 % pour les logements¹⁹.

La part des ménages dans l'achat d'énergie est donc extrêmement prépondérante.

Les caractéristiques de cet ensemble sont, en ce qui concerne les économies d'énergie :

- l'extrême dispersion de ces acheteurs en tant que « maîtres d'ouvrage », leur inexpérience et la grande difficulté de les informer,
- la dispersion des opérations, dont le faible montant interdit le recours à un « maître d'œuvre » ;
- l'homogénéité de cet ensemble d'acheteurs, qui devrait simplifier les actions à mener, pour autant que celles-ci les débarrassent de leurs incertitudes, notamment par une réglementation adaptée.

Le petit tertiaire public ou privé, qui se rapproche de ce secteur « individuel », représente de l'ordre de 20 % des consommations du total du tertiaire, et de l'ordre de 50 % pour le tertiaire.

2.2 Difficultés d'identification des consommations partielles d'énergie.

Les consommateurs individuels ont la plus grande difficulté à séparer sur une facture unique de gaz ou d'électricité ce qui revient à chaque activité. En effet, ils rencontrent des difficultés d'identification des consommations d'énergie à leur niveau²⁰ :

- la même source d'énergie peut servir à la fois au chauffage, à la production d'eau chaude sanitaire et à la cuisson ;
- la consommation d'électricité spécifique se répartit entre un très grand nombre d'appareils.

L'importance de la consommation « d'appareils cachés » comme les pompes du chauffage et les multiples transformateurs, notamment des télévisions et ordinateurs, est totalement ignorée. Lorsqu'une indication est donnée, c'est une consommation unitaire (une puissance) que le consommateur devra multiplier par une durée de fonctionnement inconnue (et non mesurable faute d'un dispositif ad hoc).

Le consommateur ne dispose donc pas - et ne peut pas disposer - d'une connaissance personnelle de ses propres consommations, sauf à réaliser une étude d'un coût disproportionné.

Cette grande dispersion des « acheteurs », aggravée par les difficultés d'identification des consommations partielles d'énergie, met au premier plan la question de leur accès à l'information sur le choix des « meilleures technologies ».

2.3 Le consommateur individuel face aux monopoles des réseaux.

À l'intérieur de l'ensemble des énergies consommées dans les bâtiments, le chauffage, l'eau chaude sanitaire et la cuisson constituent un « marché » utilisant indifféremment toutes les énergies. Les rares contraintes physiques concernent la place nécessaire pour le « stockage du bois » et l'existence d'une desserte par un réseau de gaz naturel ou de chauffage urbain.

¹⁹ Les 5% restants correspondent aux « services communs » des logements collectifs.

²⁰ Les données globales résultent d'enquêtes complexes, souvent sur panels « instrumentés », très précieuses pour les fournisseurs d'énergie qui participent au financement du CEREN. Citons une des publications les plus récentes de ce type, dont le titre même pointe le renouvellement (est-il stérile ?) *Poursuite de l'amélioration de la connaissance statistique des consommations d'énergie dans les secteurs résidentiels et tertiaire en 2002* (résumé des études CEREN sur 2002), DGEMP, 8 juillet 2004, [37].

Mais, ces détails statistiques sont inutilisables par un acheteur individuel, et peu utiles pour concevoir une politique de matériels économes en énergie.

Cependant, la comparaison avec des pays étrangers montre une très grande diversité des situations. Ces différences sont le signe d'un marché très imparfait. Elles reflètent celles des politiques publiques des divers pays, notamment de celles des opérateurs monopolistiques, qui ont fortement façonné chaque marché :

- politique fiscale, par exemple en faveur du gaz vis-à-vis du fioul en France,
- origine et coût de l'électricité (subventions au charbon allemand), structures de sa tarification, péréquations éventuelles,
- politique de développement du réseau gazier,
- politique de création de réseaux de chaleur,
- aides en faveur de la biomasse.

En ce qui concerne les « taxes spécifiques » distinctes de la Taxe à la Valeur Ajoutée, la France a eu une politique relativement neutre selon l'énergie (sauf pour le fioul), et pesant plutôt sur les ménages :

- existence d'une taxe municipale sur l'électricité, variable selon les communes, pesant essentiellement sur les ménages, et exemptant en pratique les consommateurs tertiaires et industriels ; péréquations favorables aux zones rurales écartées et aux territoires d'outre-mer,
- réduction de la TVA sur l'abonnement pour le gaz, d'importance minime,
- taxe sur le fioul ayant abouti à sa quasi-disparition dans le chauffage collectif et le tertiaire.

Les aides publiques en faveur de la biomasse et des réseaux de chaleur sont restées, par contre, très inférieures à celles qui sont pratiquées dans d'autres pays européens.

Les liens institutionnels entre les monopoles des compagnies nationales EDF et GDF (face à l'extrême dispersion des acheteurs), leur ont longtemps permis des stratégies communes de développement réduisant de façon drastique la liberté de choix des usagers individuels²¹. Ils ont certainement eu une plus grande importance que les « politiques publiques » proprement dites.

L'information des « acheteurs » n'est évidemment pas indépendante des politiques menées par EDF-GDF. On en verra ci-dessous un exemple très caractéristique avec le cas des chaudières individuelles au gaz à mauvais rendement, dont la persistance sur le marché français profite au premier chef à GDF.

Les principaux facteurs économiques qui joueront dans un avenir plus ou moins proche sont les suivants :

- la libéralisation des tarifs du gaz et de l'électricité pour les particuliers,
- l'augmentation générale du prix de l'énergie favorable aux énergies renouvelables.

Les effets de la libéralisation en cours seront vraisemblablement très limités en ce qui concerne les ménages et les petits acheteurs en général.

La libéralisation des opérateurs mettra du temps à atteindre les ménages, et le scénario d'évolution des prix du Téléphone (tel qu'il s'est concrétisé en 2005) devrait se reproduire pour le Gaz et l'Électricité, avec une baisse des tarifs « proportionnels » à la consommation profitant aux gros consommateurs, compensée par une hausse des abonnements « fixes » défavorable aux petits consommateurs, ménages et petit tertiaire. On notera au passage que le transfert de la tarification vers l'abonnement est évidemment défavorable aux économies d'énergie dont la valeur baisse *ipso facto*.

De plus, l'influence potentielle de la libéralisation sur les technologies souhaitables n'apparaît pas clairement. En effet, le choix d'une « bonne chaudière au gaz » par rapport à une « mauvaise » est en fait indépendant des tarifs des énergies concurrentes, électricité, fioul ou bois.

Le « monopole localisé » caractérise les réseaux de chaleur, dont la quasi-totalité des clients sont du tertiaire public et des immeubles de logement social, plus quelques « zones d'aménagement » où le

²¹ La liberté de fixation des « tarifs de raccordement » (dans les faits et sur une fourchette assez large) a été l'instrument principal des politiques d'extension des deux réseaux.

raccordement est contractuel²². La fonction monopolistique est exercée ici, en pratique, par les collectivités locales concédantes.

3 Comment se font les travaux d'économie d'énergie ? Réhabilitation, rénovation ou rénovation diffuse ?

Les éléments globaux examinés précédemment doivent être complétés par l'examen des « acteurs » en matière d'économies d'énergie. Nous laisserons de côté ici les secteurs tertiaires privé et public.

Il n'y a pas en France de réglementation énergétique sur les bâtiments existants.

La réglementation européenne sur le sujet est embryonnaire, et n'aborde le sujet que « *lorsque des bâtiments d'une superficie utile totale supérieure à 1 000 m² font l'objet de travaux de rénovation important* », article 6 de la *Directive sur la performance énergétique des bâtiments*²³ de 2002 [36].

Quant à la construction neuve, elle obéit à une réglementation assurant une faible consommation. La notion d'économies d'énergie n'y est pas applicable durant une période assez longue suivant la construction. En fait, la question d'une bonne exploitation (réglage des matériels, programmation et régulations) s'y pose dès l'origine. Mais, les dispositifs technologiques nécessaires sont essentiellement des accessoires des chaudières et du réseau de radiateurs, matériels communs aux secteurs des bâtiments neufs ou existants.

L'application de concepts généraux comme celui de « réhabilitation » ou de « rénovation » au domaine énergétique doit se faire de façon très prudente.

Le terme de « réhabilitation » est utilisé par la profession du Bâtiment comme synonyme de « travaux sur un bâtiment existant », y compris ce qui pourrait être de « l'entretien » (par exemple voir la note 26), par opposition à la construction de bâtiments neufs. Par contre, l'usage plus courant est de réserver ce terme à la réalisation d'un ensemble de travaux lourds, comprenant des actions sur le gros œuvre.

Ce flou sémantique est cause que l'on se représente mal la réalité des travaux effectués. Ajoutons que les usages varient au gré des subtilités fiscales²⁴ ou selon qu'il s'agit de logements ou de tertiaire.

Bien que ces termes n'aient pas de définitions précises, et que l'un ou l'autre des deux premiers soit utilisé dans le sens le plus général, on devrait distinguer ici :

- la « réhabilitation » qui suppose des travaux extrêmement lourds, notamment de gros œuvre, sur l'ensemble d'un immeuble, généralement collectif, et dont l'application au secteur pavillonnaire est peu pertinente ;
- la « rénovation », qui pourrait consister à la remise en état d'un logement individuel ou situés dans un immeuble collectif, sans intervention majeure sur le gros œuvre ;

²² Seul le réseau CPCU (Compagnie Parisienne de Chauffage Urbain) compte une proportion non négligeable de raccordements « volontaires ».

²³ *Directive 2002/91/CE du parlement européen et du Conseil du 16 décembre 2002 sur la performance énergétique des bâtiments*, [36].

²⁴ Pour un ménage bailleur de logement une « réhabilitation » trop complète peut être considérée par le fisc comme un « investissement » et sa déduction des revenus foncier pour l'IRPP être refusée.

- la « rénovation diffuse » constitué de toutes les interventions partielles étalée dans le temps : changement de chaudière, changement de fenêtres ou d’huisseries, interventions sur les toitures, réfection de façade, etc.
- les travaux « d’entretien » sont difficile à définir²⁵. L’entretien des installations consommant de l’énergie est surtout important dans le cas des chaufferies. Il se distinguent parfois mal des travaux de rénovation diffuse.

On conçoit que les distinctions ci-dessus, aux définitions floues, ne permettent pas des statistiques précises.

3.1 Les « maîtres d’ouvrage » dans les logements.

On ne dispose pas d’éléments détaillés sur la répartition entre les trois types d’intervention ainsi définis. Mais, les donneurs d’ordre du secteur global de la *Réhabilitation* des logements, entendu dans le sens le plus général de « travaux sur un bâtiment existant » sont assez bien connus. La figure ci-dessous illustre leur répartition en volumes [8]²⁶.

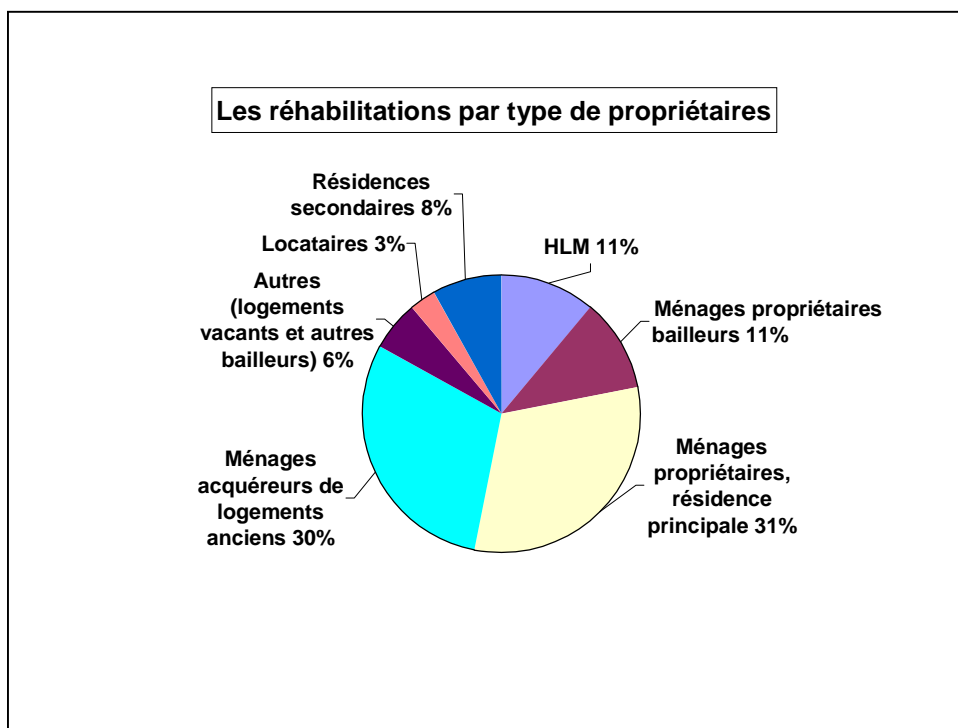


Figure 2. Ensemble des travaux sur les logements existants par type de propriétaires.

On constate que l’ensemble des « décideurs individuels » évidents, ménages propriétaires de leur résidence principale (31 %) ou secondaires (8 %), acquéreur de logement ancien (30 %), locataires (3 %) représentent 72 % du total. Il faudrait y ajouter les décideurs individuels compris dans les autres catégories, notamment les ménages propriétaires bailleurs ne possédant qu’un ou deux logements (une part des 11 % de ce type) ou des logements vacants (une part des 7 % de ce type). Au total les décideurs individuels

²⁵ Il est réalisé par des entreprises notamment pour des appareils (ascenseurs, chaufferies, ventilation, climatisation, éclairage) dans des logements collectifs, et surtout tertiaires. Le nettoyage de vitres d’un immeuble de bureaux relève de l’entretien, mais n’a aucune influence sur le chauffage. Dans le cas du logement individuel ou de l’appartement à chauffage individuel, cette notion a peu de sens (sauf pour les chaudières).

²⁶ Source : *Réhabilitation, un marché sûr pour les entreprises*, Le Moniteur, n°4969, 19 février 1999 [8].

représentent probablement plus de 80 % des travaux.

En ce qui concerne la répartition entre la « réhabilitation », la « rénovation » complet d'un logement, et la « rénovation naturelle diffuse » définies ci-dessus, on ne peut qu'émettre des conjectures :

- la « réhabilitation » d'immeubles, limitée en pratique aux gros bailleurs privés et aux HLM concerne probablement moins de 10 % du total ;
- les « rénovations » complètes d'un logement et la « rénovation naturelle diffuse » se partagent les 90 % restant.

3.2 La « rénovation naturelle diffuse » principal mode de réalisation d'économies d'énergie.

Les éléments ci-dessus concernant l'ensemble des travaux sur les bâtiments. Ils ne peuvent que donner une idée de la répartition de ceux pouvant concerner les économies d'énergie (installation de chauffage, chaudières, fenêtres et huisseries, isolation).

Pour ces derniers, divers éléments permettent de penser que la « rénovation d'ensemble d'un logement » est très minoritaire par rapport à la « rénovation naturelle diffuse » limitée à un seul élément du logement.

Ces opérations de « rénovation naturelle » se feraient de toute façon, les composants du bâtiment ou les appareils de chauffage rénovés étant en fin de vie. Elle est « diffuse » parce que les acheteurs se décident librement et qu'aucune planification n'intervient (comme dans le logement social dans les années 1980-2000).

Une enquête annuelle de l'ADEME [5] analyse les travaux ayant un caractère énergétique dans les logements existants. Elle prend en compte aussi bien la « rénovation d'ensemble d'un logement » que la « rénovation naturelle diffuse ». Elle montre (de façon répétitive) que les dépenses faites dans le cadre d'une « rénovation d'ensemble du logement » sont très minoritaires par rapport aux travaux diffus portant uniquement sur les composants concernant les économies d'énergie.

La « rénovation diffuse » concernant les économies d'énergie se répartit , en valeur, ainsi selon l'enquête :

- 40 % pour le renouvellement des huisseries et vitrages extérieurs,
- 40 % pour le remplacement des chaudières et brûleurs en panne irréparable ou totalement obsolètes,
- 10 % pour les isolations (valeur surévaluée, car l'enquête prend en compte une trop forte partie de la dépense de réfection de façade ou de toit et non le seul surcoût d'isolation),
- 10 % pour tout le reste : étanchéité à l'air (joints de fenêtres), régulations, programmations, interventions sur les appareils terminaux de chauffage (radiateurs), etc.

La fréquence de ces travaux est faible : l'enquête indique que chaque ménage prend des décisions « importantes » (ne concernant pas que des travaux d'entretien) tous les 15 ans environ.

Bien que l'enquête ne permette pas de le quantifier précisément, la part de ces travaux ayant relevé d'un syndicat de copropriétaire est très faible :

- les chauffages individuels représentent déjà près de 60 % des consommations ;
- dans les copropriétés, les fenêtres sont toujours des éléments privatifs ;
- beaucoup d'immeubles collectifs ont des chauffages individuels au gaz ou à l'électricité.

Signalons que cette enquête exclut les dépenses concernant l'électricité spécifique et notamment l'éclairage et les services des immeubles, et prend très mal en compte la production d'eau chaude sanitaire.

Cette enquête et des investigations complémentaires²⁷ [12] et [13] effectuées pour le « rapport Martin », montrent que **la quasi-totalité de ces travaux était obligatoire**, et que les incitations publiques en ont déclenché au plus 10 % (le terme « déclenché » signifiant que les travaux ont été avancés de cinq ans ou plus).

3.3 Application de technologies obsolètes dans la rénovation diffuse.

L'enquête ADEME [5] a permis de montrer que les principales actions ont des caractères communs :

- elles portent sur la « rénovation naturelle diffuse » du bâtiment ou de son chauffage et de sa production d'eau chaude sanitaire ;
- elles obéissent à la même problématique économique : le manque d'information des acheteurs.

Le plus souvent, en France, ces rénovations diffuses n'utilisent pas les « meilleures technologies » présentes sur le marché, au contraire de la construction neuve placée sous la contrainte de la réglementation énergétique (voir en page 5). Les raisons sont multiples :

- la **routine du « remplacement à l'identique » est probablement le facteur principal** : chaudières, simple vitrage²⁸,
- l'utilisation de technologies déjà dépassées : cas du double vitrage simple,
- la diffusion très restreinte de technologies largement utilisées dans d'autres pays : chaudières « étanches » au fioul, chaudières « à condensation »,
- l'utilisation de matériels français totalement dépassés dans le contexte international : par exemple une bonne partie des chaudières et inserts de chauffage au bois.

Les problématiques sont presque identiques quel que soit le domaine technologique :

- il existe plusieurs technologies sur le marché ;
- la « meilleure technologie » a un surcoût remboursé par les économies d'énergie en très peu de temps, un à deux ans ;
- donc, il est de l'intérêt évident du consommateur de l'utiliser ;
- les gains d'émission de carbone fossile ont donc un « coût négatif » ;
- parmi les fournisseurs de matériel, un nombre très réduit de groupes dominants, 3 à 5, couvrent 75 à 80 % du marché ; il est de leur intérêt évident de fournir les « meilleures technologies », légèrement plus chères ;
- néanmoins, le libre jeu de la concurrence entre les « installateurs » fait que ces « meilleures technologies » ne couvrent qu'une part insuffisante du marché. Les groupes industriels dominants sont alors obligés de fournir des technologies dépassées.

Des politiques spécifiques visant ces rénovations diffuses sont déjà appliquées avec succès dans certains pays européens, comme l'Allemagne, le Royaume-Uni, les Pays Bas etc.

Le renouvellement (ou l'acquisition première) de tous les appareils consommateurs d'électricité spécifique répond à la même problématique : existence d'une « meilleure technologie du point de vue énergétique » qui a des difficultés à s'imposer dans l'état actuel du marché, mais qu'on a pu appliquer dans certains pays grâce à des politiques de réglementation spécifiques.

²⁷ [12] Évaluation faite au niveau global de l'Impôt sur le Revenu des Personnes Physiques (IRPP) par l'Inspection des Finances. [13] Résultats d'une enquête faite à partir d'un panel de déclarations fiscales.

²⁸ Ces remplacements « à l'identique » sont particulièrement nombreux dans le « bricolage ». Les grands vendeurs d'huisseries ont une offre encore importante en vitrage simple !

3.4 Une problématique commune : le manque d'information des consommateurs.

On a vu que les utilisateurs sont extrêmement dispersés et non professionnels ; le coût faible de l'opération leur interdit de payer un « conseil ». **Leur faire parvenir « l'information à jour » nécessaire à guider leur choix dans des opérations qu'ils rencontrent une fois dans leur vie (changer des vitrages) ou tous les 40 ans (changer une chaudière), est extrêmement difficile**²⁹. Il en va de même pour les petits appareils consommant l'électricité spécifique.

Le consommateur dispose en fait de trois sources d'informations :

- les fabricants de matériel dominants, dont l'intérêt est de vendre le meilleur matériel, ont multiplié les informations aux installateurs (à travers la presse professionnelle) et au public (magazines, *60 millions de consommateurs*, etc.) ;
- les installateurs, qui jouent trop souvent de l'argument commercial du prix plus faible à l'investissement des matériels médiocres,
- la puissance publique, qui se révèle incapable de fournir une information recevable par le consommateur.

Les **aides fiscales** (dont les modalités ont changé trop souvent) n'ont pas permis d'assurer la promotion de ces matériels dans le passé³⁰. Le recours à ce type de procédure reste pourtant d'actualité : par exemple avec la loi de finances pour 2005. On peut douter que l'efficacité de ces procédures ait soudain augmenté.

La réalisation systématique d'un « **diagnostic** », préconisée notamment par les Agences chargées des économies d'énergie, est en pratique réservée aux grands immeubles³¹. Pour les « chauffages individuels », le coût du recours à un maître d'œuvre (du type architecte), qui fournirait une information « impartiale », impose des honoraires prohibitifs au propriétaire (ou locataire) du logement (ou du petit local tertiaire).

Toutes les **actions d'information des consommateurs** et des prescripteurs (étiquetage, labels, subventions « ciblées », etc.) menées en France ont largement échoué³². L'intérêt du consommateur justifie donc des politiques plus dirigistes, orientant les achats publics sur les matériels les plus performants, et imposant des normes de consommation énergétique aux matériels (vitrages, huisseries, chaudières) utilisés lors des rénovations de bâtiments privés ou publics.

L'exemple de pays européens comme l'Allemagne montre que, dans le respect des règles communautaires, ces politiques dirigistes ont permis l'élimination quasi totale des offres de matériels trop peu performants.

3.5 Conclusions sur les grandes caractéristiques de l'énergie dans les bâtiments.

La consommation d'énergie dans le bâtiment peut se synthétiser de la façon suivante.

Elle représente près de 50 % de la consommation française en volume et plus de 50 % en valeur.

L'électricité spécifique et l'eau chaude sanitaire, qui représentent la moitié de cette consommation augmentent beaucoup plus vite que le chauffage proprement dit.

²⁹ Cette difficulté touche de façon presque identique les immeubles plus importants de logement social ou des secteurs tertiaires publics et privés.

³⁰ Voir l'analyse très poussée de cette série d'échecs dans « *Évaluation de la politique de l'énergie* » [1].

³¹ Seul les grands bâtiments (tertiaire et immeubles collectifs) sont susceptibles d'utiliser le diagnostic thermique dans des conditions raisonnables de coût. Et de fait, on ne fait pratiquement pas de diagnostic dans les logements individuels (exception faite s'il est exigé pour certaines procédures : prêts de l'ANAH). Mais, dans le logement collectif, les chaudières individuelles et les fenêtres sont des « parties privatives », ce qui réduit encore le domaine d'action du diagnostic.

³² On constate, hélas, que les gestionnaires de grands immeubles (tertiaire et grands ensembles de logements sociaux) ne sont guère plus performants que les particuliers dans leurs choix lors des rénovations... Le rapport Martin a mis clairement en évidence cette carence dans le cas des bâtiments de l'État [15].

On y a maintes fois constaté l'échec de la diffusion des techniques modernes dans l'existant et, au contraire, un certain succès dans le neuf³³.

La consommations (chauffage, ECS, électricité spécifique, etc.) se répartit globalement, ainsi :

- logements 74 % (dont 85 % est liée à des logements individuels et/ou à chauffage individuel),
- tertiaire public, 13 %,
- tertiaire privé, 13 %.

Dans les logements existant, les points majeurs sont :

- la part très majoritaire des ménages (85 %) dans les travaux,
- la part faible des travaux d'économie d'énergie relevant d'une copropriété éventuelle,
- l'extrême dispersion des opérations ayant une influence sur les économies d'énergie,
- la concentration de 80 % des dépenses sur deux catégories de matériels, les chaudières et les huisseries.

D'un point de vue opérationnel, on doit souligner les points capitaux suivants :

- la très grande homogénéité des comportements de ces « maîtres d'ouvrage » individuels, qu'ils habitent en logement individuel ou en appartement,
- la fréquence très faible des décisions à prendre, interdisant tout « apprentissage »,
- le fait que ceux-ci constituent une « maîtrise d'ouvrage » particulièrement non avertie et difficile à informer.

Pour le tertiaire, quelques points méritent d'être mis en lumière :

- le fait que le « tertiaire public » représente 50 % du tertiaire, ce qui entraîne qu'il devrait constituer une priorité dans les politiques d'économies d'énergie ;
- mais que les politiques suivies dans le secteur public apparaissent comme très peu organisées ;
- les technologies concernant les chaudières et les huisseries conservent toute leur importance ;
- mais l'importance de « l'exploitation énergétique » est plus grande que pour le logement, notamment du fait de « l'intermittence d'utilisation » de la plupart des immeubles concernés.

En ce qui concerne les volumes de travaux ayant trait aux économies d'énergie³⁴, leur connaissance est correcte pour les logements, grâce à l'enquête ADEME précitée et à l'homogénéité des techniques et matériels utilisés et des comportements des maîtres d'œuvre, mais très médiocre pour le tertiaire, aux types de bâtiments et de maîtres d'œuvre très divers.

³³ Ce succès global comporte des points plus faibles en France que dans d'autres pays, que nous ne détaillerons pas dans le présent rapport : faible utilisation de l'isolation par l'extérieur ou de l'isolation pariéto-dynamique, faible diffusion des technologies de chaudière les plus performantes, etc.

³⁴ L'ensemble des « travaux marchands » sur les logements représente 60 % du total contre 40 % pour le tertiaire. Mais, les logements bénéficient en plus d'une masse non comptabilisée de travaux auto-produits (bricolage) ou relevant du marché noir. Le tertiaire compte probablement beaucoup plus de travaux relevant de « l'entretien » que les logements. La répartition pour les travaux ayant un effet d'économie d'énergie est inconnue, mais ils sont probablement beaucoup plus concentrés sur les logements que l'ensemble des travaux. Nous pourrions risquer une estimation de 75 % dans le logement et 25 % dans le tertiaire.

ÉVOLUTIONS ET PROSPECTIVE DU CHAUFFAGE ET DE L'ELECTRICITE SPECIFIQUE

4 Evolution passée et prospective du chauffage.

4.1 Evolution du chauffage des logements.

La consommation d'énergie pour le chauffage a peu augmenté de 1975 à 2000, comme le montre la figure 3, où les trois autres courbes représentent les principaux facteurs suivants :

- la croissance des surfaces de plancher, extrêmement rapide, de + 35 % entre 1975 et 2000 ;
- elle-même due pour 20 % à l'augmentation de la population, ;
- et due pour 80 % à l'augmentation de la consommation de surface de plancher par habitant.

Un seul facteur n'apparaît pas sur la figure 3 : l'évolution du confort, avec une hausse des températures moyennes des logements entre 1975 et 2000. Ce facteur caché ne devrait plus jouer à l'avenir.

La figure 3 ci-dessous représente l'évolution passée et une prospective des consommations sur la base de l'évolution de la population et des autres facteurs influençant la consommation d'énergie.

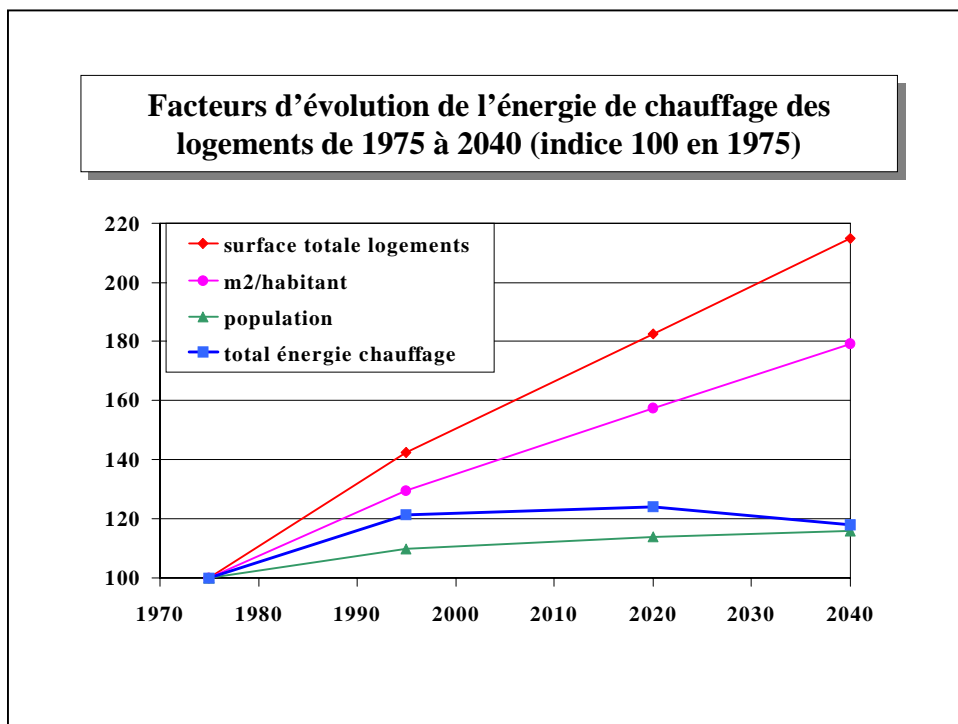


Figure 3. Facteurs d'évolution du chauffage des logements.

Pour le passé, le décrochage de 1975 à 2000 entre la faible hausse des consommations d'énergie et la vive croissance des surfaces de planchers est dû principalement à l'utilisation de nouvelles technologies dans

les bâtiments neufs, qui ont été imposées par des normes énergétiques contraignantes .

L'imposition de normes énergétiques concernant les logements neufs à partir de 1973 a conduit par étapes à une division par 3 environ de la « consommation unitaire par mètre carré de plancher » entre le parc antérieur à 1975 et les logements construits actuellement. Le Rapport Martin [1] a bien décrit cette évolution³⁵.

Il en est à peu près de même pour le secteur tertiaire (avec un peu de retard, rattrapé par la réglementation mise en place en 2000). La « performance globale » exigée par cette nouvelle réglementation vise à imposer pratiquement l'utilisation des « meilleures technologies » actuellement sur le marché, notamment en ce qui concerne les huisseries, les vitrages et les chaudières.

La prospective représentée sur la figure 3 s'appuie d'abord sur les prévisions de l'INSEE en matière de population.

Elle correspond au scénario le plus probable établi par le Commissariat général du Plan en 1998, *Energie 2010-2020, les chemins d'une croissance sobre* [18]³⁶.

Pour l'évolution de la consommation d'espace en m² par habitant, on a utilisé des études sur les facteurs complexes influant sur la consommation d'espace par habitants. On verra par exemple sur ce sujet « *La demande potentielle de logements. L'impact du vieillissement de la population* » de l'INSEE [19]. L'augmentation de la consommation de surface de logement par habitant restera une tendance lourde pendant longtemps, la France étant caractérisée actuellement par une surface par habitant encore faible comparée à celle d'autres pays d'Europe (Italie, Allemagne) ou des USA. Le scénario retenu prévoit donc une augmentation des m²/habitant de + 33 % entre 2000 et 2040, soit un ralentissement notable par rapport à celle de + 30 % advenue entre 1975 et 1995.

Année	1975	1995	2000	2020	2040
M ² /habitant (base 100 en 1975)	100	130	135	157	180
Base 100 en 2000			100	116	133

Le principal résultat prospectif illustré par la figure 3 est la quasi stabilisation de la consommation d'énergie après 2000, le passage par un maximum, vraisemblablement entre 2010 et 2020, et une faible décroissance après.

Les 3 figures ci-dessous illustrent un « scénario de base » d'évolution des consommations de chauffage dans les logements, depuis 1975 jusqu'en 2040, selon l'hypothèse de croissance des surfaces illustrée au figure 3 (base 100 en 1975, 145 en 1995, 185 en 2020 et 235 en 2040) par trois mécanismes :

- la destruction des bâtiments, qui est beaucoup plus lente que ce qu'on imagine communément ;
- les économies d'énergie à faire sur les bâtiments construits après 1975, surtout avant 1995 ;
- le durcissement des normes énergétiques de bâtiments neufs.

³⁵ Sur les échecs de la *Réglementation* de 1989, voir *Évaluation de la réglementation thermique de la construction de logements* [10] et *Évaluation de la réglementation thermique de la construction neuve tertiaire* [14], deux Annexes à *La maîtrise de l'énergie, rapport d'évaluation* [1].

La *Réglementation* de 2000 semble (en 2005) laisser encore subsister des matériels peu performants. En effet, le respect de la réglementation énergétique dans les logements individuels est très loin d'être parfait. Notamment du fait de la faiblesse des contrôles, mises en évidence par les investigations du Rapport Martin : voir son Annexe, *Contrôle par l'État de l'application de la réglementation thermique de la construction d'immeubles d'habitation* [11]), dont les conclusions doivent, hélas, être toujours d'actualité.

³⁶ Pour une approche plus ciblée, voir le Cahier du CLIP, *Habitat et développement durable* [22], 2001.

La cohérence globale de ce scénario de 1975 à 2040 est résumée dans le tableau 2 ci-dessous . On y retrouve bien l'évolution de la consommation totale décrite dans la figure 3.

Tableau 2. Évolution des consommations par catégories de bâtiments jusqu'en 2040.

	Mtep/an	Détail colonne 2
consommation initiale bâtiments d'avant 1975	25	
consommation des constructions neuves lors de leur livraison	18,5	9 + 5,5 + 4
diminutions nettes pour les bâtiments d'avant 1975	10,2	
par destruction de bâtiments	2,8	1 + 1 + 0,8
par économies d'énergie	7,6	2 + 2,4 + 3,2
diminutions nettes pour les bâtiments construits après 1975	4,1	
par destruction de bâtiments	0,3	
par économies d'énergie	3,8	1 + 1 + 1 + 0,8
Total en 2040	30,2	

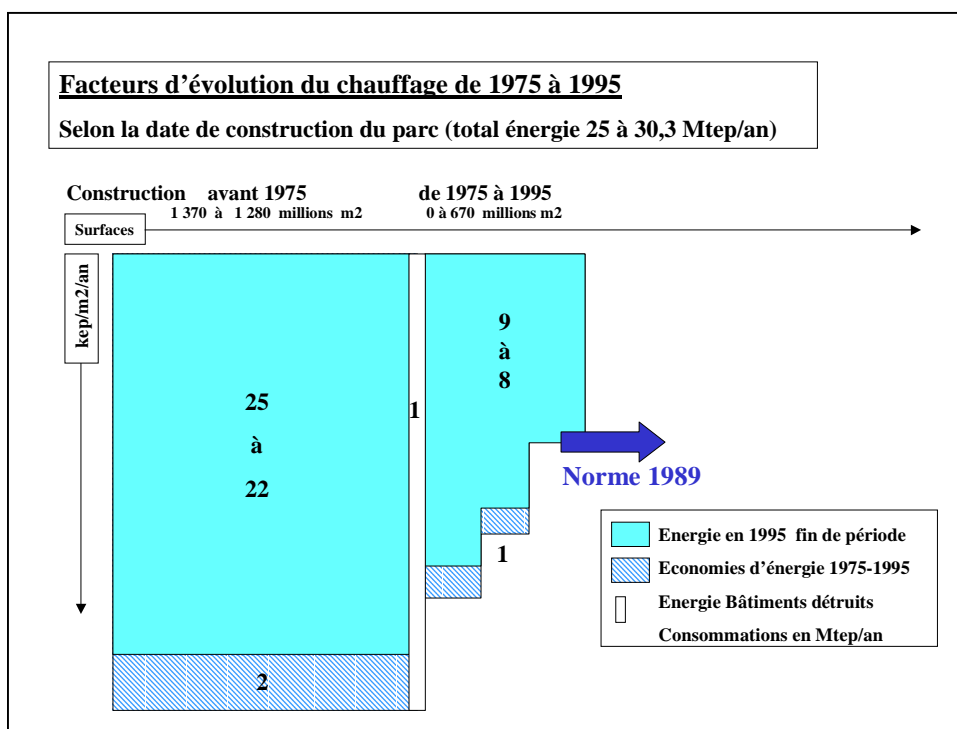


Figure 4. Évolution du chauffage des logements de 1975 à 1995.

La figure 4 montre la faiblesse des économies d'énergies réalisées durant la période 1975-1995, dues :

- à la croissance des températures pratiquées dans les logements,
- à l'absence de technologies économes au début de la période,
- à la faible utilisation des « meilleures technologies » en fin de période³⁷.

³⁷ Par exemple, le simple vitrage, de règle avant 1975, a fortement régressé au profit du double vitrage à partir de 1990, mais on utilisait encore peu en 1995 le « vitrage à isolation renforcée », dans le neuf comme en rénovation. Les chaudières achetées étaient meilleures qu'en 1975, mais pas « les meilleures possibles ».

Les « marches d'escalier » sur la construction neuve de 1975 à 1995 sont dues des changements successifs de la norme énergétique (ce qui a laissé la possibilité d'économies d'énergie sur les bâtiments neufs les plus proches de 1975).

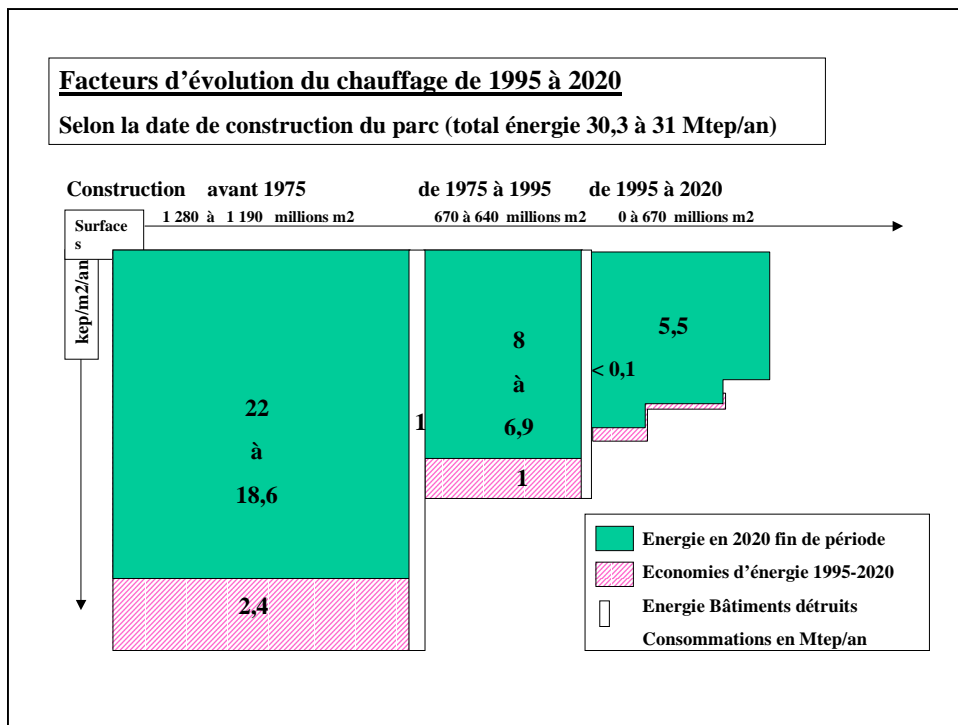


Figure 5. Évolution du chauffage des logements de 1995 à 2020.

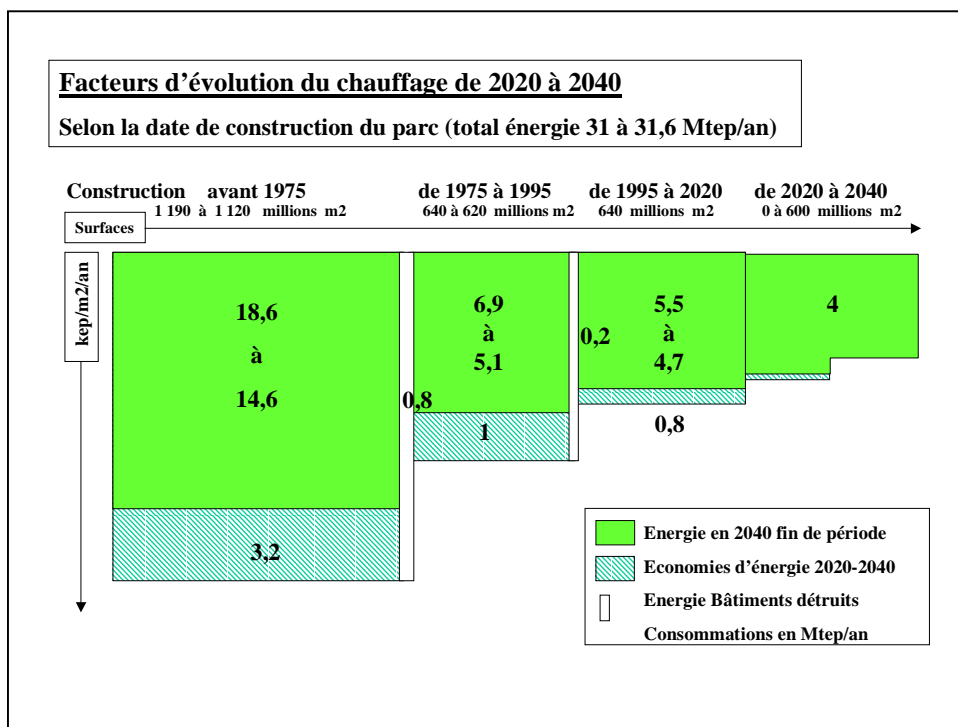


Figure 6. Évolution du chauffage des logements de 2020 à 2040.

Les projections à 2020 et 2040 illustrées par les figures 5 et 6 présentent une faible incertitude pour plusieurs raisons :

- la part de la consommation des « bâtiments neufs » est faible, et donc très peu sensible :
 - à l'évolution des normes³⁸ de consommation d'énergie,
 - ou à l'évolution du rythme de construction neuve,
- dans les « bâtiments anciens » :
 - leur rythme de destruction est très faible (inférieur à 0,1 % par an) et relié au rythme de construction³⁹ ;
 - une grande partie des « économies d'énergie » est prédéterminée par l'utilisation des « technologies courantes » actuellement sur le marché en remplacement des matériels anciens (vitrages, chaudières) ;
- l'adoption des « meilleures technologies » intervient donc à la marge.

Le scénario d'évolution entre 2020 et 2040 (figure 6) suppose peu d'innovations :

- les préconisations sur la réglementation des rénovations décrites dans le présent rapport auront été (enfin !) mises en application,
- les normes de consommations pour les logements neufs ont été diminuées de 35 % par rapport à la norme appliquée jusqu'en 2000 ;
- on n'utilise que des technologies déjà vendues actuellement : vitrages à isolation renforcée⁴⁰ (voir en page 49), chaudières « étanches » ou « à condensation », éclairage basse consommation, etc.
- ou des technologies déjà développées à l'état de prototypes : lampes à diodes, vitrages super-isolants, climatisation à absorption, pompes régulées-programmées, etc.

4.2 Normes pour les bâtiments neufs et faible « effet d'entraînement » sur l'ancien.

Le discours récent voyait un élément capital de la politique énergétique des bâtiments dans le durcissement croissant des normes pour les bâtiments neufs :

- pour diminuer la consommation de ses bâtiments neufs ;
- par des « effets d'entraînement » sur les technologies applicables dans les bâtiments existants.

Une caractéristique fondamentale des normes énergétiques des bâtiments neufs qui se sont succédées était leur structure « performancielle ». On entendait par là que l'utilisation de certains très bons composants pouvait compenser celle de composants médiocres, tout en maintenant une « performance » globale. Des « primes » à l'utilisation des meilleures technologies étaient censées en assurer une diffusion rapide en dehors d'un système contraignant sur les composants.

Enfin la diffusion des meilleures technologies dans l'existant devait être « entraînée » par leur diffusion dans la construction neuve.

Cette approche est fondamentalement différente de celle d'autres pays, comme l'Allemagne, qui ont développé des « réglementations de composants » excluant les produits médiocres de la construction neuve, et même de la rénovation.

³⁸ La réglementation énergétique 2000 va s'appliquer en fait jusqu'en 2010. Les modifications prévues pour 2005 ne prévoient toujours pas de « normes de composants ».

³⁹ Les destructions visent en majorité des immeubles de logement social, et un rythme plus élevé de destruction entraînera un rythme plus élevé de construction, d'où une compensation.

⁴⁰ Connus aussi sous le nom de « vitrages peu émissifs » ou « advanced double glazing ».

Nous avons dans notre introduction signalé divers constats d'échec récents de cette approche en ce qui concerne la diffusion des meilleures technologies dans l'existant (voir page 5).

« Cependant, on peut observer que, spontanément, les stratégies de progrès s'orientent sur le neuf parce qu'il semble plus "facile" d'en renouveler la conception et d'y intégrer les meilleures techniques et équipements. En revanche, les progrès applicables au parc existant paraissent soumis à un rythme lent ; ils semblent incrémentaux ou partiels et il paraît bien probable que ce ne soient pas les technologies les plus performantes qui se diffusent à travers le renouvellement de l'existant. ⁴¹ »

4.3 Faiblesse de l'impact de l'évolution technologique sur les bâtiments neufs futurs.

La norme énergétique des bâtiments neufs⁴² renouvelée en 2000, applicable à partir de 2002, engage l'avenir jusqu'en 2012. Les effets des normes ultérieures ne porteront donc que sur environ 5 Mtep/an pour les bâtiments construits entre 2015 et 2040, soit 17 % du total des consommations en 2040.

On peut comparer deux rythmes de durcissement de cette norme dans les deux variantes illustrées par le figure 7. Elles correspondent à la même construction de 600 000 m² entre 2020 et 2040 contre 670 000 entre 1995 et 2000, caractérisées par :

- une évolution commune de 9 kep/ m²/an en 1989 à 8,2 kep/ m²/an en 2000, applicable jusqu'en 2012,
- dans la variante 1, la norme est de 7,4 kep/ m²/an en 2012 et diminue par palier jusqu'à 5,5 kep/ m²/an en 2033 (moyenne 6,5 kep/ m²/an)
- dans la variante 2, la norme est de 7 kep/ m²/an en 2012 et diminue par palier jusqu'à 4 kep/ m²/an en 2033 (moyenne 5,7 kep/ m²/an).

La variante 2 ne suppose pas d'innovations technologiques majeures, mais l'utilisation systématique de matériels plus chers ou de plus de matériaux isolants, donc des investissements plus importants.

⁴¹ Note d'orientation pour l'atelier 1 du PREBAT, *Quelle stratégie de recherche-développement pour agir sur l'existant ? Quelles filières technologiques et professionnelles développer ?* Décembre 2004, document de travail non publié, [2].

⁴² Les principales avancées de la norme 2000 en matière de dispositions constructives, par exemple sur la ventilation ou le traitement des ponts thermiques, ne sont pas transposables en pratique aux bâtiments existants. Seules les avancées sur les composants (chaudières, vitrages, isolations) sont en partie communes aux deux secteurs. Or, l'expérience passée montre combien les marchés des composants sont disjoints entre le secteur du neuf et celui de l'existant.

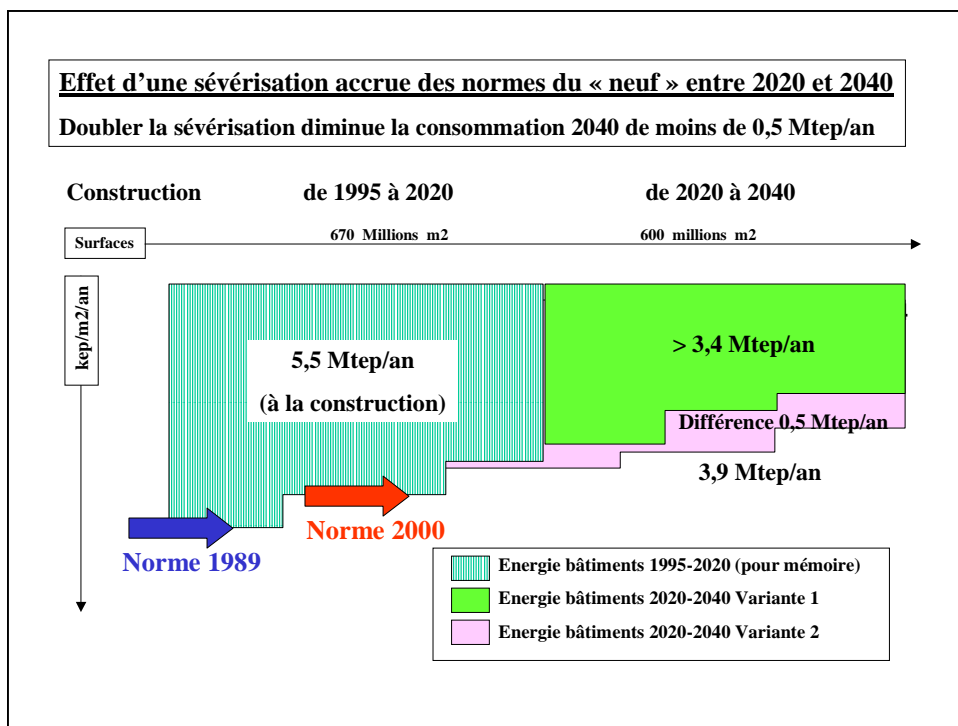


Figure 7. Comparaison de deux scénarios d'évolution des normes énergétiques des logements neufs.

On peut estimer ainsi que la différence entre une évolution très rapide de la réglementation et une évolution moins rapide se traduira par une diminution de consommation de l'ordre de 500 000 tep/an seulement en 2040 (pour l'ensemble des logements construits de 2000 à 2040).

On voit donc que, contrairement aux idées reçues :

- l'enjeu portant sur l'évolution plus ou moins accélérée de la réglementation énergétique des logements est très faible, en réalité ;
- l'impact des avancées technologiques concernant les composants sur ces nouveaux logements est faible lui aussi.

4.4 Insignifiance des actions sur la croissance et le renouvellement du parc.

On ignore très généralement que le rythme de destruction du parc immobilier en France est très faible⁴³ : sur la période récente il était de l'ordre de 0,1 % par an du total en nombre, de 0,07 % par an en surface et de 0,06 % par an en consommation (les occupants pauvres de ces logements se chauffent moins).

Ce « taux de renouvellement de moins de 1 pour 1000 » en terme d'énergie, est un caractère fondamental du parc existant. Il est assez systématiquement dénié dans les « scénarios » prospectifs, sans aucune

⁴³ Sur les 10 dernières années, on a détruit environ 25 000 logements par an sur un parc 2001 de l'ordre de 24 000 000 (de résidences principales). Comme ceux-ci étaient d'une surface moyenne de 70 % de la moyenne du parc, le rythme de destruction récent était environ de 0,7 pour mille des surfaces.

Les raisons de ce rythme de destruction très faible sont à chercher :

- dans l'extrême rigidité due à la grande diffusion en France du régime de la copropriété,
- dans le type de construction « en dur » des logements individuels,
- dans la jeunesse relative du parc de logements sociaux (sur 4 millions en 2000, 1,6 millions datent d'après 1975) et dans la politique de « rénovation systématique » de ceux-ci suivie depuis 1980 (2 millions de logements rénovés de 1980 à 2000).

justification⁴⁴. Nous avons supposé dans le scénario jusqu'en 2040 un rythme de destruction des bâtiments antérieurs à 1975 de 0,16 % par an (compté en consommation) avec quelques destructions de bâtiments plus récents, soit environ un triplement du rythme actuel.

Le freinage de la croissance des surfaces consommées par habitant, en s'opposant à la construction de logements individuels, est souvent proposé. Cela se ferait au profit d'un habitat collectif composé de logements plus petits et donc moins consommateurs. Mais, l'impact énergétique sera très restreint, du fait de la diminution continue des « consommations unitaires par surface de plancher », déjà remarquablement faibles actuellement.

Les logements construits en remplacement des logements détruits sont toujours plus vastes et mieux équipés. Leur consommation ne diminue donc pas dans le rapport des consommations unitaires par m², mais beaucoup moins.

L'« accélération du renouvellement du parc », prôné notamment dans le secteur du logement social⁴⁵, est donc un mythe en termes quantitatifs par rapport au parc existant. L'évaluation d'une politique très ambitieuse de renouvellement du parc (triplement du rythme actuel) a mis en évidence l'insignifiance des gains d'énergie réalisés. Bien entendu, le calcul d'un coût généralisé tenant compte des seules économies d'énergie fait apparaître des coûts pour ce type d'opération dépassant les 5 000 €/par tonne de carbone fossile économisée. Une telle politique de renouvellement accéléré du parc doit donc suivre ses propres motivations en termes de confort et de standard des logements, et ne relève en rien d'une politique de l'énergie.

4.5 Evolution du chauffage dans le tertiaire.

On a vu que la consommation de chauffage du tertiaire avait évolué un peu plus vite que dans le logement, pour plusieurs raisons :

- la croissance des surfaces était un peu plus rapide, notamment pour les bureaux privés et pour le secteur public : enseignement, hôpitaux, bâtiments sportifs ;
- les normes énergétiques applicables aux bâtiments tertiaires neufs ont évolué avec du retard par rapport à celles du logement.

La prospective de l'évolution des surfaces construites dans le tertiaire est très difficile à appréhender. En effet, les nombreux secteurs, éducation, santé, bâtiments sportifs et communaux, bureaux publics ou privés, commerces, etc., ont chacun des facteurs d'évolution très différents.

La forte croissance passée des trois secteurs de l'éducation, de la santé et des bâtiments sportifs ne devraient pas continuer au même rythme. Pour les bureaux privés, la tertiairisation de l'économie est en passe de s'achever et diverses tendances visent à la réduction des surfaces (bureaux « mobiles » ou « partagés »). Enfin, une nouvelle « révolution » de la distribution commerciale est peu envisageable. Il est donc fort probable que la part des surfaces nouvelles sera nettement plus faible que dans le logement.

Les normes applicables aux bâtiments neufs, qui étaient en retard par rapport au logement, sont devenues pratiquement identiques dans la réglementation 2000. À long terme, la part de la consommation des bâtiments construits à partir de 2000 sera donc encore moins importante que dans les logements.

Pour le tertiaire ancien, les principaux éléments de l'évolution seront les suivants :

- le rythme de destruction de bâtiments obsolètes, notamment dans le domaine de l'éducation (lycées et collèges « industrialisés » des années 1960-1970) et des grandes surfaces commerciales,
- l'efficacité des rénovations lourdes des bâtiments, plus fréquentes dans le tertiaire privé et les zones commerciales que dans le logement et le tertiaire public,

⁴⁴ Un taux de moins de 1 pour 1000 ne veut évidemment pas dire que le parc actuel mettra plus de 1 000 ans à se modifier. Mais, il est illusoire de prévoir, par exemple, un renouvellement du parc de 20 % en 2050, ce qui correspond à un taux de renouvellement « moyen » de 5 pour mille.

⁴⁵ L'année 2000 a vu un minimum record de la construction sociale, avec 38 300 logements engagés, contre une moyenne de 55 000 à 60 000 depuis 20 ans, avec un maximum en 1993 et 1994 (77 000) et une baisse rapide depuis, de 60 000 à 42 000. Ce rythme est remonté en 2004.

- l'amélioration du niveau d'efficacité de l'exploitation énergétique des bâtiments dans le tertiaire public, qui est très médiocre actuellement.

Globalement, la consommation du secteur tertiaire devrait atteindre un maximum plus vite que dans le logement et subir une décroissance légèrement plus marquée ramenant la consommation à l'horizon 2040 au niveau de 1990, comme pour le logement.

4.6 Limites des économies d'énergie et de la réglementation des bâtiments neufs (2040-2080).

Quelle sera la situation en 2040 dans le scénario décrit ci-dessus ?

Les bâtiments d'avant 1975 consommaient en 1975 environ 25 Mtep/an. La diminution les a ramenés à 14,6 Mtep/an en 2040. Cela correspond à :

- une diminution⁴⁶ de 35 % de leur « consommation unitaire par m² » (voir le figure 6),
- une destruction de bâtiments consommant 2,8 sur 25 Mtep/an (15 % environ des surfaces).

Après 2040, on ne pourra guère aller plus loin dans la voie des économies d'énergie. En effet :

- les chaudières auront pratiquement toutes été rénovées entre 2000 et 2040. Sauf politique catastrophique d'utilisation persistante de mauvaises chaudières, les gains de rendement ultérieurs deviennent très marginaux : moins de 1 Mtep/an ;
- la moitié des vitrages et huisseries aura été rénovée, le gain à réaliser ultérieurement sera inférieur à 3 Mtep/an (sur 4,5 Mtep/an pour les fenêtres non rénovées entre 2000 et 2040).
- les autres actions, isolations, régulations auront été faites.

Rappelons que, par rapport aux vitres simples qui équipaient la totalité du parc en 1975, les « doubles vitrages » font gagner un tiers des pertes, et les vitrages à isolation font gagner deux tiers des pertes. Les logements construits ou rénovés (en ce qui concerne les fenêtres) à partir de 1980 sont en grande partie équipés de doubles vitrages et ne devront pas être rénovés avant 2060. Les logements d'avant 1975 auront pratiquement tous été rénovés vers 2055, la plupart en doubles vitrages au minimum. Donc, à partir de 2060, environ, les rénovations porteront surtout sur des vitrages doubles. Les nouvelles générations de vitrages, même si leur surcoût est justifié économiquement, remplaceront des vitrages doubles et/ou à isolation renforcée, et n'apporteront donc que des gains faibles en valeur absolue.

Une limite vraisemblable de la consommation à long terme des logements conservés serait de l'ordre de 50 % de leur consommation initiale. Nous supposerons cette limite atteinte vers 2080.

La destruction de bâtiments d'avant 1975 ne peut plus constituer une action importante :

- on aura déjà détruit près de 15 % des surfaces existant en 1975. Les destructions ultérieures sont bornées par l'impossibilité pratique de détruire les copropriétés et les logements individuels ;
- le secteur locatif public représentait moins de 15 % du parc ;
- les économies d'énergie ne peuvent en aucun cas compenser le coût de reconstruction : le coût de la tonne de carbone fossile évitée dépasse 5 000 €

Le même type de considération permet de cerner les évolutions des consommations des bâtiments construits entre 1975 et 1995, puis durant les périodes suivantes. Pour la construction de bâtiments neufs après 2040, on, peut proposer des consommations unitaires au m² de l'ordre de la moitié de celles des

⁴⁶ La consommation des logements détruits a été estimée à 2,8 Mtep/an. Pour les logements restant en 2040 on est passé de 22,2 à 14,6 Mtep/an.

Rappelons que cette diminution intègre les augmentations de température intervenues dans les années 1975-1990. La diminution réelle des déperditions aura donc été plus élevée, 40 % environ.

bâtiments construits entre 1995 et 2020. On a rappelé les hypothèses de surfaces construites durant chaque période dans la colonne 2 du tableau.

Tableau 3. Évolution du chauffage des logements jusqu'en 2080.

Mtep/an (milliers de m ² en colonne 2)	10 ³ m ²	1975	1995	2020	2040	2060	2080
bâtiments avant 1975		25	22	18,6	14,6	12,5	11
bâtiments construits sur 1975-1995	670		8	6,9	5,1	4,5	4
bâtiments construits sur 1995-2020	670			5,5	4,7	4,5	4,4
bâtiments construits sur 2020-2040	600				3,8	3,7	3,6
bâtiments construits sur 2040-2060	600					3	2,9
bâtiments construits sur 2060-2080	600						2,5
Total en fin de période		25	30	31	28,2	28,2	28,4

Ce modèle très simple montre que la consommation totale des logements ne peut pratiquement plus bouger après 2040, les consommations des bâtiments neufs équilibrant les diminutions de celles des bâtiments anciens (par économie d'énergie ou destruction).

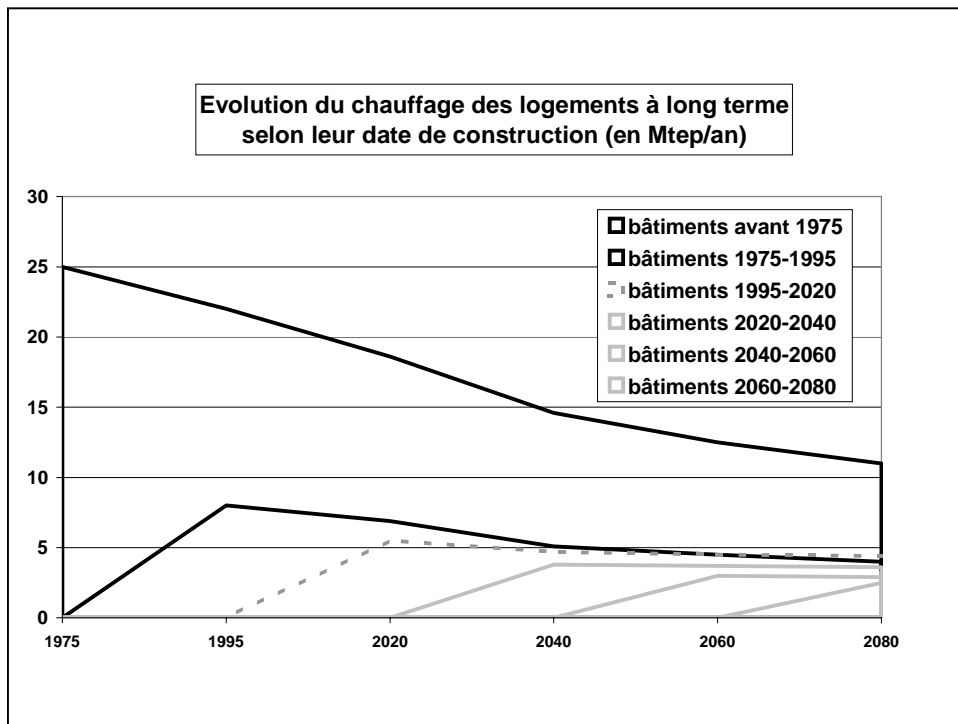


Figure 8. Évolutions des consommations de chauffage des logements jusqu'en 2080.

La figure 8 ci-dessus illustre cette évolution. On y voit que les bâtiments construits après 1995 ne seront pratiquement pas sensibles aux évolutions futures des technologies utilisables sur des bâtiments déjà construits ; leur consommation restera déterminée par les normes en vigueur à la date de leurs constructions respectives.

Par contre, le potentiel restant d'économies d'énergie réside :

- dans les bâtiments construits avant 1975, soit une douzaine de millions de tep/an à gagner,
- dans les bâtiments entre 1975 et 1995, pour lesquels les meilleures technologies actuellement disponibles n'avaient pas été employées à la construction, soit 3 à 4 millions de tep/an à gagner.

La figure 9 ci-dessous cumule les évolutions pour chacune des catégories présentées sur la figure 8.

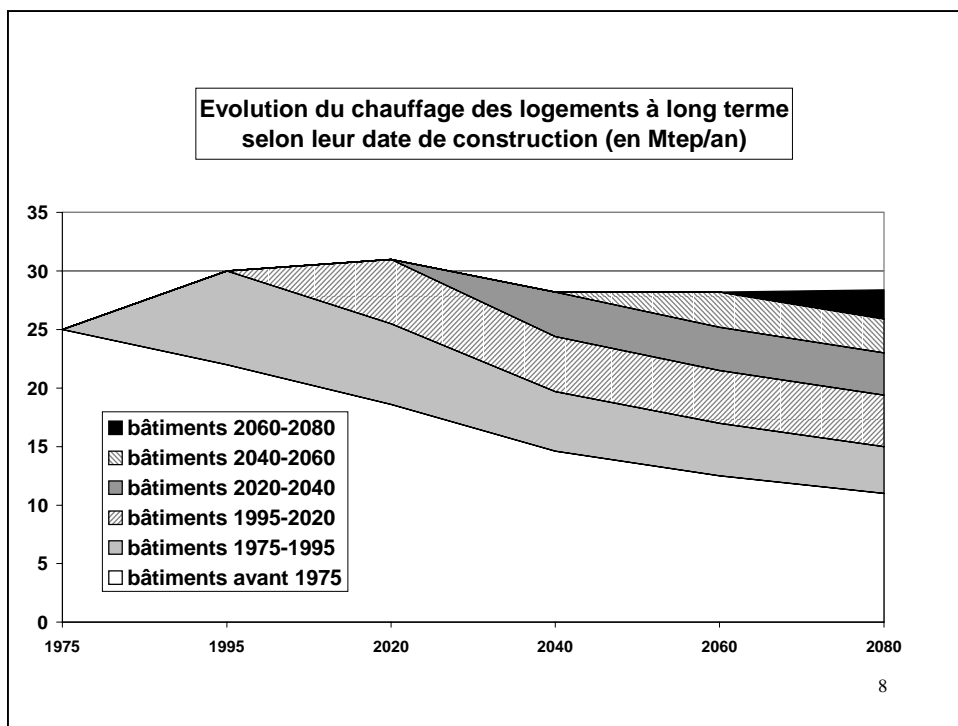


Figure 9. Cumul des évolutions des consommations de chauffage des logements jusqu'en 2080.

On retrouve les résultats présentés sur la figure 3 ci-dessus. C'est à dire le passage par un maximum.

Pour le chauffage du tertiaire, on supposera que les évolutions après 2040 correspondent à une stabilité analogue au niveau de 2040.

On atteint donc vers 2040 la limite de la politique d'économie d'énergie dans les bâtiments existant et de la sévèrisation des normes des constructions neuves.

Après 2040, les consommations du chauffage des bâtiments resteront pratiquement stables sur une longue durée.

4.7 Nécessité de la « substitution » dans la lutte contre le changement climatique.

Rappelons que les objectifs retenus dans la présente étude sont une « division par 4 » des émissions de gaz à effet de serre, en moyenne sur l'ensemble des consommations

La réussite de la lutte contre le changement climatique, qui doit laisser aux pays en développement (PED) et aux pays en transition (PET) une marge de croissance importante de leur consommation d'énergie et de leurs émissions de carbone fossile, suppose à long terme une diminution des « consommations par

habitant » dans les pays développés. Ceci, bien entendu, en respectant la croissance de la consommation de biens par ceux-ci.

Les bâtiments représentant près de la moitié de la consommation actuelle d'énergie en France, il paraît peu probable que les autres secteurs, transports ou industrie, compensent cette stabilité de la consommation dans ce secteur.

En conséquence, le recours à la substitution des énergies fossiles par des énergies renouvelables (ou nucléaire) apparaît inévitable, tant dans les bâtiments existants que dans les bâtiments à construire. On verra que de grands gains de carbone fossile émis sont très faciles dans ce domaine avec des technologies bien connues et à des coûts très acceptables.

5 Comment contrôler la croissance des consommations d'électricité spécifique et ECS ?

La prospective détaillée des autres consommations est pratiquement impossible. On peut toutefois constater que les deux postes majeurs de l'électricité spécifique et de l'eau chaude sanitaire croissent pour le moment beaucoup plus vite que celles du chauffage⁴⁷ :

- pour l'eau chaude sanitaire : 2,1 % par an de 1990 à 1999,
- pour l'électricité spécifique (bâtiments et services urbains) : 3,9 % par an de 1990 à 1999.

Les consommations futures seront très dépendantes des technologies appliquées car les appareils se renouvellent rapidement.

La comparaison internationale, notamment avec les USA montre que les moteurs de cette évolution resteront actifs encore un certain temps : climatisation, développement des soins corporels⁴⁸, « informatisation » des ménages, etc.

Faute de scénario d'évolution des consommations, on peut partir de l'hypothèse d'une augmentation régulière forte dans le proche avenir de l'ECS et surtout de l'électricité spécifique. Un scénario « fil de l'eau » mènerait à une augmentation de l'ordre de 15 à 20 Mtep/an à l'horizon 2040. Le figure 10 ci-dessous illustre la très vive croissance passée de l'électricité spécifique (bâtiments et services urbains) et l'urgence d'une politique pour maîtriser l'évolution future.

Toutefois, on verra pages 63 à 68 qu'il existe de nombreuses technologies d'appareils consommant de l'électricité qui peuvent permettre une division de leur consommation unitaire par des facteurs 4 à 10 :

- c'est le cas de l'éclairage ;
- ce l'est aussi pour la plupart des « produits bruns », vidéo, ordinateurs, etc.
- pour les pompes de chauffage, on peut envisager une division par 2 avec des technologies à développer.

Une forte diminution des consommations d'électricité spécifique par l'utilisation de technologies existantes ou à venir n'est donc pas impossible. Il nous est, par contre, difficile de préciser dans la présente étude des scénarios, qui restent à bâtir.

⁴⁷ Taux moyens. Sur la période 1973-1999, on a des taux de 3,1 % et 5,8 % pour l'ECS et l'électricité spécifique.

⁴⁸ Un américain consomme près de 3 fois plus d'eau chaude sanitaire qu'un français en moyenne.

La substitution dans le domaine de l'électricité spécifique relève évidemment surtout de la politique générale de production de l'électricité (électricité renouvelable, production avec capture du CO₂, etc.).

Il y a toutefois de nombreux équipements qui peuvent utiliser d'autres énergies que « l'électricité spécifique » comme actuellement : climatisation et frigidaires « à absorption », appareils de cuisson, etc.

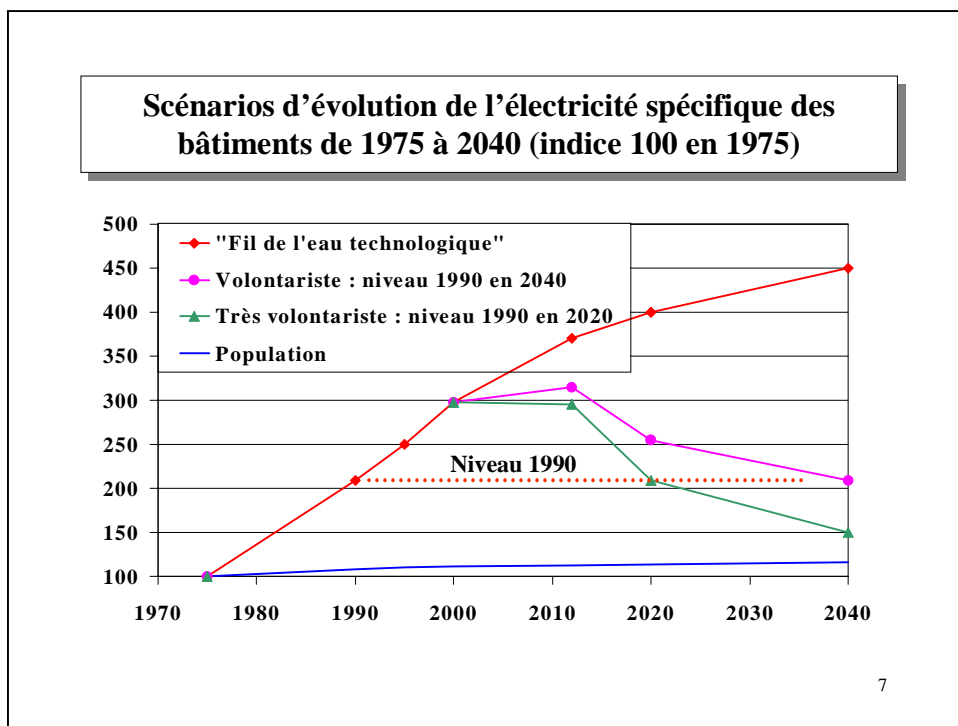


Figure 10. Evolutions de la consommation d'électricité spécifique jusqu'en 2040.

On peut tirer des conclusions assez bien assurées de cet examen prospectif.

1 Les consommations de chauffage des logements et du tertiaire vont rester globalement très constantes du fait des faibles consommations unitaires des surfaces neuves et de l'évolution technologique à venir. Le véritable enjeu des économies d'énergie se situe dans les bâtiments anciens, et notamment dans la marge entre l'utilisation des « meilleures technologies » et les tendances à se contenter des technologies de base. La « substitution », notamment par des énergies renouvelables, est le second enjeu incontournable pour le chauffage.

2 Pour l'électricité spécifique et l'ECS, la tendance est à une croissance très importante. La question de l'utilisation de « meilleures technologies » est donc absolument cruciale dans ce domaine.

La climatisation reste un point très problématique. Elle a tendance à sortir du secteur du tertiaire neuf (bureaux de luxe, hôpitaux, etc.) pour se développer dans les bâtiments existants. Le cas des maisons de retraite après la canicule de 2003 est emblématique, mais la climatisation de pavillons anciens se développe aussi. Le secteur est mal connu. Les matériels français de petite taille, peu diffusés, ne sont peut-être pas les plus performants. C'est donc un secteur à étudier d'urgence.

ÉVALUATION DES POLITIQUES ENERGETIQUES DANS LES BATIMENTS

6 Évaluation des politiques énergétiques de 1973 à 1995.

La politique issue de la crise de l'énergie de 1973, menée par les ministères concernés, Industrie et Équipement-Logement, avec l'ADEME (et les agences qui l'ont précédée) a reposé essentiellement sur deux types d'actions⁴⁹ :

- l'incitation par des « aides » aux « *anticipations du renouvellement* » naturel des matériels et composants : rénovations lourdes des parois des bâtiments (ravalement avec isolation), remplacement de certains composants (vitrages et huisseries) ou matériels de chauffage ou production d'eau chaude sanitaire encore en bon état :
 - o dans les logements des ménages, où on a vu qu'il fallait faire un constat d'échec,
 - o dans le secteur du logement social, où cette politique a obtenu des résultats importants, en volume d'opérations réalisées, mais non du point de vue de l'application des « *technologies les plus performantes* » ;
- le durcissement des normes de chauffage concernant les bâtiments neufs, qui doit être considérée comme un réel succès, même si l'utilisation des technologies les plus performantes reste toujours imparfaite.

Il est essentiel de dire que ces politiques ont fait l'objet de plusieurs évaluations, notamment « *La maîtrise de l'énergie. Rapport d'évaluation*⁵⁰ » (dite « rapport Martin ») [1] et « *La réhabilitation de l'habitat social. Rapport d'évaluation* » (dite « rapport Rossi ») [7] et d'en rappeler les conclusions.

Les évaluations ont mis en évidence le très faible intérêt porté aux autres usages que le chauffage : « électricité spécifique », services urbains, eau chaude sanitaire. Ces domaines relativement vierges seront donc très importants pour l'avenir.

Les « *anticipations de renouvellement* »

On a employé (et emploie toujours) des incitations pour avancer des renouvellements qui n'étaient pas nécessaires avant un certain temps. Les types d'incitations étaient très divers : subventions aux « diagnostics énergétiques », aides fiscales pour les particuliers (qui ont varié souvent et d'une façon incohérente), subventions de l'ANAH, bonifications de taux de subventions dans le logement social (PALULOS) en faveur des travaux supposés avoir un impact énergétique [7], baisse de la TVA à 5,5 % sur les travaux de rénovation des logements (mesure provisoire), etc.

L'échec de cette politique incitative à des « anticipations » du renouvellement de certains matériels ou composants a été constaté par toutes les évaluations [1, 12 et 13]. Il y a à cela plusieurs raisons :

⁴⁹ Il y a eu aussi quelques actions mineures portant sur la géothermie, la biomasse et le solaire.

⁵⁰ Notre bibliographie donne les références de 6 annexes au rapport Martin concernant les Bâtiments et non publiées [10], [11], [12], [13], [14], [15] et [16].

- les modalités pratiques des aides ont été particulièrement incohérentes sur la longue durée, ce qui a été fort nuisible à leur connaissance et à leur compréhension par le public, les maîtres d'œuvre et les maîtres d'ouvrage (logement social notamment) ;
- l'effet d'entraînement des aides (fiscales, ANAH, bonifications de taux pour le logement social) a été rare, au profit d'un « effet d'aubaine » très général : diverses évaluations ont montré que la quasi-totalité des opérations relevant prétendument de cette « politique d'anticipation » auraient été de toute façon réalisées du fait de l'urgence de la rénovation de ces matériels ;
- pour les rares cas d'anticipation réelle, le surcoût d'investissement (coût du nouveau matériel diminué de la valeur résiduelle actuelle de l'ancien) est souvent trop important comparé à la valeur des gains d'énergie réalisés ; cela a été notamment le cas des rénovations effectuées dans le logement social ;
- le peu d'influence de cette politique sur la diffusion des techniques les plus performantes d'économie d'énergie (vitrages à isolation renforcée, chaudière à haut rendement ou à condensation⁵¹) et, plus encore, sur la recherche de nouvelles technologies, a largement été décrit dans les évaluations.

Actuellement, compte-tenu de ces divers éléments, on peut estimer la dépense, ramenée aux gains des opérations réellement incitées par ce type de politique d'anticipation :

- entre 0 et 250 €par tonne de carbone fossile économisé pour les chaudières au fioul⁵² ,
- coût négatif à 200 €par tonne de carbone fossile économisé en cas de passage du fioul au gaz (cela varie beaucoup selon les cas de raccordement et la taille de la maison) ;
- entre 100 et 200 €par tonne de carbone fossile économisé pour les chaudières au gaz en bon état remplacées de façon anticipée,
- entre 800 et 1 000 €par tonne de carbone fossile économisé pour les fenêtres.

Anticipation du changement de fenêtres en bon état.

Pour illustrer ces coûts étonnants, prenons un seul exemple, le cas de la rénovation d'un vitrage simple sur une fenêtre en bon état et correctement étanche (ce qui peut être réalisé à coût très faible avec des joints mousse), pouvant durer encore 30 ans.

Le coût de l'opération de renouvellement de ce matériel a une « valeur actuelle⁵³ » très proche de sa valeur neuve, la déduction à faire pour l'anticipation d'une opération qui devra avoir lieu dans 30 ans étant très faible. On peut l'estimer à 260 à 300 € m² de fenêtre.

En employant la meilleure technique actuelle (ce qui n'est hélas généralement pas le cas), le gain d'énergie annuel en climat français moyen est de 200 kWh utiles/an/m² soit 300 kWh/an d'énergie primaire

⁵¹ Le lecteur trouvera plus loin les définitions des diverses technologies dont il s'agit ici, au cas où il n'en posséderait pas déjà la connaissance. Introduire ici ces définitions alourdirait trop l'exposé.

⁵² Prenons l'exemple du remplacement anticipé de 20 ans d'une chaudière moyenne (elle a déjà 20 ans) dans un petit pavillon. On utilisera ici des prix en valeur 2002. Elle consomme 2 000 litres de fioul par an (700 €/an, 1,7 tep/an). On la remplace par une bonne chaudière au fioul à ventouse. Coût 3 000 €TTC. Gain annuel de 25 %, soit 500 litres de fioul, 0,425 tep/an et 0,36 tonne/an de carbone émis évité. Le gain économique est de 160 €/an sur l'énergie. Soit un gain actualisé à 6 % sur 20 ans de 1 900 €. Le déficit de l'opération en bilan actualisé est de 1 100 €/an, pour 0,36 tonne de carbone évitée par an. Le coût de la tonne de carbone évitée est de l'ordre de 250 €/tonne, ce qui est élevé.

Si l'opération concerne une très grande maison (300 m²) située en zone froide, consommant 6 000 litres de fioul par an, et qu'elle peut se faire avec un gain de rendement de 20 %, on peut atteindre la rentabilité, voire un coût négatif. En effet le prix de la chaudière varie peu et les gains sont multipliés par 4. Mais, de tels cas de figure sont devenus extrêmement rares.

⁵³ On utilisera l'approche économique du bilan actualisé. Une Annexe décrit succinctement son principe.

fossile, soit 0,025 tep/an ou 0,015 à 0,02 tonne/an de carbone fossile selon le type d'énergie.

Selon l'énergie, le coût marginal varie de 16 €TTC/an/ m² (électricité) à 10 €TTC/an/m² (gaz)⁵⁴.

En coût actualisé, le gain actualisé⁵⁵ est de l'ordre de 100 à 60 €. Selon le cas le « surcoût » de l'opération est donc de l'ordre de 200 €/m² en moyenne, soit une valeur annuelle de 16,7 €/an, correspondant à un gain annuel d'énergie de 0,015 à 0,002 tonne/an de carbone fossile. Le coût de la tonne de carbone fossile évité se monte donc entre 830 et 1 100 €/tonne.

Il reste peu de chaudières à renouveler par anticipation.

La politique de remplacement des chaudières anciennes à très mauvais rendement a toujours été une constante de l'action des « agences chargées des économies d'énergie » depuis leur création après la crise de 1973. Or, la situation a beaucoup changé depuis 30 ans et se présente très différemment selon l'énergie.

En pratique, le parc a été en très grande majorité renouvelé depuis 1973, non pas à cause de la politique d'anticipation, mais pour de simples raisons d'obsolescence.

Le gaz était peu employé en 1973, et les chaudières individuelles au gaz ont une durée de vie de l'ordre de 20 à 25 ans. Celles qui sont actuellement en service sont donc relativement récentes, soit qu'elles aient remplacé des chaudières au fioul, soit qu'elles aient remplacé des chaudières à gaz ayant plus de 20 ans.

Les chaudières au fioul ont des durées de vie beaucoup plus longues que celles au gaz, atteignant couramment 50 ans. Le fioul a été presque éradiqué du logement collectif et subsiste principalement dans les logements individuels de villes anciennes et vieilles banlieues (région Île-de-France), les zones rurales et très petites villes non alimentées en gaz naturel. Mais, de tels cas de figure sont devenus extrêmement rares.

Pour les grosses chaudières, très rarement situées hors des zones desservies par le gaz, elles ont pratiquement toutes été remplacées récemment, avec des rendements corrects. La quasi-totalité des cas aberrants qui subsistent se trouve dans le tertiaire public, particulièrement réticent à investir.

Mais, le remplacement accéléré des chaudières fait toujours l'objet de propositions de la profession et de l'ADEME. L'intérêt d'une telle politique est systématiquement surévalué. Le GFCC estime ainsi que :

« Le remplacement des 3 350 000 chaudières individuelles de plus de 15 ans par des chaudières performantes d'aujourd'hui représente un potentiel d'économies d'énergie de 2,5 à 3 millions de tep par an⁵⁶ »

On ne peut que rester perplexe devant de telles affirmations. En effet, la consommation de ces 3 350 000 chaudières est de 7 millions de tep/an seulement. Le gain de rendement moyen serait de 35 à 42 % ! Ce qui est tout à fait invraisemblable...

Parmi ces 3 350 000 chaudières, seules 2 200 000 ont plus de 20 ans, et 1 500 000 équipent des logements construits sous la réglementation de 1989, donc utilisant (en principe) des appareils déjà performants. Ajoutons enfin que le « *potentiel d'économies d'énergie de 2,5 à 3 millions de tep par an* » ne concerne que la première année et diminue rapidement puisque ces chaudières seraient remplacées de toute façon du fait de leur obsolescence normale.

Cas des isolations

La politique d'isolation de façades suivie dans les années 1980 a fait l'objet d'évaluations poussées pour le parc en général [1] et pour le parc social [7].

⁵⁴ Si on emploie un double vitrage sans isolation renforcée, le gain tombe à 8 ou 5 €TTC/an/m² selon l'énergie.

⁵⁵ La valeur actuelle sur 50 ans est estimée à 12 fois le gain la première année (taux d'actualisation de 6 %).

⁵⁶ In GFCC *Le marché des matériels de chauffage central : légère progression et amélioration de la performance* [43, page 4].

Le cas du logement social est particulier. Les mécanismes de bonification de taux des PALULOS pour les travaux supposés avoir une influence sur l'énergie ont amené les opérateurs à gonfler ceux-ci. Ce qui fait que la logique d'« anticipation » y a joué à plein, et que le rapport coût-efficacité purement énergétique y a été très faible. En fait, les gains énergétiques se combinaient avec des objectifs très différents visant l'amélioration du niveau des prestations des logements, dans une optique d'équité sociale.

Une évaluation menée dans la réhabilitation du logement social a mis en évidence [7, pages 277-289] :

- un coût moyen d'investissement 25 000€par tep/an économisée (150 000 F valeur 1991),
- que 50 % des opérations dépassaient 18 000 €par tep/an économisée (100 000 F valeur 1991),
- soient des temps de retour de 30 à 50 ans, ce qui veut dire que les tonnes de carbone fossile ainsi économisées ont un coût de l'ordre de 1 200 à 3 000 €/tonne.

Rappelons ici qu'il existait toutefois de rares opérations rentables ou proches de la rentabilité :

- cas de combles inoccupés : le coût de pose d'un isolant sur le plancher du comble est très modeste,
- cas des rénovations de toiture rendues obligatoires par la vétusté : le surcoût d'isolation est remboursé en moins de 3 ans ;
- cas d'une réfection lourde de façade rendue obligatoire par sa dégradation : le surcoût d'isolation est remboursé en 5 à 10 ans.

Dans le cas général, hors logement social, les évaluations [1] ont montré que la très grande majorité des opérations d'économies d'énergie réalisées avaient porté sur des rénovations qui se seraient faites de toute façon et que les incitations ont constitué une « aubaine » sans aucune influence sur les décisions.

Les budgets correspondants aux incitations auraient été mieux employés au profit d'autres actions nécessitant des subventions bien plus faibles par tonne de carbone fossile non émis : réseaux de chaleur, subventions au bois de chauffage, etc.

Mentionnons enfin (nous y reviendrons) les politiques menées avec force subventions en faveur des chauffe-eau solaires et pompes à chaleur dans les années 1980. Leurs résultats sont restés confidentiels en quantité, car ces technologies demandaient des subventions élevées et ont fait apparaître des problèmes de durée de vie : cela a été notamment le cas des pompes à chaleur installées dans les années 1975-1985.

Les réseaux de chaleur se sont un peu développés pendant la crise de l'énergie de 1973, passant de 700 000 logements raccordés en 1982 à 1 142 000 en 1993⁵⁷ [16] ; puis ils ont arrêté de progresser, retombant vers 1 million de logements en 2004. Or, ils sont l'intermédiaire indispensable à l'utilisation de la plupart des énergies renouvelables :

- utilisation énergétique des déchets,
- bois en dehors des « usages domestiques » actuels (ruraux et petites villes) et des ensembles collectifs et tertiaires important,
- géothermie,
- cogénération.

La France présente un retard très important dans ce domaine, avec cinq à dix fois moins de bâtiments raccordés à population égale que dans d'autres pays européens⁵⁸. En fait, la plupart des réseaux français utilisent des énergies fossiles et ne génèrent donc pratiquement aucun gain d'émission de carbone

⁵⁷ Voir [16], Henri Legrand, *Evaluation de la politique de maîtrise de l'énergie dans le domaine des réseaux de chaleur*.

⁵⁸ 4 % en France contre 40 % en Finlande et au Danemark, 34 % en Suède [16, page 15 et suivantes]. Les pays de l'ex-Union soviétique présentent des taux de raccordement de 50 à 60 %.

fossile, même en cas de cogénération⁵⁹.

Les évaluations ont mis en évidence une problématique de type essentiellement économique. Les coûts fixes des réseaux de chaleur (investissement et main-d'œuvre) sont très importants par rapport à celui de l'énergie utilisée. Au prix de l'énergie jusqu'en 2003, ils représentaient 40 % du total. L'équilibre économique de ces réalisations donc dépend très fortement du prix des énergies concurrentes. En effet, le coût demandé à l'utilisateur sur un réseau de chaleur se répartit grossièrement ainsi pour un réseau ordinaire dans la période actuelle :

- charges fixes d'amortissement et gestion du réseau 35 %, sous forme d'un abonnement,
- énergie de chauffage (gaz, fioul lourd) et frais liés (pompages), 65 %, payés à la consommation.

La partie fixe augmente encore lorsqu'on utilise des déchets ou de la biomasse, car ils nécessitent plus de main-d'œuvre. Pour la géothermie, la partie fixe peut monter à 70 % pour l'amortissement et la gestion du réseau et 30 % pour les charges proportionnelles (traitement des eaux, pompages).

Cela explique la crise des filières utilisant des énergies renouvelables (géothermique tout particulièrement) à partir de 1986, les usagers réclamant une baisse des tarifs établis en fait pour une longue période durant la crise de l'énergie.

Ainsi, l'exploitation de réseaux de chaleur peut atteindre un équilibre économique réel en cas de coût élevé de l'énergie fossile, ce qui fut le cas pour la géothermie durant la crise de l'énergie, et devenir très déficitaire dès que le pétrole et le gaz baissent.

L'évaluation des performances de très nombreuses installations françaises montre que le supplément (réel) de coût généralisé par rapport au chauffage au gaz dans l'immeuble permet néanmoins des diminutions d'émissions de carbone fossile à un coût :

- inférieur à 200 € par tonne de carbone évitée en période d'énergie à coût moyen comme actuellement (350 €/tep),
- à coût nul en période d'énergie chère comme durant la crise de l'énergie.

Le cas de la géothermie, qui avait connu un bon développement dans les années 1980-1986, a été évalué par le rapport Martin [1]. Les principaux éléments sont les suivants :

- 200 000 logements desservis plus du tertiaire (surtout public, environ l'équivalent de 50 000 logements),
- gain de 160 000 tep/an,
- subventions de 1980 à 1986 par le Fonds spécial de grands travaux pour environ 1 milliard de francs, soit 150 millions €(valeur 2000),
- aide unitaire de 900 €pour une économie de 1 tep/an (valeur 2000),
- soit un coût « en valeur actuelle » à la tep économisée de 70 €/tep économisée,
- soit 80 €par tonne de carbone émise évitée.

On voit que la géothermie, tout en n'étant pas encore compétitive face aux autres énergies, offre une valeur faible du coût de la tonne de carbone fossile évitée. Elle mériterait donc de se trouver en bonne place dans la lutte contre le changement climatique. Or, on va voir que le *Programme national de lutte contre le changement climatique* de 2000 ne l'a pratiquement pas retenue.

7 Les bâtiments dans le Protocole de Kyoto.

⁵⁹ S'il n'y a pas de cogénération d'électricité, les émissions de carbone fossile sont augmentées.

La réalisation du Protocole de Kyoto, dont l'horizon est 2008-2012, est suffisamment engagée pour que ses résultats soient déjà figés en 2005. Il n'a toutefois pas fait l'objet d'évaluations d'étape à notre connaissance. Nous nous bornerons donc à en rappeler la consistance et à faire un point sur sa réalisation en début 2005.

7.1 Faible importance en général des « mesures nouvelles » dans les bâtiments.

Le total des efforts nouveaux à réaliser jusqu'en 2010 avait été estimé par rapport à un « scénario de tendance », intégrant l'évolution depuis 1990 et l'effet futur des mesures décidées antérieurement à Kyoto, sur la base de prévisions d'évolution de l'activité économique.

Le *Programme national de lutte contre le changement climatique* de 2000 [4] distinguait donc :

- les évolutions en l'absence de « mesures nouvelles », traduisant la résultante des facteurs de croissance et des actions déjà en cours en 2000,
- les « mesures nouvelles » décidées en 2000 dans le Programme.

La figure 11 ci-dessous présente les évolutions en millions de tonnes d'équivalent carbone sans les « mesures nouvelles ». On voit que les deux secteurs du Bâtiment (énergie thermique et électricité spécifique nommée « énergie bâtiment ») forment une faible part de l'ensemble de la croissance 1990/2010.

La relative stabilité dans les consommations de chauffage, jointe au fait que les Bâtiments utilisent beaucoup d'électricité sans émission de carbone, a fait que les « mesures nouvelles » les concernant sont modestes.

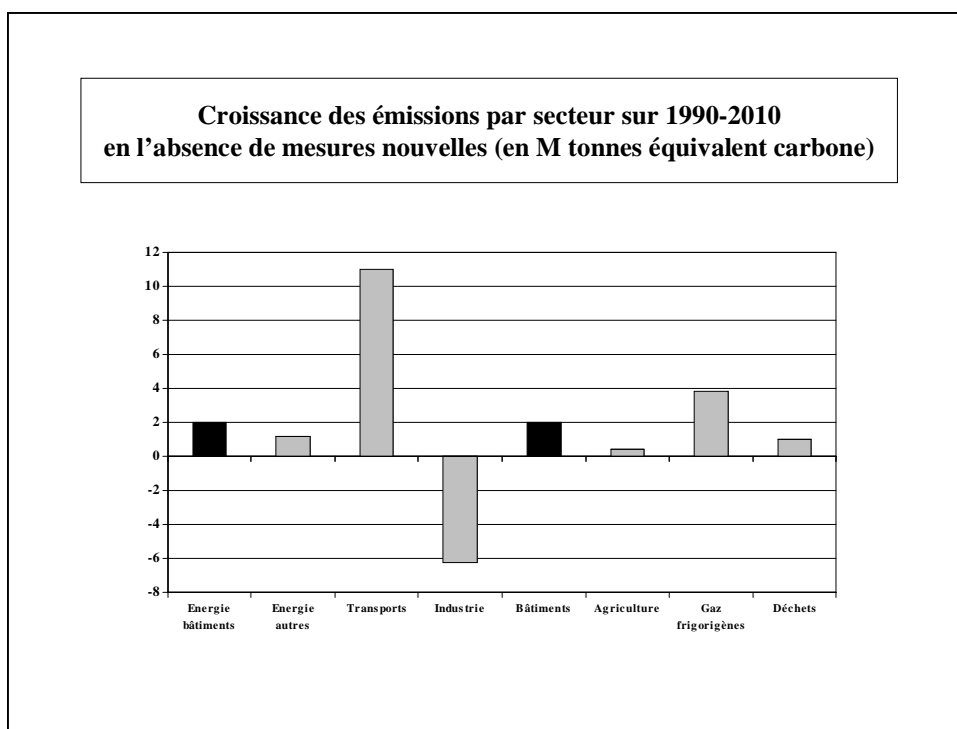


Figure 11. Croissance des émissions par secteurs sur 1990/2010 en l'absence de mesures nouvelles

7.2 Les « mesures nouvelles » dans le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire.

Le tableau 4 récapitule ces mesures en « millions de tonnes équivalent Carbone fossile » (MteC/an).

Tableau 4. Mesures nouvelles dans le chauffage des bâtiments⁶⁰

Gains en MteC/an en 2010	MteC/an en 2010	Sous total MteC/an
Bois énergie chauffage collectif	0,2	
Effets supplémentaires écotaxe/tertiaire	0,4	
Effets supplémentaires écotaxe/domestique	0,6	
Effets écotaxes		1,2
Sévérisation de la réglementation des bâtiments neufs		0,3
Vitrage à isolation renforcée	0,23	
Isolation bâtiments existants	0,2	
Chaudières individuelles	0,15	
Chaudières collectives haute performance	0,04	
Système à condensation	0,04	
« Mesures technologiques »		0,66
Contrôle chaufferie	0,07	
Actions sur les bâtiments publics	0,2	
Actions d'exploitation		0,27
Bois chauffage collectif (sans effet fiscal)	0,1	
Bois chauffage individuel	0,1	
Bois énergie		0,2
Solaire thermique	0,01	
Géothermie	0,02	
Autres ENR		0,03
Total des mesures nouvelles		2,66

Ce tableau appelle les commentaires suivants que l'on va développer plus loin.

- 1 Les « effets des taxes » de 1,2 MteC/an (1 MteC/an pour les « écotaxes » et 0,2 MteC/an pour le « bois en chauffage collectif ») représentent 45 % du total des effets des mesures nouvelles. Cela montre le peu d'ambition du programme dans l'application de la technologie.
- 2 La « sévérisation des normes des bâtiments neufs » de 0,3 MteC/an, soit 0,35 Mtep/an porte sur une masse de nouveaux bâtiments consommant 2,5 Mtep/an (sous l'emprise de la réglementation de 1989). Elle correspond bien aux résultats attendus de la réglementation de 2000.
- 3 L'ensemble des « mesures technologiques » devrait apporter une diminution de 0,66 MteC/an, soit 0,8 Mtep/an, sur une consommation de 50 Mtep/an, soit une diminution de 4 % seulement.
- 4 L'amélioration de l'exploitation du tertiaire public est aussi peu ambitieuse, avec 0,2 MteC/an, soit 0,25 Mtep/an à 6 Mtep/an consommées par ce secteur. Elle correspond à une diminution de 4 % environ obtenue en 10 ans (2000-2010).
- 5 La croissance du « bois énergie » prévue, avec 0,4 MteC/an (soit 0,45 Mtep/an) est très faible comparée aux ressources disponibles de plus de 8 Mtep/an.
- 6 La croissance prévue des autres ENR est marginale, avec 30 000 teC/an en 2010.

Bien qu'il n'y ait, comme nous l'avons dit, pas eu d'évaluation, on peut signaler les dérives suivantes.

Les écotaxes n'ont en fait pas été instituées...

L'amélioration de l'exploitation du tertiaire ne semble pas avoir progressé. Un groupe de travail récent⁶¹ a mis en évidence que le Groupe permanent d'étude des marchés de Chauffage-Climatisation (GPEM/CC), en sommeil depuis 1993, ne s'était pas remis en service.

Les huit manuels officiels [6] du GPEM/CC⁶² (diffusés par *Le Journal Officiel*) étaient épuisés en 2004, à la seule exception du manuel réglant les « travaux neufs » (évidemment !). Pourtant, ces manuels

⁶⁰ In *Programme national de lutte contre le changement climatique*, récapitulatif page 207 [4].

⁶¹ Groupe permanent d'étude des marchés pour le développement durable, créé en 2004.

constituent une source irremplaçable pour l'établissement de marchés permettant des économies d'énergie « de chauffage et d'électricité » dans tout le secteur du tertiaire public, qui représente 50 % environ du secteur tertiaire, avec une consommation de chauffage de l'ordre de 6 millions de tep/an et 4 à 5 millions de tep/an pour l'électricité. Ils sont aussi un modèle incontournable pour le tertiaire privé.

L'eau chaude sanitaire n'a pratiquement pas été traitée en tant que telle. Elle représente pourtant 12 Mtep/an (autant que le chauffage du tertiaire par exemple) et a une croissance très rapide. Les actions du *Programme national* la concernant étaient très limitées (par rapport aux 11 Mtep/an concernées) :

- l'utilisation de meilleures chaudières « double service » et de meilleurs chauffe-eau,
- l'utilisation de bois de chauffage et d'ENR en réseaux de chaleur (chauffage et ECS),
- les chauffe-eau solaires.

Or, l'utilisation des meilleures technologies de chaudières et chauffe-eau, communes au chauffage et à l'ECS a progressé très lentement, comme nous le verrons (voir en en page 59).

Seul, le programme de chauffe-eau solaire était spécifique à l'ECS. On verra ci-dessous que cette technologie est extrêmement coûteuse. Ce qui fait qu'elle dépendait des subventions qui pouvaient lui être allouées, et que les réalisations effectives en termes de volume ont été très faibles jusqu'à présent.

7.3 Les « mesures nouvelles » dans l'électricité spécifique.

Le *Programme national de lutte contre le changement climatique* [4] traite curieusement l'électricité spécifique dans le chapitre 8 « *Le secteur de la production d'énergie* » sous la rubrique « *Action sur la demande d'électricité* », pages 150 à 154, et non dans le chapitre des « *Bâtiments* ».

C'est un signe très révélateur de la

La croissance de l'électricité spécifique est vive. Mais, la part d'électricité nucléaire fait que l'augmentation « en carbone émis » était considérée comme peu préoccupante. De plus, l'utilisation de carbone fossile dans la production d'électricité est difficile à imputer entre les différents secteurs⁶³.

Le tableau ci-dessous récapitule les mesures nouvelles et leurs effets en « millions de tonnes équivalent Carbone fossile » (MteC/an).

⁶² Tous les manuels réalisés par le GPEM/CC sont édités et distribués par le *Journal Officiel*. Fin 2004, la seule la brochure disponible était *CCTG Marchés publics de travaux d'installation de génie climatique*. N°2015. Tous les autres manuels sont épuisés. Pourtant, ces manuels constituent une source irremplaçable pour l'établissement de marchés permettant des économies d'énergie « de chauffage et d'électricité » dans tout le secteur du tertiaire public, qui représente 50 % environ du secteur tertiaire, avec une consommation de chauffage de l'ordre de 6 millions de tep/an et 4 à 5 millions de tep/an pour l'électricité.

⁶³ Rappelons que le *Programme national de lutte contre le changement climatique* traite l'électricité spécifique dans le chapitre 8 « *Le secteur de la production d'énergie* » sous la rubrique « *Action sur la demande d'électricité* » [4, pages 150-154] et non dans le chapitre des « *Bâtiments* ».

Tableau 5. Mesures nouvelles dans le domaine de l'électricité spécifique des bâtiments⁶⁴

	MteC/an en 2010
Directive européenne sur les appareils économes	0,35
Baisse de la TVA sur les produits économes	0,25
Gestion des bâtiments de l'État et des collectivités locales	
Économies d'électricité dans les bâtiments neufs	
Économies d'électricité dans les bâtiments existants	
« Effets supplémentaires » des écotaxes	
Total des mesures nouvelles	0,6

Le programme représente une diminution assez faible. Les 0,6 MteC/an sont réputées résulter d'économies d'énergie imputables entièrement sur de l'électricité produite à partir de combustibles fossiles. Soit moins de 1 Mtep/an. La consommation en 2000 étant de 30 Mtep/an environ, on voit que le Programme correspond à une diminution de 5 % en 10 ans (par rapport au trend).

L'articulation entre les actions est peu claire. Il n'y a pas de détail selon les divers types d'appareils consommateurs. Il faut essentiellement retenir que les mesures sont de type incitatif : écotaxe et baisse de TVA sur les produits économes⁶⁵. Pour les technologies, le Programme s'en remettait à une « Directive européenne sur les appareils économes » qui n'existe toujours pas en 2005. Or, on verra que divers pays ont réussi à orienter très vigoureusement leurs marchés d'appareils consommant de l'électricité spécifique en l'absence de toute directive européenne.

⁶⁴ In *Programme national de lutte contre le changement climatique*, récapitulatif page 209 [4].

La question taboue du « contenu en carbone » de l'électricité est soigneusement évitée.

Les six mesures proposées présente des particularités :

- il n'y a pas d'évaluation des effets de quatre de ces six mesures (cas unique parmi la centaine de mesures du « récapitulatif du Programme », toutes évaluées) ;
- de nombreux *lapsus calami* dans le récapitulatif témoignent du caractère peu élaboré (voire hâtif) de cette partie du Programme.

⁶⁵ Les écotaxes et la baisse de TVA sur les produits économes ne sont toujours pas mises en œuvre en 2005.

LES TECHNIQUES EXISTANTES « A COUT NEGATIF »

8 Techniques existantes « à coût négatif » dans le chauffage et l'ECS.

8.1 Les actions « à coût négatif » en rénovation diffuse.

Toutes ces actions portent sur la « rénovation naturelle diffuse » du bâtiment ou de son chauffage et de sa production d'eau chaude sanitaire.

Rappelons ici l'essentiel des éléments sur la « rénovation naturelle diffuse » exposés pages 16 à 18 ci-dessus.

Ce sont des opérations qui se font de toute façon, les composants du bâtiment ou les appareils de chauffage étant en fin de vie. Une enquête de l'ADEME [5] montre que les dépenses de « rénovation diffuse » ayant un caractère énergétique dans les logements existants se répartissent, en valeur, ainsi :

- 40 % pour le renouvellement des huisseries et vitrages extérieurs,
- 40 % pour le remplacement des chaudières et brûleurs en panne irréparable ou totalement obsolètes,
- 10 % pour les isolations (valeur surévaluée, car l'enquête prend en compte une trop forte partie de la dépense de réfection de façade ou de toit et non le seul surcoût d'isolation),
- 10 % pour tout le reste : étanchéité à l'air (joints de fenêtres), régulations, programmations, interventions sur les appareils terminaux de chauffage (radiateurs), etc.

L'utilisation des « meilleures technologies disponibles » se ferait « à coût négatif » par rapport aux technologies effectivement utilisées⁶⁶.

La problématique n'est donc pas de « déclencher » ces opérations, mais de faire en sorte qu'on utilise la « meilleure technologie disponible », parmi les diverses technologies présentes sur le marché :

- la « meilleure technologie » a un surcoût (par rapport à la technologie de base) remboursé par les économies d'énergie en très peu de temps, de quelques mois à deux ans ;
- donc, il est de l'intérêt évident du consommateur de l'utiliser ;
- les gains d'émission de carbone fossile ont donc un « coût négatif ».

D'un point de vue industriel, on constate qu'un nombre très réduit de groupes dominants, 3 à 5, couvrent 75 à 80 % du marché de fourniture des composants ou matériels. Il est de leur intérêt évident de fournir les « meilleures technologies », légèrement plus chères.

Néanmoins, le libre jeu de la concurrence entre les « distributeurs » et les « installateurs » fait que ces « meilleures technologies » ne couvrent qu'une part très insuffisante du marché. Les groupes industriels dominants sont alors obligés de fournir des technologies dépassées.

⁶⁶ Bien entendu, certains travaux de rénovation diffuse utilisent la meilleure technologie disponible, mais ils restent très minoritaires, malgré l'ancienneté parfois importante de ces « meilleures technologies ».

Un cas particulièrement éclairant est celui d'un industriel qui fabrique des « vitrages à isolation renforcée », et possède par ailleurs un des plus grands « distributeur » de fenêtres et huisseries. En tant que distributeur, il continue à proposer des fenêtres à vitrages double ordinaire, et même à vitrage simple !

Des politiques spécifiques visant la généralisation des « meilleures technologies » sont déjà appliquées avec succès dans certains pays européens, comme l'Allemagne, le Royaume-Uni, les Pays Bas etc.

Le renouvellement (ou l'acquisition première) de tous les appareils consommateurs d'électricité spécifique répond à la même problématique : existence d'une « meilleure technologie du point de vue énergétique » qui a des difficultés à s'imposer dans l'état actuel du marché, mais qu'on a pu appliquer dans certains pays grâce à des politiques de réglementation spécifiques.

8.2 Difficulté de l'information des consommateurs.

Les utilisateurs sont extrêmement dispersés : les locataires, propriétaires et copropriétaires de logements, et les petits locaux tertiaires privés, représentent 75 % de la consommation et plus de 80 % de la valeur. **Leur faire parvenir « l'information à jour » nécessaire à guider leur choix dans des opérations qu'ils rencontrent une fois dans leur vie (changer des vitrages) ou tous les 30 ans (changer une chaudière), est extrêmement difficile**⁶⁷. Il en va de même pour les petits appareils consommant l'électricité spécifique.

Le consommateur dispose en fait de trois sources d'informations :

- les fabricants de matériel dominants, dont l'intérêt est de vendre le meilleur matériel, ont multiplié les informations aux installateurs (à travers la presse professionnelle) et au public (magazines, *60 millions de consommateurs*, etc.) ;
- les *installateurs* (et les *distributeurs* dans le cas du bricolage), qui jouent trop souvent de l'argument commercial du prix plus faible à l'investissement des matériels médiocres,
- la puissance publique, qui se révèle incapable de fournir une information recevable par le consommateur.

Les **aides fiscales** (dont les modalités ont changé trop souvent) n'ont pas permis d'assurer la promotion de ces matériels dans le passé⁶⁸.

La réalisation systématique d'un « **diagnostic** », préconisée notamment par les Agences chargées des économies d'énergie, est en pratique réservée aux grands immeubles⁶⁹. Pour les « chauffages individuels », le coût du recours à un maître d'œuvre (du type architecte), qui fournirait une information « impartiale », impose des honoraires prohibitifs au propriétaire (ou locataire) du logement (ou du petit local tertiaire).

Toutes **les actions d'information des consommateurs** et des prescripteurs (étiquetage, labels, subventions « ciblées », etc.) menées en France ont largement échoué⁷⁰. L'intérêt du consommateur justifie donc des politiques plus dirigistes, orientant les achats publics sur les matériels les plus performants, et imposant des normes de consommation énergétique aux matériels (vitrages, huisseries, chaudières) utilisés lors des rénovations de bâtiments privés ou publics.

⁶⁷ Cette difficulté touche de façon presque identique les immeubles plus importants de logement social ou des secteurs tertiaires publics et privés.

⁶⁸ Voir l'analyse très poussée de cette série d'échec dans « Évaluation de la politique de l'énergie » [1].

⁶⁹ Seul les grands bâtiments (tertiaire et immeubles collectifs) sont susceptibles d'utiliser le diagnostic thermique dans des conditions raisonnables de coût. Et de fait, on ne fait pratiquement pas de diagnostic dans les logements individuels (exception faite s'il est exigé pour certaines procédures : prêts de l'ANAH). Mais, dans le logement collectif, les chaudières individuelles et les fenêtres sont des « parties privatives », ce qui réduit encore le domaine d'action du diagnostic.

⁷⁰ On constate, hélas, que les gestionnaires de grands immeubles (tertiaire et grands ensembles de logements sociaux) ne sont guère plus performants que les particuliers dans leurs choix lors des rénovations... Le rapport Martin a mis clairement en évidence cette carence dans le cas des bâtiments de l'État [15].

L'exemple de pays européens comme l'Allemagne montre que, dans le respect des règles communautaires, ces politiques plus dirigistes ont permis l'élimination quasi totale des offres de matériels trop peu performants.

8.3 Notions d'énergétique du chauffage et de la production d'ECS des logements.

La figure ci-dessous illustre la répartition des déperditions d'un logement de type ancien. Elles se répartissent grossièrement par tiers, ventilation, pertes par les parois et le sol, pertes par les vitrages et huisseries. Cela permet de situer l'importance relative de chacun des « champs d'action » du **chauffage**.

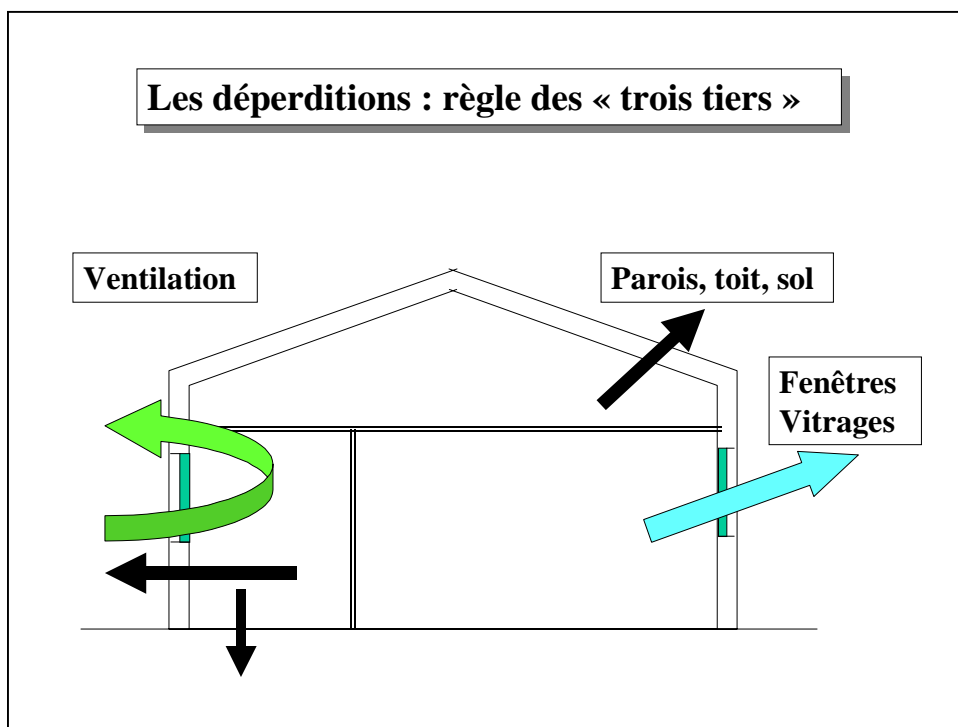


Figure 12. Déperditions d'un logement.

La production d'eau chaude sanitaire n'a guère fait de progrès depuis le début de la crise de l'énergie⁷¹. Dans les logements les plus anciens comme dans ceux construits de 1973 à 2005, l'énergie nécessaire n'a guère baissé et les consommations d'eau ont progressé, ce qui explique la croissance très vive actuelle de l'énergie pour l'ECS opposée à la stabilisation des consommations de chauffage. Ce que nous dirons ci-dessous sur l'ECS concerne donc pratiquement tout le parc de façon presque identique.

8.4 Les façades, les toits et le sol.

L'énergie émise par les façades, les toits et le sol représente près de 35 % du total du chauffage, soit près de 12 Mtep/an. Réduire les déperditions par l'ensemble « parois, toit, sol » posent des problèmes complexes ; et leur diminution est généralement très coûteuse.

Pour les toits, il est pratiquement toujours possible de poser une « très bonne isolation » lors de sa réfection (hélas très peu fréquente : un toit dure de 60 à 200 ans). Le surcoût est minime et remboursé en 1 à 3 ans : c'est une action à coût négatif. En fait, ce type d'action est presque systématique lors des réfections, mais il n'est pas sûr que le niveau d'isolation soit toujours suffisant.

⁷¹ Sauf un peu en ce qui concerne l'isolation des ballons, et les chaudières ou chauffe-eau. On est très loin de la « division par 3 » des consommations de chauffage dues à l'évolution des normes des bâtiments neufs.

De plus, il existe des opérations rentables quel que soit l'état du toit : dans des combles inoccupés, le coût de pose d'un isolant sur le plancher est très modeste et est remboursé en moins de 3 ans. Mais ces opérations ont déjà été faites pour la plupart et sont donc désormais rares.

Pour les façades, il existe plusieurs cas très contrastés :

- immeuble ancien à façade ouvragée : l'isolation doit se faire par l'intérieur : elle est coûteuse et parfois peu efficace (ponts thermiques). Elle ne devient rentable que si les peintures intérieures doivent être refaites de toute façon. Dans ce cas les temps de retour dépassent généralement les 5 ans, mais ces actions peuvent être à coût négatif (temps de retour du surcoût de moins de 13 ans) ;
- immeuble ou pavillon sans caractère : l'isolation par l'extérieur est nettement plus chère que par l'intérieur mais un peu plus efficace (traitement des ponts thermiques). Si l'on doit juste refaire une peinture extérieure, l'isolation est la plupart du temps non-rentable. Mais, si la façade demande un ravalement plus important (grattage et réfection des enduits, etc.), l'opération peut atteindre la rentabilité (temps de retour de moins de 13 ans).

Quant aux interventions sur les déperditions par le sol, elles sont très rarement rentables. Elles peuvent consister dans la pose d'un isolant, sur une largeur de 1 mètre, dans le sol lui-même (en position verticale ou horizontale à faible profondeur)⁷². Sur un bâtiment ancien cela pose des problèmes de ponts thermiques. Enfin, le coût d'une telle intervention (tranchée, réfection des abords) est élevé.

8.5 La ventilation.

Les fenêtres (et portes) interviennent par leurs propres déperditions, par l'huissierie proprement dite, et surtout par le vitrage (en plus de la ventilation : les logements anciens n'ont pas de ventilation contrôlée).

Lorsque ces composants sont rénovés, le gain sur la ventilation est pratiquement toujours acquis, les fenêtres neuves, même de qualité médiocre par ailleurs, étant toujours bien plus étanches.

De plus, toute fenêtre en bon état peut être rendue correctement étanche, à coût très faible, avec des « joints mousse ». La pose de joints mousse se fait par l'utilisateur, et demande à être renouvelée tous les 3 ans (huissieries très souvent manipulées comme une porte d'entrée) à 10 ans (pour des fenêtres rarement ouverte).

C'est donc un secteur qui ne devrait pas poser de problème en ce qui concerne les économies d'énergie.

Malheureusement, si la ventilation est trop diminuée, des désordres peuvent apparaître, notamment avec des condensations, et certains parlent de « problèmes de santé ». Or, il existe une disposition classique et peu coûteuse consistant à pratiquer des ouvertures dans les huissieries, mais qui ne fait pas l'affaire des promoteurs de la ventilation mécanique contrôlée (VMC).

Notre position serait très proche de celle de M. Chemillier⁷³, ancien président du CSTB et président de la Mission interministérielle de l'effet de serre [21]. Il rappelait les obstacles pratiques à la mise en œuvre de VMC dans les bâtiments existants (sauf en cas de « réhabilitation » complète) : nécessité d'un « diagnostic » général sur les problèmes réels⁷⁴, impossibilité de « standardiser » les matériels, intervention de plusieurs corps de métiers, etc. Il est probable, enfin, que ces contraintes se traduisent par des coûts élevés, et un gain

⁷² L'isolant peut être extérieur ou intérieur en théorie, mais, pour un bâtiment existant la pose en intérieur est le plus souvent très difficile voire impossible.

⁷³ G. Chemillier *Propositions d'actions relatives au renouvellement d'air (ventilation) dans le bâtiment*, Note pour le « Groupe de travail sur la ventilation », 1999 [21].

⁷⁴ La diversité des logements anciens exige que toute action s'appuie sur une approche statistique. Les « désordres » allégués, pour exister, sont probablement beaucoup plus rares qu'on ne l'imagine. M. Chemillier notait la mauvaise application de la réglementation dans le neuf, et manifestait son opposition à une réglementation concernant l'ancien. « Cette réglementation concerne actuellement les bâtiments neufs (habitat et tertiaire) car il n'est pas dans la tradition de lui donner des effets rétroactifs, sauf dans des circonstances où il existe un risque fort pour la santé comme ce fut le cas pour l'amiante. »

minime tant du point de vue énergétique que de confort et de santé.

Enfin, lorsqu'on considère la difficulté persistante à généraliser des actions simples, comme l'utilisation de bonnes chaudières, de bons vitrages, de bonnes lampes, on ne peut que rester perplexe devant la « prétention » des promoteurs de la VMC dans l'ancien...

On imagine mal comment les usagers de logements anciens se convertiraient à la VMC. Et comment on pourrait leur appliquer une contrainte réglementaire qu'on se refuse à mettre en place pour des actions autrement plus rentables, sauf à démontrer que les objectifs de santé sont massifs dans le passage de la ventilation naturelle à la VMC, ce qui semble loin d'être le cas.

8.6 Les « vitrages à isolation renforcée ».

Les vitrages et huisseries représentent environ 30 % des déperditions de chaleur des bâtiments anciens et contribuent aux pertes par ventilation (environ 30 %). Leur durée de vie est de 60 à 150 ans.

Des progrès technologiques très importants ont été réalisés sur les vitrages avec les « vitrages à isolation renforcée » et sur les huisseries, avec les huisseries en P. V. C. et métalliques à coupure thermique.

Les performances atteintes par les huisseries sont en générale satisfaisantes, mais certains produits, notamment les huisseries en aluminium⁷⁵ restent encore en deçà des performances atteintes par les huisseries en bois (en général) ou en P. V. C. L'imposition d'une norme minimum devrait se révéler assez facile.

Les « vitrages à isolation renforcée » sont constitués d'un double vitrage classique, avec une couche réfléchissant les infrarouges située sur une des parois intérieures du double vitrage. Cette couche, d'épaisseur extrêmement faible, ne change pratiquement pas la répartition des longueurs d'onde visibles et absorbe moins de 2 % de la lumière visible.

Les émissions de chaleur vers l'extérieur sont divisées par deux par rapport à un double vitrage classique. Le confort d'été est aussi amélioré (le rayonnement infrarouge va de l'extérieur vers l'intérieur).

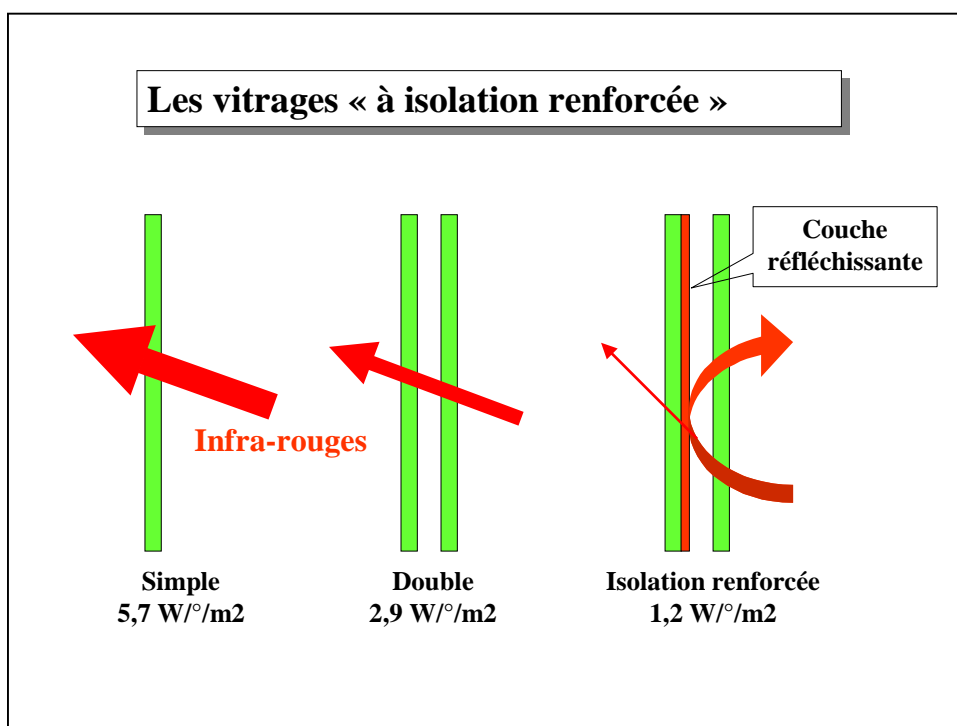


Figure 13. Les « vitrages à isolation renforcée » économisent 2 fois plus de déperdition de chaleur que les

⁷⁵ Sur le marché français, car en Allemagne les huisseries aluminium approchent les performances du P.V.C. Cela semble résulter d'une organisation différente de cette profession dans les deux pays.

« doubles vitrages » par rapport aux vitrages simples.

Cette technologie est apparue dans les années 1980. Elle a été préconisée répétitivement en France depuis longtemps : *Réglementation thermique* de 1989, premier *Programme de lutte contre le changement climatique*, de février 1995, *Rapport Évaluation de la politique de l'énergie* de 1998 [1]. Le *Programme de lutte contre le changement climatique* de 2000 à évidemment repris cette préconisation [4].

Elle s'est diffusée dans certains pays, comme l'Allemagne⁷⁶ où elle occupe près de 100 % du marché des vitrages en 2004, contre 50 % en France, où la réglementation thermique de 1989 n'est jamais arrivée à l'imposer dans les bâtiments neufs (comme elle le prévoyait).

En effet, cette réglementation, contrairement à celle de l'Allemagne par exemple, n'était pas basée sur des « normes de composants », mais sur une « performance globale du bâtiment » qui permet de compenser les effets de l'utilisation de certains mauvais composants par d'autres. **L'» effet d'entraînement du neuf sur l'ancien » supposé n'a donc pas fonctionné pour la diffusion des vitrages peu émissifs.**

Pour l'utilisateur, le surcoût est remboursé en moins de deux ans. En effet, on peut estimer le gain annuel supplémentaire du vitrage à isolation renforcée (par rapport au vitrage double), en climat français moyen, à 100 kWh utiles/an/m², soit 150 kWh/an d'énergie primaire fossile. Selon l'énergie, aux conditions de 2003, le coût marginal varie de 8 €/TTC/an/ m² (électricité) à 5 €/TTC/an/m² (gaz).

Le surcoût relevé en France est de l'ordre de 6 à 9 €/TTC par mètre carré de vitrage⁷⁷ et, si ce vitrage était répandu comme en Allemagne, il serait de l'ordre de 3,5 à 6,2 €/par mètre carré (un double vitrage sans isolation renforcée coûtant environ 40 €/par mètre carré en sortie d'usine). On est donc clairement devant **un coût négatif** d'économie d'énergie, et donc en ce qui concerne les émissions de carbone fossile.

La concurrence entre les entreprises de pose de vitrage en rénovation se fait en grande partie « sur les prix ». Ce qui fait que celles-ci proposent très rarement le vitrage à isolation renforcée, parce que légèrement plus coûteux à l'achat chez le fabricant.

La production des vitrages est extrêmement concentrée : trois firmes multinationales produisent tout le vitrage fabriqué en France, dont Saint-Gobain et Glaverbel. Certaines de ces firmes, comme Saint-Gobain, sont aussi très présentes sur le marché des huisseries (Saint-Gobain est actionnaire principal de Lapeyre, grand distributeur français de portes, fenêtres et meubles de cuisine).

Leur intérêt étant évidemment de fabriquer et vendre du vitrage à isolation renforcée, ils ont procédé à toutes les actions d'informations et de communication nécessaires, tant auprès du public que des maîtres d'œuvre et entreprises de pose. L'échec de ces actions en France, comparé aux succès en Allemagne et en Europe du Nord, montre encore une fois que le problème se situe au niveau de la réglementation et non pas à celui de l'information du public et des entreprises de pose.

Notons que le vitrage à isolation renforcée est loin de constituer le dernier cri de la technique : il existe déjà sur le marché des vitrages encore plus performants, à « lame gazeuse à basse pression » ou constituée de gaz rares.

La réglementation thermique de 1989 s'était déjà fixé l'objectif de diffuser rapidement cette technique : ce fut un échec. Quinze ans après, le vitrage peu émissif n'a toujours pas dépassé 50 % du marché.

On a estimé la consommation annuelle qu'on n'a pas pu éviter dans les bâtiments construits depuis 1989 à 700 000 tep/an, soit près de 500 000 tonnes/an de carbone fossile, qui subsisteront durant les 80

⁷⁶ Après une période de stagnation, une réglementation contraignante a fait passer son taux de diffusion de 20 % à 90 % du marché de 1996 à 2000.

⁷⁷ Le prix « sortie d'usine » est de 3,5 à 6,2 €/TTC par m². Et il n'y a aucune contrainte particulière de mise en œuvre ou de distribution. Le surcoût actuel une fois posé est souvent de 10 €/ m² du fait de sa faible diffusion actuelle.

ans de durée de vie de ces vitrages⁷⁸. On mesure sur ce cas toute l'urgence des décisions de ce type à prendre. Et on ne parle pas de l'argent perdu, 180 millions €/HT/an.

En 2004, les surfaces de vitrages fournies sont de 15 millions de m², dont 50 % en vitrage à isolation renforcée⁷⁹.

La répartition entre le neuf et l'ancien est mal connue, mais on peut estimer que 6 Mm² sont utilisés pour le neuf et 9 Mm² pour l'ancien.

La perte collective due aux 7,5 Mm² de vitrage ordinaire installés en 2004 est de 100 000 tep/an, qui dureront de l'ordre de 80 ans, (durée de vie de ces vitrages) sur les bases suivantes :

- les déperditions correspondent à l'utilisation de 7,5 Mm²/an de vitrages qu'on supposera être en double vitrage (en fait, il se vend encore des vitrages simples) ;
- perte unitaire : 100 kWh utiles/an/m², soit 150 kWh/an d'énergie primaire fossile,
- soit 100 000 tep/an.

Ces 100 000 tep/an cumulées sur 5 ans seulement seront du même ordre de grandeur que les effets d'un durcissement très accéléré des normes sur les bâtiments neufs jusqu'en 2040 (voir en page 16).

Une autre comparaison très illustrative est que **le surcroît de « puissance de chauffage » dû aux 7,5 Mm² de vitrage ordinaire installés sur la seule année 2004 (256 MW) équivaut à la puissance de la totalité des éoliennes installées en France⁸⁰** depuis l'origine jusqu'en fin 2004 (407 MW)⁸¹. Or, autant le programme éolien suscite de passions médiatiques, autant l'utilisation de vitrages ordinaires se fait dans la plus totale indifférence.

Deux mesures récentes sont réputées devoir amener la disparition naturelle des vitrages autres que ceux à isolation renforcée :

- la nouvelle réglementation thermique de 2000, qui devrait, selon ses auteurs, réussir à imposer les vitrages à isolation renforcée dans le secteur des bâtiments neufs, tout en restant « performancielle » (voir page 25) ;
- l'« effet d'entraînement » de la réglementation qui devrait introduire ces vitrages dans l'ancien ;
- le nouveau dispositif fiscal pour 2005 qui prévoit un « crédit d'impôt » de 25 % sur ce type d'opération.

Une surveillance toute particulière sur l'évolution réelle du marché nous paraît indispensable. En effet, la réglementation de 1989 devait avoir les mêmes résultats, ce qui ne fut pas le cas ; et la réglementation 2000 aurait déjà dû produire plus d'« effet d'entraînement » en 4 ans...

⁷⁸ La réglementation thermique de 1989 s'était déjà fixé l'objectif de diffuser cette technique : ce fut un échec, la « bonification » (correction de la « performance globale » destinée à promouvoir certains composants) attribuée à cette technique ayant été totalement inefficace. On a estimé la surconsommation annuelle due à cet échec sur environ 300 millions m² construits sous l'empire de cette réglementation (50 millions m² de vitrages), soit à 150 kWh/an/m² primaires, 7 500 MWh/an, soit 600 000 tep/an.

⁷⁹ Statistiques 2004 fournies par M. Laffont, Groupement Européen des Producteurs de Verre Plat.

⁸⁰ Article de Hervé Kempf, *L'énergie éolienne est vivement contestée par des associations locales*, in *Le Monde*, 24 mars 2005, page 11.

⁸¹ L'énergie produite – ou gaspillée – n'est pas de la même nature, chauffage ou électricité. Le bilan économique non plus : l'électricité éolienne doit être lourdement subventionnée (le kWh produit est acheté 2,5 fois le prix de référence du kWh électrique moyen) alors que l'énergie gaspillée par de mauvais vitrages rembourserait l'investissement en un an environ,

L'initiative récente du Groupement Européen des Producteurs de Verre Plat auprès de la Commission Européenne [44] pour faire généraliser les vitrages à isolation renforcée devrait être soutenue par la France.

8.8 Le marché des chaudières individuelles.

Le chauffage individuel représente 81 % des logements et plus de 80 % de la consommation de chauffage des logements existants (chauffage électrique inclus). Il en va de même pour la production d'ECS. La technologie des chaudières individuelles et de la production d'ECS est donc un enjeu majeur.

Le tableau ci-dessous donne la répartition du chauffage individuel et collectif dans les logements (données du GFCC pour 2003 [42]).

Tableau 6. Mode de chauffage individuel ou collectif dans les logements.

MODE DE CHAUFFAGE	LOGEMENTS	POURCENTAGE
Chauffage central collectif (gaz, fioul, ou charbon)	3,7 millions	15 %
Chauffage urbain	1 million	4,1 %
Chauffage individuel	19,9 million	81 %
Chauffage électrique	6,6 millions	26,7 %)
Chaudières individuelles	11,2 millions	45,6 %
Gaz	6,7 millions	
GPL	0,7 millions	
Fioul	3,5 millions	
Bois/charbon	0,3 millions	
Sans chauffage central	2,1 millions	8,5 %

Les ventes de chaudières en 2003, logement et tertiaire confondus, sont données par le tableau ci-dessous .

Tableau 7. Les ventes de chaudières individuelles et collectives en 2003.

MATERIELS	QUANTITES
Chaudières individuelles gaz	570.000
Dont Chaudières murales	490 000
Dont Chaudières sol < 70 kW	80 000
Chaudières individuelles fioul < 70 kW	165.000
Chaudières charbon	8 000
Total chaudières individuelles neuves au fioul, gaz et charbon	741 000
Chaudières > 70 kW, gaz ou fioul, pour chaufferies collectives	14.200
Brûleurs livrés en caisse, gaz ou fioul (toutes puissances)	146.000

75 % des chaudières individuelles ont remplacé des chaudières existantes, 20 % ont servi à l'installation du chauffage central dans les logements existants sans chauffage central ou lors de la suppression d'un chauffage collectif.

Le logement neuf ne représente, quant à lui, que 15 % du marché total. **La théorie de « l'effet d'entraînement du neuf sur l'ancien » pour la diffusion des meilleurs matériels est donc ici en contradiction avec la très faible importance du marché du neuf.**

Les types de chaudières sont très nombreux. On distingue :

- pour le fioul : les chaudières à basse température, à condensation (peu répandues en chaudières individuelles), et étanches,
- pour le gaz : les chaudières murales ou au sol, à brûleur ou atmosphérique, à basse température, à condensation, à allumage électronique ou à veilleuse.

Un premier critère, commun au neuf et à la rénovation, est la présence ou non du réseau de gaz.

Le fioul, déjà disparu dans le collectif, continue à disparaître dans le chauffage individuel du fait des grands avantages fiscaux accordés au gaz depuis 30 ans (30 % des chaudières au fioul remplacées passent au gaz).

Le problème est donc largement centré sur le domaine du gaz. Or, on a vu que le marché des chaudières individuelles est très uniforme en termes de besoins, à l'exception, rare, du chauffage de très grandes maisons. On conçoit donc que, parmi les types de chaudières au gaz, le rapport coût-efficacité soit très variable.

Les appareils muraux au gaz se classent⁸² ainsi, le surcoût de l'une sur la précédente étant toujours remboursé en quelques mois, ou au plus quelques années (on définira ces matériels ci-dessous) :

- chaudière atmosphérique à veilleuse,
- chaudière atmosphérique à allumage électronique,
- chaudière atmosphérique étanche,
- chaudière étanche à basse température,
- chaudière à condensation (20 000 en 2003).

Le cas des chaudières à gaz au sol avec brûleur est particulier⁸³. Elles ont généralement un très mauvais rapport coût-efficacité par rapport à une chaudière murale étanche, par exemple. Ce sont des « appareils de luxe ». Mais, leur rendement étant en général bon, et leur marché étroit : elles ne représentent donc qu'un enjeu très secondaire en termes d'économies d'énergie.

En fait, elles devraient être réservées aux grandes puissances (plus de 50 kW), pour de très grandes maisons, ou à des zones extrêmement froides, pour lesquelles les chaudières murales n'ont pas la puissance nécessaire. Mais, elles bénéficient parfois d'une image ancienne de « solidité », celles des chaudières en fonte, lourdes, donc toujours au sol, au fioul ou au gaz (à une époque où le gaz était peu répandu).

Les préparateurs d'ECS à gaz, dits chauffe-bain (chauffe-eau pour les plus petits), étaient toujours à veilleuse. Mais, il en existe à allumage électronique⁸⁴ depuis au moins quinze ans.

Les chaudières au fioul ont toujours un brûleur⁸⁵, et sont toujours au sol. Les chaudières individuelles

⁸² On trouvera ci-après des éléments (incomplets faute de données exactes) sur la répartition entre ces types.

⁸³ Certains pays (Hollande) pratiquent, contrairement à la France, la chaudière atmosphérique à gaz au sol, y compris en grande puissance (100 kW ou plus).

⁸⁴ Le coût du raccordement électrique pour un « allumage électronique », jadis présenté comme un surcoût n'existe plus avec les allumages à pile, ou à « auto-production d'électricité par micro-turbine » [32].

« étanches » au fioul occupent environ 1 % du marché du fioul en France contre des parts très majoritaires dans certains pays européens.

Notons enfin un dernier clivage, entre les chaudières « mixtes » produisant de l'eau chaude sanitaire et les chaudières dédiées au chauffage. La production d'ECS par une chaudière au fioul hors période de chauffage est une aberration, le rendement pouvant baisser jusqu'à 20 %. Mais, bien entendu, il continue de s'en vendre.

La répartition du marché entre les différents types de matériels est difficile à connaître. Elle serait la suivante en 2004⁸⁶ : chaudières à condensation 3 %, chaudières dites « basse température » 15 à 20 %, autres chaudières 80% environ.

L'allumage à veilleuse représenterait toujours 10 à 15 % du marché⁸⁷ des chaudières murales au gaz.

Les chaudières étanches représenteraient seulement 49 % des chaudières murales à gaz (240 000/an) et 18 % des chaudières au sol (45 000/an).

Le remplacement d'une chaudière est un événement rare : sa durée de vie moyenne est de 20 à 30 ans pour le gaz et 40 ans pour une chaudière au fioul. L'acheteur ne possède donc aucune expérience. De toute façon, la technique a largement évolué depuis la dernière fois qu'il a procédé à une telle opération. Il agit souvent dans l'urgence, à la suite d'une série de pannes, d'une panne irréparable ou de la nécessité d'une réparation trop onéreuse. Enfin, il est très rarement capable d'apprécier le « coût généralisé » incluant les surcoûts d'investissement et les gains de consommation des divers appareils présents sur le marché.

Il y a très souvent remplacement à l'identique.

L'utilisation des appareils les plus performants présents sur le marché se traduit donc toujours (sauf cas rares et spécifiques) par un gain net pour le consommateur. On est donc en présence d'un « coût négatif » en ce qui concerne les gains de carbone fossile émis.

Les plus mauvais appareils sont les chaudières mixtes à gaz « à veilleuse », toujours utilisées en rénovation, alors que les chaudières « à allumage électronique » devraient systématiquement être utilisées. La surconsommation de gaz est de l'ordre de 5 à 15 %. En effet, la veilleuse consomme 1 à 2 % de la puissance nominale (de pointe), mais fonctionne 8 766 heures par an. La puissance nominale est utilisée entre 1 700 et 1 000 heures par an selon son plus ou moins bon dimensionnement. Le surcoût de 30 € pour un allumage électronique est donc remboursé en 1 à 2 ans par les économies d'énergie.

Les chauffe-bains (et chauffe-eau) à veilleuse ont un rendement encore plus désastreux, la veilleuse consommant couramment 60 à 80 % du gaz pour rien ! Ce type d'appareil se vend toujours...

Les grands fabricants fournissent une information précise sur la rentabilité très forte de l'allumage électronique (tout en continuant à offrir des chaudières à veilleuse...). Voir par exemple les brochures de ELM-Leblanc de 2005 [32] (ELM donnait déjà en 1998 une information identique, preuve que cette information est très mal relayée par les installateurs et distributeurs).

⁸⁵ Il existait des appareils atmosphériques, les « poêles à mazout ». Ils pouvaient être utilisés en chauffage central, à air généralement. Ils sont toujours fabriqués, mais marginalement.

⁸⁶ Selon la note [42] du GFCC.(Groupement des fabricants de matériels de chauffage central par l'eau chaude et de la production d'eau chaude sanitaire), complétés par des enseignements verbaux donnés par M. Toledano du GFCC et par les fabricants. Les grands adhérents au GFCC, ELM-Leblanc par exemple, fabriquent toujours des chaudières à veilleuse [32].

⁸⁷ Les données sur les chaudières à veilleuse n'existent pas au GFCC. Mais, les grands fabricants de chaudière continuent à proposer de tels matériels, comme ELM-Leblanc, adhérents au GFCC [32].

Les chaudières « étanches » (dites souvent « chaudières à ventouse ») sont munies d'une « entrée d'air » et d'une « cheminée » à air pulsé débouchant au même endroit par une « ventouse ». Elles sont toujours à allumage électronique. Les figures 14 et 15 illustrent leur différence avec une chaudière classique. Les gains d'énergie sont essentiellement dus à la suppression de la ventilation de la pièce de chaufferie, et accessoirement de la cheminée (voir les brochures ELM-Leblanc [32]). Un gain non négligeable est la suppression du ramonage, en principe obligatoire une fois par an.

Signalons que la réglementation française a imposé des contraintes nettement plus sévères que d'autres pays en limitant la longueur des conduits d'extraction (sur quelle base scientifique ?), ce qui a probablement gêné le développement de cette technique en France.

Leur surcoût de 100 à 150 € est remboursé par les économies d'énergie et d'entretien (ramonages, entretien des cheminées) dans des délais analogues de 2 à 3 ans.

Les chaudières étanches, moins répandues dans le marché du remplacement des chaudières existantes⁸⁸, sont utilisées assez systématiquement :

- dans le cas du passage d'un chauffage central d'immeuble à des chauffages individuels d'appartements,
- dans le neuf, car elles économisent le coût de la cheminée.

Les chaudières dites « basse température » recouvrent des classes d'appareils à meilleur « rendement de combustion ». les meilleurs appareils étanches relèvent de cette catégorie.

Les chaudières individuelles au gaz « à condensation » sont pratiquement inexistantes en France (3 % en 2004 selon le GFCC). Elles représentaient plus de 30 % du marché aux Pays-Bas en 2000. Leur surcoût semble y être remboursé en moins de cinq ans. Leur gain dépend de la température de fonctionnement des radiateurs, le meilleur cas étant celui d'un chauffage à basse température par le sol. Quoiqu'il en soit de la répartition des bâtiments existants du point de vue de ce critère, leur développement reste très insuffisant en France.

⁸⁸ Les chaudières à ventouse sont parfois accusées de dégrader la qualité de l'air du fait de la proximité possible entre l'extraction des fumées et une fenêtre. Mais, les normes de distance par rapport aux fenêtres qui éliminent ce problème sont, en fait, très rarement contraignantes.

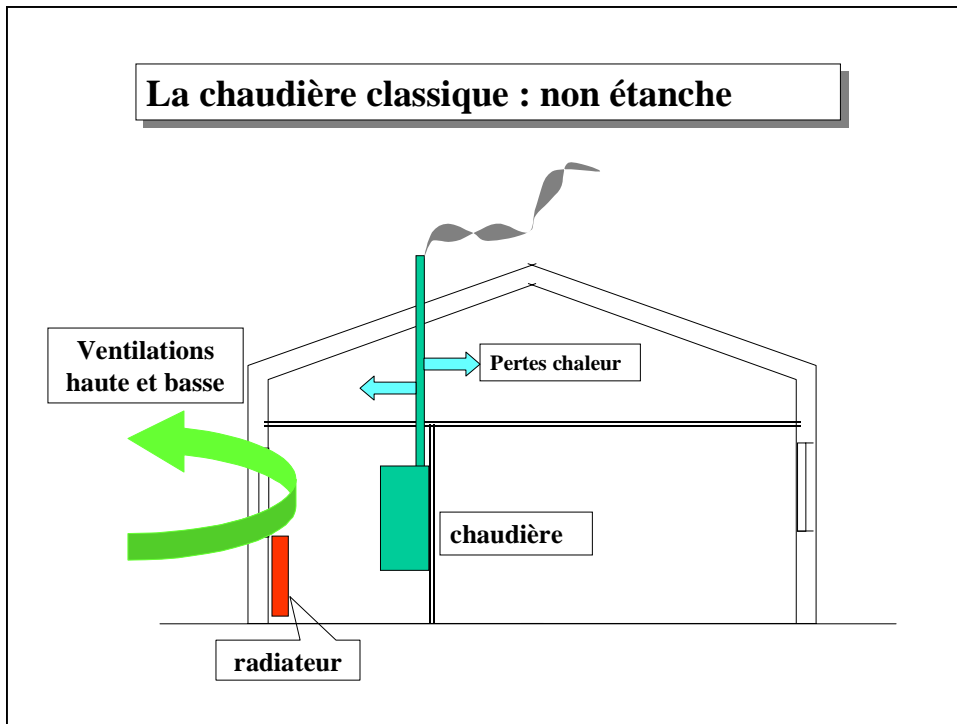


Figure 14. Une chaudière classique nécessite la « ventilation » de la pièce de chaufferie et des ramonages.

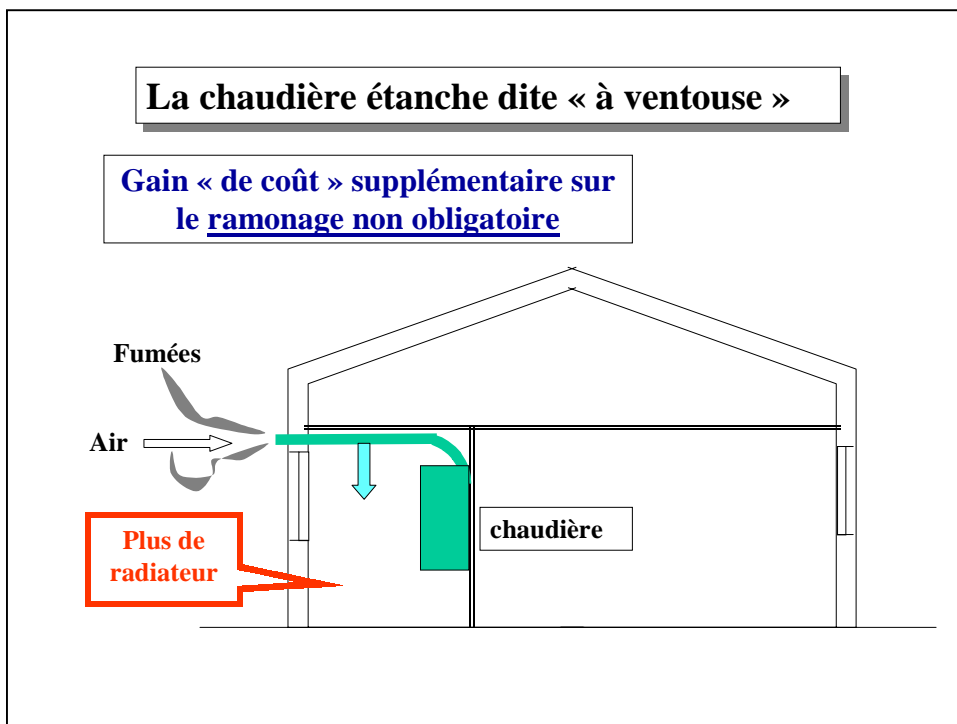


Figure 15. La chaudière « à ventouse » économise la ventilation de la pièce de chaufferie et les ramonages.

Les fournisseurs de combustibles, Gaz de France ou vendeurs de fioul, n'ont évidemment aucun intérêt à la diffusion des matériels les plus performants : leur chiffre d'affaires diminue (et encore plus leur marge bénéficiaire compte tenu des frais fixes).

Les fabricants de chaudières individuelles et de chauffe-eau au gaz sont extrêmement concentrés :

trois groupes, sous les marques françaises ELM-Leblanc (contrôlé par le groupe allemand Bosch), Chaffoteaux et Maury et Saunier-Duval, fournissent près de 80 % du marché. Ce sont des multinationales (depuis 2000, elles sont toutes sous contrôle étranger). Le secteur des chaudières individuelles au fioul est à peine moins concentré. Leur intérêt est évidemment de fournir les matériels les plus élaborés et d'augmenter leur chiffre d'affaires et leurs bénéfices. Ils dispensent donc largement de l'information auprès des professionnels, maîtres d'œuvre et installateurs. Les actions de ces « multinationales » sont évidemment analogues dans tous les pays.

On constate que les pays européens qui ont réussi à éliminer les chaudières médiocres (à veilleuse notamment), comme l'Allemagne, ont mis en place des actions réglementaires imposant pratiquement l'utilisation des appareils les plus performants dans le respect des contraintes communautaires.

Il n'en va pas de même en France :

- le consommateur n'a pas un accès direct à l'information dispensée par les constructeurs de chaudières ou les vendeurs de combustibles ;
- il ne fait jamais appel, pour une dépense aussi modique, à un maître d'œuvre dont les honoraires sont prohibitifs ;
- en fait, sauf exception (les bricoleurs remplaçant généralement à l'identique), la chaudière est presque toujours posée par un **installateur spécialiste**. Or, l'expérience montre que celui-ci ne fournit pas l'information dans une trop grande majorité des cas. Nous ne pensons pas que cela soit dû à une mauvaise information des dits installateurs. Cela paraît plutôt dû à des effets pervers de leur système de rémunération : « remises » sur les matériels, primes de fidélité à certains fournisseurs et distributeurs, etc.

Un scénario assez modeste de diffusion accélérée des chaudières « étanches » et de suppression du marché des chaudières et chauffe-eau « à veilleuse » en cinq ans (mais sans développement des chaudières à condensation) sans changer le rythme de remplacement des chaudières, se traduisait par rapport à un scénario « fils de l'eau » par :

- économie d'énergie de 560 000 tep/an en 2010,
- gains d'émission de carbone fossile de 380 000 tonnes par an en 2010.

Un scénario plus volontariste, avec un développement plus rapide du marché des chaudières étanches et l'introduction d'une part non négligeable de chaudières à condensation, poursuivie jusqu'en 2015 donnerait :

- économie d'énergie 1 000 000 tep/an en 2015,
- gains d'émission de carbone fossile 700 000 tonnes par an en 2015.

Une actualisation en 2000 des gains d'économie d'énergie déduction faite des investissements dus aux surcoûts (sans tenir compte de la valeur du carbone fossile émis) supplémentaires jusqu'en 2015 donne une valeur actualisée de l'ordre de 4 milliards €

Il convient évidemment d'ajouter à cette perte économique la valeur des émissions de carbone fossile évitées.

Notons enfin qu'il existe **des projets de réglementation imposant des contrôles périodiques** des petites chaudières. Or, l'évaluation de la réglementation de ce type existant pour les grosses chaudières a montré son peu d'efficacité. De plus le « réglage du rendement » d'une petite chaudière, atmosphérique notamment, est une vue de l'esprit avec les matériels actuels. Ces contrôles périodiques n'auront, au mieux, que des effets sur la sécurité, mais aucun sur la consommation d'énergie.

En fait, il semble que la principale (voire la seule) motivation d'un tel règlement est d'inciter au renouvellement des chaudières. Renouvellement qui, nous l'avons vu, se fait trop souvent à l'identique.

8.9 Le marché et l'exploitation des chaudières collectives.

Le marché des chaudières collectives se présente de façon analogue à celui des chaudières individuelles à quelques détails près :

- ce sont des ensembles constitués d'un (ou plusieurs) « ensemble(s) chaudière plus brûleur⁸⁹ », qui peuvent être fournis par des fabricants différents ;
- les « chaudières » proprement dites sont communes au gaz et au fioul, et seuls les brûleurs diffèrent (encore qu'ils utilisent souvent des composants communs) ;
- quatre groupes multinationaux fournissent plus de 80 % du marché français ;
- la diffusion des chaudières dites « à haut rendement » ou « à condensation » est à peine plus importante que dans le secteur des chaudières individuelles ;
- leur marché couvre les logements collectifs « à chauffage collectif » et la grande majorité du secteur tertiaire (plus de 50 %).

Un « **exploitant de chauffage** » est pratiquement toujours en charge de l'entretien et du fonctionnement du chauffage en général et de la (des) chaudière(s)⁹⁰.

C'est, évidemment, lui qui devrait fournir des prestations d'économie d'énergie. Or, cela semble très rarement le cas.

Il faut savoir qu'une gestion « pointue » pour économiser de l'énergie demande plus de travail à l'exploitant⁹¹. Il faut le rémunérer en conséquence. Or, notamment dans le tertiaire public, les pratiques de dévolution des marchés d'entretien-exploitation visent à prendre le moins disant, et ont donc un effet désastreux du point de vue des économies d'énergie.

De fait, extrêmement peu de contrats d'exploitation de chauffage comportent des clauses d'économie d'énergie (quel que soit le secteur, tertiaire public ou privé, logement collectif). Ce type de contrat est pourtant parfaitement défini et connu, fonctionne de façon satisfaisante, mais il ne couvre que quelques pour cent du marché de l'exploitation de chauffage.

Nous renvoyons ici à la très faible utilisation des manuels officiels [6] du Groupe permanent d'étude des marchés de Chauffage-Climatisation (GPME/CC), qui ne sont plus disponibles en 2004 (voir en page 41).

Ici encore, la comparaison avec les pays étrangers les plus avancés montre un retard important en France. Le secteur tertiaire public, qui pourrait avoir un très important effet d'entraînement, n'a eu aucune action cohérente dans ce domaine.

La remise en activité du Groupe permanent d'étude des marchés de Chauffage-Climatisation (GPME/CC) nous paraît indispensable pour renouveler la politique d'économies d'énergie dans ce secteur.

Il existe une réglementation sur le contrôle périodique des grosses chaudières. Mais cette réglementation est très partielle, car les économies d'énergie ne dépendent pas seulement de la chaudière, mais de l'exploitation de celles-ci et de l'ensemble du chauffage.

Le Rapport Martin a pointé l'exécution généralement purement formelle de ces contrôles, qui

⁸⁹ Il existe des chaudières atmosphériques à gaz de forte puissance, rarement utilisées en France, sauf dans des chaufferies de terrasse, car leur rapport poids/puissance est réduit.

⁹⁰ Il existe de rares cas d'entretien par une équipe propre à l'établissement.

⁹¹ Les actions pour améliorer le « rendement de chaufferie » sont complexes et permanentes : réglage de l'excès d'air, mise « hors circuit » des chaudières inutiles, pannes plus fréquentes, etc.

génèrent très peu d'économies d'énergie [1].

9 La production d'eau chaude sanitaire.

La consommation d'énergie pour la production d'eau chaude sanitaire (ECS) est de l'ordre de 12 Mtep/an, presque autant que le chauffage des bâtiments tertiaires.

C'est un domaine pratiquement en déshérence du point de vue de la politique de l'énergie, malgré son importance. Il n'existe aucun « texte officiel » auquel on puisse se référer.

Le niveau de réflexion du *Programme national de lutte contre le changement climatique* a été particulièrement sommaire sur ce sujet. Les actions passées ont été très peu nombreuses (voir en page 42) :

- l'utilisation de meilleures chaudières « double service » et de meilleurs chauffe-eau,
- l'utilisation de bois de chauffage et d'ENR en réseaux de chaleur (chauffage et ECS),
- les chauffe-eau solaires.

C'est aussi le domaine où le coût global varie le plus largement selon la technologie.

La question de la pertinence « économique » de la politique publique est donc à poser.

Le tableau 6 ci-dessous est tiré du meilleur « manuel de thermique européen », *Le Recknagel* [9], faute d'un texte « officiel » accessible. Il résume les éléments de calcul donnés dans le tableau 7 situé page suivante. Les systèmes de production sont classés (à peu près) dans un ordre de coût global croissant.

Tableau 8. Prix en centimes de Franc 1998 par litre d'eau chaude (prix du pétrole 20 \$/baril).

Système (Centimes de Franc/litre, valeur 1998)	À accumulation	Instantané
Chauffe-eau instantané au gaz sans veilleuse		1,58
Chaudière murale sans veilleuse double service au gaz		1,72
Chauffe-eau instantané au gaz avec veilleuse		1,92
Réseau de chaleur (gaz, fioul) ⁹²	2,01	1,60
Chaudière au sol double service au gaz	2,79	1,85
Chaudière double service* au fioul	3,25	2,19
Chauffe-eau électrique	3,80	3,70
Chauffe-eau thermodynamique électrique ⁹³	4,04	
Chauffe-eau solaire avec 50 % d'appoint électrique	7,12	

* Le terme « double service » (ou « mixte ») signifie que l'appareil fournit le chauffage et l'ECS.

⁹² Les coûts pour un réseau de chaleur alimenté au bois doivent être augmentés de 10 % environ.

⁹³ Cet appareil fonctionnant sur le principe de la pompe à chaleur fut prôné dans les années 1980. Il était en particulier « primé » dans la *Réglementation thermique des bâtiments neufs de 1989*. Ce fut un échec total. Le coût de l'ECS produite explique très facilement cet échec !

On constate que les coûts varient très fortement, de 1,58 et 1,72 centimes/litre pour des chauffe-eau ou chaudière murale au gaz sans veilleuse à 7,12 centimes/litre pour le chauffe-eau solaire.

Le constat dressé par les authentiques thermiciens auteurs du *Recknagel* est très troublant comparé aux pratiques actuelles.

Les diverses modalités de production d'ECS (par chaudière murale ou chauffe-eau) avec du gaz naturel sont les moins chères (1,58 à 1,92 Cts/l). On retrouve évidemment ici les considérations ci-dessus sur l'absurdité de l'utilisation des veilleuses, dont on a vu qu'elles subsistent en 2005, y compris dans les catalogues des plus grandes marques.

La fourniture d'ECS par un réseau de chaleur est à peine plus chère que sa production par un appareil au gaz (1,60 à 2,01 Cts/l). On verra plus loin qu'une grande voie d'action sur les consommations d'énergie dans les bâtiments est de développer les réseaux de chaleur utilisant de la biomasse. Cette voie est donc commune au chauffage et à la production d'ECS.

Le chauffe-eau électrique, instantané ou à accumulation, bien plus coûteux que le chauffe-eau au gaz, devrait être réservé aux logements chauffés au fioul, où le coût de production de l'ECS est à peu près équivalent.

Le chauffe-eau thermodynamique est le plus coûteux avant le chauffe-eau solaire. Son marché est resté confidentiel, bien qu'il ait été déjà prôné (et favorisé) par la *Réglementation thermique de 1989*.

Le chauffe-eau solaire est une aberration économique⁹⁴. En se référant au tableau 7 ci-dessous on constate que le coût global de l'ECS se répartit en 13 % pour l'électricité d'appoint et 87 % pour l'investissement, soit 0,96 Cts/l d'électricité et 6,16 Cts/l d'amortissement. Les dépenses d'énergie proprement dites sont de 700 F/an pour le chauffe-eau solaire et 750 F/an (au prix du gaz en 1998) ce qui fait que le chauffe-eau solaire ne deviendra jamais compétitif, quelle que soit l'augmentation des prix de l'énergie.

On ne peut que s'interroger sur l'engouement, déjà ancien, des décideurs (de tous pays) pour le chauffe-eau solaire⁹⁵. Malgré des subventions croissantes, il s'est néanmoins peu développé. Le dernier avatar des aides en France, l'avoir fiscal de 40 % en 2005, démontre bien le caractère anti-économique de cette technologie. En effet, l'avoir fiscal équivaut à une subvention de l'ordre de 2 fois le coût global de l'ECS produite au gaz.

Le contrôle des consommations d'eau chaude sanitaire paraît une voie beaucoup plus fructueuse.

Il existe déjà des technologies pour réduire les consommations inutiles, du simple bouton poussoir temporisé à l'ouverture électronique du robinet. Leur diffusion suppose peu de changements des habitudes des consommateurs. Mais, le *Programme national de lutte contre le changement climatique* de 2000 n'en fait pas mention...

⁹⁴ Nous entendons ici le cas des logements individuels en France, seul visé par les éléments cités du *Recknagel*. Le cas du logement collectif est analogue, sauf exceptions. Il existe des créneaux pour la production solaire d'ECS, par exemple dans les pays chauds où le capteur peut être simplifié, dans des usages collectifs (piscines), etc.

⁹⁵ Sur l'origine et le sens de ces effets de mode technologique, on peut renvoyer à la théorie des « actants » de Lucien Sfez, in *Critique de la décision*, Paris, Presses de la Fondation Nationale des Sciences Politiques, 1973, 4^{ème} édition 1992.

Un programme de recherches sur l'ECS devrait être mené concernant :

- les technologies existantes et leur équilibres économiques,
- leurs domaines d'emploi, etc.,
- les freins à la diffusion de ces techniques,
- l'amélioration des technologies actuelles.

L'information des consommateurs, qui devrait être particulièrement développée pour cette raison même, est particulièrement pauvre sur l'ECS.

Une politique d'information «économique», du type de celles menées par les associations de consommateurs (type *60 millions de consommateurs*) devrait être instaurée.

Tableau 9. Consommation d'énergie et coût correspondant de différents systèmes de production d'eau chaude sanitaire pour pavillon.												
Consommation d'eau chaude sanitaire 200 l/jour à 45°C=73 m ³ /an, soit 3 000 kWh/an d'énergie utile. Prix du pétrole vers 20 \$/baril. Source <i>Le Recknagel</i> , Tableau 352-5.												
Système de production d'eau chaude sanitaire	Rendement annuel	Prix de l'énergie	Consommation totale d'énergie		Coût de l'énergie			Coût investissement	Coût emprunt à 10%	Coût total		
	en %	F/kWh	MWh/an	Qté/an	F/an	Cts/l	F/MWh	Francs	Francs/an	F/an	Cts/	F/MWh
Chaudière double service à fioul à accumulateur	45	0,25	6,67	572 kg/an	1 670	2,28	557	7 000	700	2 370	3,25	790
Chaudière double service à fioul à système instantané	60	0,25	5,00	428 kg/an	1 250	1,71	416	3 500	350	1 600	2,9	530
Chaudière double service à gaz à accumulateur	45	0,20	6,67	750 m ³ /an	1 340	1,84	447	7 000	700	2 040	2,79	680
Chaudière double service à gaz à système instantané	60	0,20	5,00	562 m ³ /an	1 000	1,37	333	3 500	350	1 350	1,85	450
Chauffe-eau électrique à accumulation en heures creuses	70	0,42	4,29	4 290 kWh/an	1 780	2,44	593	10 000	1 000	2 780	3,80	930
Chauffe-eau électrique instantanées	95	0,70	3,15	3 150 kWh/an	2 200	3,00	733	5 000	500	2 700	3,70	900
Chauffe-eau à accumulation à gaz naturel	50	0,20	6,00	675 m ³ /an	1 200	1,64	400	5 500	550	1 750	2,40	580
Chauffe-eau à accumulation à fioul	50	0,25	6,00	515 kg/an	1 500	2,05	500	7 000	700	2 200	3,01	730
Chauffe-eau instantané à gaz avec veilleuse	60	0,20	5,00	562 m ³ /an	1 000	1,37	333	7 000	400	1 400	1,92	470
Chauffe-eau instantané à gaz sans veilleuse	80	0,20	3,75	422 m ³ /an	750	1,03	250	4 000	400	1 150	1,58	380
Chaudière à coke à préparateur séparé	30	0,16	10,00	1 240 kg/an	1 600	2,19	533	10 500	1 050	2 650	3,63	880
Chauffe-eau thermodynamique	150	0,70	2,00	2 000 kWh/an	1 400	1,92	466	15 500	1 550	2 950	4,04	980
Chaudière murale à gaz à double service	70	0,20	4,28	481 m ³ /an	860	1,18	286	4 000	400	1 260	1,72	420
Captteur solaire avec 50 % de chauffage électrique d'appoint	150	0,70	1,00	1 000 kWh/an	700	0,96	233	45 000	4 500	5 200	7,12	1730
Réseau de chaleur, système à accumulation	85	0,26	3,53	3 530 kWh/an	920	1,26	307	5 500	550	1 470	2,01	490
Réseau de chaleur, système instantané	95	0,26	3,16	3 160 kWh/an	820	1,13	273	3 500	350	1 170	1,60	390

10 Techniques existantes « à coût négatif » dans l'électricité spécifique et les services urbains.

L'électricité spécifique et les services urbains consomment respectivement 30 Mtep/an et 5 Mtep/an [3]. Les enjeux sont donc considérables. Les matériels sont complexes et très divers. Les politiques d'économie d'énergie suivies jusqu'ici dans cet ensemble varient beaucoup selon les pays. La France est globalement assez mal placée dans l'ensemble européen.

Rappelons aussi que l'usage de l'électricité concerne à 75 % les ménages et 25 % le tertiaire.

L'utilisation réelle par les ménages de l'électricité spécifique a fait l'objet de nombreuses enquêtes très documentées, par exemple : *Synthèse des campagnes de mesures sur les usages électriques spécifiques du secteur résidentiel*, [28], ou bien *Analyse globale des consommations énergétiques : les leçons d'une démarche originale. "Du chauffage à l'ordinateur, attention, une consommation peut en cacher une autre !"* [24].

Ces enquêtes ont abouti à des propositions de matériels : citons par exemple le Cahier du CLIP (Club d'Ingénierie Prospective Énergie et Environnement) sur *Le froid domestique. Étiquetage et efficacité énergétique*. [23], ou *Étude expérimentale des appareils électroménagers à haute efficacité énergétique placés en situation réelle*, [25], ou encore un *Dossier* de la revue *Le Moniteur* sur le secteur social, *HLM, des solutions pour diminuer les charges*. [30].

On trouve le même genre de démarche dans le tertiaire : par exemple *Campagne d'économies d'électricité et suivi des consommations. Opération ECO-WATTS*, [29].

10.1 L'éclairage.

À émissions lumineuse égale, les divers types de sources ont des consommations qui sont de :

- 1 pour les ballons fluorescents ou tubes fluorescents,
- 1,7 pour les lampes « à basse consommation » (en fait, un tube fluorescent replié sur lui-même),
- 5 pour les lampes à incandescence (simples, dichroïques ou « à halogène »).

La durée de vie des sources fluorescentes et à basse consommation est de 3 à 10 fois (pour des fluos « très longue durée ») celle des lampes à incandescence⁹⁶. Le coût généralisé, comprenant l'achat des lampes et leur consommation (sans compter la main-d'œuvre de remplacement), est au moins divisé par trois (sauf pour une lampe très peu utilisée).

On se trouve donc devant une action à coût négatif.

Les objections classiques à l'usage de ces sources se réfèrent à un état très dépassé du développement de

⁹⁶ En moyenne, une lampe à incandescence dure 1 500 heures contre 5 000 à 20 000 pour une lampe ou un ballon fluorescent.

Notons qu'il existe des lampes « basse consommation » de mauvaise qualité à mauvaise durée de vie, en terme de performances sinon de durée avant extinction. Ces appareils (importés) ont contribué à la mauvaise réputation des lampes basse consommation en France.

ces technologies⁹⁷ : image du « tube fluorescent industriel » d'il y a 50 ans, puissance d'éclairage trop élevées et donc inadaptées au logement, mauvais rendu des couleurs, encombrement, manque d'esthétique, instabilité de la puissance lumineuse au cours du temps, etc.

Aujourd'hui, il existe des exemples de réalisations par des particuliers d'éclairage de maisons utilisant des supports classiques (lampadaires à abat-jour, plafonniers, lustres), totalement en sources à basse consommation, et pratiquement indétectable par le visiteur non prévenu (sauf avec un examen spécifique).

L'éclairage des bâtiments consomme environ 4 millions de tep/an. **Le gain potentiel est de 2,5 millions de tep/an.** La durée de vie modérée des lampes actuelles (1 à 3 ans en usage normal) fait que **ce résultat pourrait être acquis très rapidement.**

La seule mesure récente est l'obligation faite par la réglementation thermique 2000 aux immeubles tertiaires neufs d'utiliser un fort pourcentage de sources à basse consommation.

Rien n'existe concernant les « logements neufs » et encore moins la rénovation. Le secteur tertiaire public qui couvre 10 % environ du marché de l'éclairage utilise peu de sources performantes dans ses immeubles anciens. Pourtant, il pourrait avoir un effet d'entraînement sur l'ensemble du marché.

La « part de marché » des bâtiments neufs est négligeable (moins de 3 %), du fait de la faible durée de vie des lampes (5 ans pour les meilleures). Le problème de l'éclairage est donc celui de l'existant.

Les « lampes à basse consommation » de petite taille adaptées aux logements (éclairage équivalent à celui d'ampoules de moins de 100-125 W) sont apparues sur le marché avant 1980. Les ballons fluorescents de taille analogue datent du début des années 1990. Or, leur diffusion en France est restée confidentielle.

L'information sur ces matériels a été très largement prodiguée : citons par exemple le *Guide Éclairage*, [40] de Électricité de France, publié depuis au moins un quinzaine d'années et les documents du Syndicat de l'Éclairage.

En fait, la France se situe extrêmement mal entre les pays européens pour l'usage des sources les moins consommatrices (moins de 10 % du marché), bien loin des pays d'Europe du Nord où les sources « basse consommation » couvrent près de 90 % du marché, et plus proche de pays comme la Grèce ou le Portugal.

Dans les logements anciens, les méthodes ayant réussi dans les pays où les sources performantes couvrent la quasi-totalité du marché devraient pouvoir être appliquées en France.

Dans le tertiaire, l'offre d'« exploitation de l'électricité » par des exploitants de service énergétique est très médiocre. En témoigne le fait que la quasi-totalité des contrats ne portent que sur l'« entretien » de l'électricité et ne prévoient que très rarement des prestations d'exploitation au sens strict, et encore plus rarement avec des clauses d'efficacité (horaires précisés ou consommations forfaitaires, etc.).

Les contrats du « relamping » dans le tertiaire, public notamment, sont des prestations d'entretien-exploitation « à forfait », qui comportent la fourniture et le changement des lampes par l'exploitant sans autre clause qu'un délai obligatoire après l'arrêt d'une lampe. L'exploitant arbitre donc son prix sur la fourniture des lampes et de la main d'œuvre nécessaire⁹⁸. L'énergie n'entre pas en ligne de compte. Les « lampes économes », beaucoup plus chères à l'achat, seront donc le plus souvent repoussées au profit de lampes peu chères et très consommatrices.

Une interdiction des contrats de « relamping », sans prise en compte d'un bilan globale « lampes,

⁹⁷ Ces lampes ont été utilisées d'abord dans le milieu industriel où les problèmes d'aspect général sont de peu d'importance.

⁹⁸ L'exploitant arbitre aussi entre le « remplacement préventif », plus coûteux en lampes, mais économisant de la main d'œuvre et le remplacement « à l'extinction » des lampes.

main d'œuvre, énergie » devrait être mis en place. En commençant par le tertiaire public.

Les lampes à diodes sont une technologie encore plus performante, qui est dans une phase de développement. Ces lampes ont un meilleur rendement en lumière que les lampes fluorescentes. Quelques applications existent dans des créneaux particuliers et il y a donc déjà de petits marchés. Cette technologie paraît particulièrement prometteuse pour l'avenir.

La diffusion de matériels de ce type obéira, évidemment, à la même problématique que celle des lampes « basse consommation » qui peinent toujours à s'imposer au bout de 30 ans. Elle requiert une intervention publique différente des pratiques françaises actuelles.

10.2 Les pompes des chauffages.

Il s'agit d'un aspect totalement ignoré du chauffage central. Les chaudières actuelles comportent toutes des pompes⁹⁹ électriques dont **la consommation est environ de 2,5 millions de tep/an.**

Une pompe de chaudière individuelle typique de 65 watts (pour une chaudière murale individuelle au gaz) consomme sur l'année (8 766 h) 570 kWh d'une valeur de 45 € au tarif domestique. Sur cette consommation 40 % concerne la période d'arrêt d'été, soit environ 18 €

Cet appareil vaut moins de 60 € en montage d'usine dans une chaudière murale en version courante.

La possibilité de réglage de la pompe est généralement sommaire : il existe deux (rarement trois) positions. Évidemment, les appareils sont livrés en débit maximum, et les installateurs laissent presque toujours dans cette position, appliquant l'adage du marin : « trop fort n'a jamais manqué ». Livrer la pompe en débit minimum imposerait aux installateurs une action pour augmenter le débit et les obligerait à réfléchir au bon réglage.

La pompe doit être arrêtée l'été, ce qui doit être fait « à la main » par l'utilisateur, qui l'ignore très souvent ou l'oublie encore plus souvent. Dans quasiment toutes les chaudières « mixtes » au fioul préparant aussi de l'ECS, et dans certains montages de chaudières mixtes au gaz, la pompe ne peut pas être arrêtée l'été. Pourtant elle n'a besoin de marcher que lorsqu'on tire de l'ECS pour une préparation instantanée, ou que la chaudière recharge le ballon s'il y en a un.

L'arrêt automatique de ces pompes l'été, par programmation (horloge) ou par thermostat extérieur, ainsi que le contrôle du fonctionnement dans le cas de chaudières mixtes au fioul ou à montage permettrait des gains considérables.

En période de chauffage, la pompe fonctionne en permanence, à débit constant. Cette pratique technique remonte aux premières pompes qui supportaient mal les cycles de « marche-arrêt ». Mais, on peut imaginer d'arrêter¹⁰⁰ la pompe lorsque la demande de chaleur est faible. En effet, la quasi totalité des chaudières individuelles fonctionnent « en tout ou rien ».

Lors des périodes d'arrêt de la chaudière, on pourrait asservir la pompe à la mise en marche de la chaudière avec une temporisation suffisante pour éviter les « à-coup » sur le réseau d'eau chaude et les surchauffes à l'allumage.

Malheureusement, il n'existe pas de tels appareils sur le marché. La tradition de la pompe fonctionnant en permanence règne totalement.

⁹⁹ Au début la circulation d'eau se faisait par thermo-siphon, puis avec des « accélérateurs », qui étaient en fait déjà des pompes. Ces techniques ont pratiquement disparu.

¹⁰⁰ Une régulation du débit de la pompe peut aussi s'envisager.

Les gains potentiels liés à la possibilité d'un « vrai » réglage¹⁰¹ et d'une programmation-régulation sont de l'ordre de 35 %, soit 15 €/an.

Le surcoût de tels « meilleurs matériels » est difficile à estimer *a priori*, mais ne dépasserait pas 50 € (+80 %). Le temps de retour est de l'ordre de trois ans. On peut estimer la consommation des 15 millions de pompes de chauffage à 2,5 millions de tep électriques par an, et **les gains possibles à 0,8 million tep par an.**

Une recherche-développement sur la régulation-programmation des pompes de chauffage est donc à entreprendre. On a vu que les problèmes étaient complexes, et demandent une phase d'analyse de valeur préalable.

La diffusion de matériels de ce type obéira à la même problématique que pour les matériels existants : difficulté de prise compte par le consommateur des avantages de consommation, difficulté de diffusion de l'information, nécessité d'imposer les bons matériels par les voies réglementaires.

10.3 Autres aspects de l'électricité spécifique des bâtiments.

À côté de l'éclairage, il existe de très nombreuses catégories d'appareils consommant de l'électricité spécifique des bâtiments :

- appareils électroménagers, dits « produits blancs »,
- appareils radio-télévision, dits « produits bruns », auxquels il faut ajouter tous les appareils informatiques,
- appareils de « service » des immeubles, de type très varié : ascenseurs, ventilations, brûleurs, pompes de chauffage, etc.

Le domaine des appareils électroménagers a été le plus étudié (voir [25] et [28] par exemple) sans que ces études aient pour autant débouché sur des politiques d'envergure.

Il faut développer une réglementation européenne contraignante sur l'efficacité énergétique des appareils électriques¹⁰².

Beaucoup d'éléments consommateurs d'énergie fonctionnent de façon très discrète, mais souvent en permanence.

Le cas le plus typique est celui des **petits transformateurs sous tension en permanence**, présents dans toutes sortes d'appareils électroménagers ou de radio, télévision et bureautique, dont les pertes fixes atteignent souvent 10 % de la puissance nominale (la faible puissance du transformateur permettant l'évacuation de la chaleur produite sans problème). Les mesures technologiques sont simples et généralement remboursées en quelques mois :

- utiliser de petits transformateurs « à faibles pertes fixes », à peine plus coûteux,
- imposer des dispositifs de commande ou de « mise en veille » agissant « entre le secteur et le transformateur » et non « après » le transformateur.

¹⁰¹ Les pompes actuelles ont en général deux vitesses trop proches l'une de l'autre. Tous les appareils sont livrés pré-réglés sur la « grande vitesse », réglage que conserve presque toujours l'installateur (Trop fort n'a jamais manqué !).

¹⁰² Il existe déjà un embryon de réglementation européenne : Directive 92/75 prescrivant l'affichage d'une étiquette classant les appareils électroménagers de A à G et Directive 96/75 interdisant la vente de congélateurs et réfrigérateurs à trop mauvaises performances énergétiques.

Les dispositifs de « mise en veille » existent parfois, mais posent des problèmes d'utilisation. Un seul exemple, celui des ordinateurs. Tous les matériels utilisés en France obéissent, en pratique, à la réglementation américaine de l'Environment Policy Agency (dont le logo s'affiche souvent à l'allumage). Ils sont donc munis de dispositifs de veille automatique comportant plusieurs paramètres, la mise en veille de l'unité centrale (avec encore des variables) et celle de l'écran. Une enquête (personnelle) sur un large échantillon d'ordinateurs d'une grande administration montre que moins de 10 % des postes étaient en position « veille automatique ». Apparemment, aucune consigne n'existait dans les « service informatiques » pour un réglage préalable en veille automatique¹⁰³.

10.3 Les services urbains.

Il s'agit essentiellement des services liés à l'urbanisme et aux immeubles, notamment :

- l'éclairage public : 1,1 Mtep/an,
- la production d'eau potable, l'assainissement, le traitement des déchets, etc. : 3 Mtep/an,

Ici encore des gains sont possibles à des coûts négatifs. Les mécanismes sont les mêmes que pour les bâtiments : utiliser les meilleures techniques lors des rénovations naturelles des installations et réseaux, exploiter et maintenir correctement les matériels.

Un seul exemple : il existe de nombreuses techniques de contrôle des « utilisation inutiles d'eau », du simple bouton poussoir à l'ouverture électronique du robinet. Sans oublier, évidemment, l'entretien des appareils pour supprimer les fuites. Une chasse d'eau de WC qui fuit consomme plusieurs centaines de m³ par an. Le coût de sa réparation est de l'ordre de 6 mois de celui des fuites¹⁰⁴.

Ils ne sont pas réalisés :

- du fait du manque d'implication des usagers : changer les chasses d'eau ou les robinets qui fuient par exemple,
- du fait du manque d'information des professionnels, et des municipalités (éclairage public),
- du fait de diverses entraves apportées par les contrats des concessionnaires de ces services publics.

10.4 Conclusions sur l'électricité spécifique et les services urbains.

Le Programme national de lutte contre le changement climatique de 2000 était particulièrement peu ambitieux dans le domaine de l'électricité spécifique. Pourtant, les éléments de croissance très rapide de la consommation dans ce secteur justifierait une action extrêmement vigoureuse.

Il existe de nombreuses « actions à coût négatif » qui ne sont pas promues, ni même parfois « reconnues » par les organismes chargés des économies d'énergie. Pour celle-ci, la question est de diffuser les matériels dans le marché et d'éradiquer les mauvais matériels actuels.

¹⁰³ Quitte à ce que chaque utilisateur reconfigure le poste en supprimant la veille. Signalons ici l'usage des « écrans de veille » animés ou personnalisés qui consomment évidemment autant qu'un écran sans veille.

¹⁰⁴ Nous connaissions un immeuble d'une administration publique où 30 % des chasses d'eau fuyaient, et où les délais de réparation dépassaient les 5 ans. Par parenthèse, il serait peut-être bon d'interdire la vente des chasses d'eau qui ont une trop grande fréquence d'apparition de fuites, sachant que leur entretien est souvent assuré avec beaucoup de retard.

La plupart des appareils concernés ont des durées de vie très courtes (éclairage) ou assez courtes (appareils ménagers ou audiovisuels, pompes de chauffage). Le retard apporté à définir une politique n'aura donc pas de conséquences sur le très long terme. On peut donc se donner le temps de bâtir une politique cohérente et globale. C'est donc cette tâche qu'on devrait se proposer en premier.

En termes de prospective, la situation apparaît donc comme plus favorable pour l'électricité que pour le chauffage ou l'ECS.

En effet, une grande partie des appareils consommant de l'électricité peuvent voir leur consommation unitaire divisée par des facteurs 4 à 10, avec des technologies déjà disponibles :

- c'est évidemment le cas de l'éclairage ;
- ce l'est aussi pour la plupart des « produits bruns », vidéo, ordinateurs, etc.
- pour les pompes de chauffage, on peut envisager une division par 2 avec des technologies à développer.

Un programme d'études économiques et techniques devrait être lancé rapidement :

- pour connaître les usages réels des multiples appareils utilisés,
- pour évaluer les consommations des divers matériels existants sur le marché français et les marchés étrangers,
- pour recenser les difficultés de diffusion des matériels les plus performants.

Les « politiques d'information », éventuellement déployées jusqu'à présent sur certains matériels ont été un échec. La connaissance des pratiques étrangères les plus performantes (éclairage par exemple) paraît la meilleure voie pour définir ce que devraient être les pratiques réglementaires françaises. .

Un certain nombre de technologies, déjà développées dans des créneaux spécifiques (lampes à diodes) ou à développer (pompes de chauffage à régulation-programmation), pourrait compléter les meilleures technologies actuellement disponibles, dont la diffusion est prévue.

LA « SUBSTITUTION » ET LES ACTIONS A LONG TERME

Rappelons que la présente étude est clairement située dans deux hypothèses :

- la recherche d'une « division par 4 » des consommations unitaires, pour lutter contre le changement climatique,
- une augmentation forte des coûts des énergies fossiles liées à la diminution des possibilités d'extraction du pétrole et du gaz (« peak-oil ») et à l'utilisation éventuelle d'énergie de substitution.

Pour lutter réellement contre le changement climatique, il faudra avoir divisé par un facteur 4 les « émissions unitaires » pour chaque utilisation : parcourir un kilomètre en automobile, chauffer 100 m², construire une automobile ou un logement. En effet, la prise en compte de l'augmentation des populations et de la croissance des niveaux de consommations des pays développés et en voie de développement mène à un facteur de cet ordre.

L'horizon considéré ici se situe donc entre 2040 et 2100 et n'est pas celui du Protocole de Kyoto lui-même, simple étape préliminaire d'une lutte efficace contre le changement climatique.

La recherche d'une politique « économiquement efficace » sera probablement indispensable. En effet, cet avenir se caractérise aussi par un coût des énergies fossiles pétrolières ou gazières croissant fortement : l'équivalent (en valeur de niveau de vie) de 60 à 80 dollars actuels par baril.

La conséquence de l'élévation du coût des énergies sera la mise au premier plan des considérations d'efficacité économique, en contraste avec la politique de « discrimination sectorielle » à la base du protocole de Kyoto. En effet, les « rentes versées aux pays producteurs » et les conséquences sur l'emploi national des pays acheteurs deviendront les facteurs primordiaux des politiques.

On peut penser que des programmes¹⁰⁵ coûteux d'aides, comme les actions actuelles pour les chauffe-eau solaires, les éoliennes ou les « carburants verts » auront été remis en question au profit de la recherche de l'efficacité économique maximale.

Quelle place le secteur des bâtiments, représentant la moitié de la consommation actuelle, occupera-t-il à cet horizon dans la politique d'économies d'énergie et de substitution par des énergies renouvelables nationales?

Quelle pourrait être l'évolution des politiques d'économie d'énergie à partir de 2010 ?

La réalisation des « économies d'énergies à coût négatif » sera évidemment acquise à cet horizon.

Seul le délai précis de la mise en œuvre de ces mesures reste inconnu. On fera l'hypothèse que les difficultés actuellement rencontrées en France pour imposer les matériels concernés seront enfin résolues avant 2040 :

¹⁰⁵ Les trois programmes cités demandent des aides nettement plus élevées à la tonne de carbone fossile (ou à la tep) économisée que la bois de chauffage, par exemple (6 à 30 fois plus ?).

- la diffusion actuelle des matériels performants (chaudières, vitrages à isolation renforcée, pompes de chauffage, éclairage à basse consommation, etc.) dans la rénovation dans les autres pays européens finira par obliger les pays réticents (comme le France) à légiférer ;
- la Commission européenne aura fini par prendre les « Directives sur les produits consommant l'énergie » (chaudières et électricité spécifique) dont le *Programme national de lutte contre le changement climatique* français de 2000 faisait état pour un avenir proche.

Dans le chauffage, un programme d'économies d'énergie ne peut aboutir qu'à une stabilisation des consommations **Il est donc indispensable d'avoir recours à la « substitution » par des énergies émettant moins de carbone fossile.** (voir les pages 21 à 31).

Pour l'eau chaude sanitaire, la croissance des consommations énergétiques paraît difficile à contrôler. **Le recours à la substitution par des énergies émettant moins de carbone fossiles est indispensable aussi pour l'ECS.**

Le développement de la substitution dans le chauffage et l'ECS pose donc essentiellement des problèmes d'organisation, de logistique et d'exploitation. Par contre, les technologies sont connues, ou suffisamment connues pour alimenter un développement très important. Il s'agit de mettre en place des politiques et leur moyens, plus que de lancer de nouvelles recherches-développements.

Pour l'électricité spécifique, la « prospective des consommations » est plus favorable. On a vu pages 63 à 68 qu'il existe de nombreuses technologies d'appareils consommant de l'électricité qui peuvent permettre une division de leur consommation unitaire par des facteurs 4 à 10 :

- c'est le cas de l'éclairage ;
- ce l'est aussi pour la plupart des « produits bruns », vidéo, ordinateurs, etc.
- pour les pompes de chauffage, on peut envisager une division par 2 des consommations avec des technologies à développer.

Une forte diminution des consommations d'électricité spécifique par l'utilisation de technologies existantes ou à venir est donc tout à fait envisageable. De plus, il y aura des actions de substitution sur la production d'électricité (électricité renouvelable, production avec capture du CO₂, etc.).

11 Les réseaux de chaleur.

11.1 Un domaine très peu dynamique actuellement.

On doit noter, d'abord, la stagnation quasi-absolue des réseaux de chaleur depuis 1990.

Les documents de proposition ne manquent pourtant pas. Citons, il y a 15 ans, *Les réseaux de chaleur, le service chaleur à domicile. Maîtrise de l'énergie et respect de l'environnement*. ADEME, octobre 1991 [38]. Le rapport Martin [1] a traité la question avec une annexe très complète *Evaluation de la politique de maîtrise de l'énergie dans le domaine des réseaux de chaleur*, [16] Sur la géothermie, voir : *La géothermie, une énergie d'avenir*. ADEME et BRGM, 1998, [39].

Cette stagnation est due à l'absence de politique publique, ou plutôt à un « retour en arrière », dont **la suppression en 1995 du taux réduit de TVA à 5,5 % sur l'abonnement**, qui existait depuis 1989, est emblématique.

Et, surtout, il existe des conflits non résolus de ce domaine, liés notamment à la géothermie ou aux déchets. De plus, il est apparu, lors de la préparation du *Programme national de lutte contre le changement climatique* de 2000, que leur solution était loin d'être en vue.

Il serait très compliqué de décrire ces conflits, dont on peut juste indiquer ici quelques origines :

- des préoccupations écologiques visant les stations d'incinération des déchets tendent à rejeter celles-ci loin des villes et donc de leurs clients éventuels pour la chaleur produite ;
- la géothermie qui avait connu un bon développement dans les années 1980, a été freinée par les réclamations¹⁰⁶ des usagers contre des prix fixés en pleine crise de l'énergie et jugés insupportables après 1986. Le Rapport Martin [1] avait pourtant mis en évidence un coût à la tonne de carbone fossile économisé très raisonnable, bien inférieur à celui de techniques actuellement très aidées, comme les chauffe-eau solaires, éoliennes, biocarburants, etc. ;
- les ambitions industrielles de GDF ont fortement pesé sur le secteur des petits réseaux de chaleur au bois et sur la géothermie (dont GDF est devenu le principal actionnaire par des rachats successifs de réseaux) ;

Le positionnement administratif des réseaux de chaleur est complexe et conflictuel¹⁰⁷, impliquant municipalités concédantes, clients publics (HLM, bâtiments municipaux, lycées, collèges), exploitants de chauffage et EDF-GDF, organismes de financement public, tutelle partagée entre les ministères de l'Industrie et de l'Équipement-Logement, etc.

Le suivi administratif des réseaux de chaleur est très organisé, avec des déclarations annuelles, et la tenue de statistiques par un organisme syndical : voir la série : *Statistiques du syndicat national du chauffage urbain (SNCU)*, [31].

Le *Programme national de lutte contre le changement climatique* de 2000 prévoyait un développement extrêmement limité des réseaux de chaleur :

- la géothermie devait éviter 0,02 MteC/an de plus en 2010 (soit l'équivalent de 0,03 Mtep/an), ce qui ne sera probablement pas réalisé ;
- les autres ENR que le bois mentionnées passant par des réseaux de chaleur ne faisaient même pas l'objet d'objectifs chiffrés ;
- rappelons pour mémoire que les réseaux utilisant le bois se développent à un rythme très faible.

La seule mesure importante, le retour à la TVA à 5,5 % sur les abonnements des réseaux de chaleur (qui a existé de 1989 à 1995), n'est toujours pas prise en 2005.

11.1 Le problème économique de la cogénération dans les « bâtiments ».

Des mesures récentes ont été prises en faveur de la cogénération (rachat obligatoire des kWh par EDF à un tarif aidé). Mais, on doit constater qu'elles n'ont eu presque aucun impact dans les réseaux de chaleur desservant les bâtiments, au contraire du secteur industriel.

Une problématique purement économique explique cette différence. Dans l'industrie, il n'est pas rare que la consommation de chaleur annuelle soit de 5 000 à 7 000 fois la puissance installée¹⁰⁸. Dans les bâtiments

¹⁰⁶ Ces réclamations n'ont jamais obtenu de solution. Les services de l'État responsables (ministère de l'Industrie) n'ont pas voulu intervenir dans ce secteur où les maîtres d'ouvrage sont des municipalités à qui le statu quo profitait généralement.

¹⁰⁷ Il existe des « conflits d'intérêt » au sein des municipalités, à la fois autorités concédantes, clients et tuteurs des opérations d'HLM.

¹⁰⁸ Ce qui conduit à critiquer ces réalisations : « *le plein impact [de la cogénération] en termes de CO₂ n'est obtenu que si ces installations fonctionnent en semi-base, alors qu'aujourd'hui la plupart des cogénérations*

(sauf très rares exceptions), elle n'est que de 1 000 fois la puissance de pointe dans notre climat. La cogénération n'y fonctionne donc généralement que « en base », avec un appoint par chaudière classique pour les pointes. Mais, on n'arrive jamais à dépasser dans l'année 3 000 fois la « puissance thermique récupérable » de la cogénération. Donc, pour une quantité égale de chaleur valorisée, l'investissement est de plus du double dans le secteur du bâtiment que celui dans l'industrie.

Le *Programme national de lutte contre le changement climatique* [4, pages 154-155] prévoyait une évolution compliquée pour la cogénération, liée au remplacement des centrales thermiques classiques par des turbines à gaz naturel à cycle combiné ou à cogénération, avec « un avantage de 10 à 20 % en faveur de la cogénération ».

Mais, il remarque aussi que « le développement de la cogénération est tributaire de l'existence d'une demande de chaleur. » Il faut, bien entendu, que le réseau de chaleur existe. Mais, il faut aussi que les demandes de chaleur et d'électricité coïncident dans le temps. Or, ce n'est pas le cas dans les bâtiments.

Malgré les déclarations favorables, le développement massif de la cogénération dans les bâtiments reste donc très problématique. Et le restera sans doute à long terme.

11.3 Une politique « à construire ».

Rappelons que les réseaux de chaleur sont l'intermédiaire indispensable à l'utilisation de la plupart des énergies renouvelables : déchets, bois, géothermie et cogénération.

Or, **la France présentera en 2010 un retard très important dans ce domaine.** En 2000, il y avait cinq à dix fois moins de bâtiments raccordés à population égale que dans d'autres pays européens. Le *Programme national de lutte contre le changement climatique* de 2000 n'a pratiquement pas proposé de développement de ces réseaux. Enfin, ils utilisent actuellement surtout des énergies fossiles (gaz, fioul).

Leur problématique économique actuelle est assez simple : les coûts fixes (investissement et main-d'œuvre) sont déjà importants par rapport à celui de l'énergie fossile utilisée¹⁰⁹.

Lorsqu'on utilise de la biomasse, ou que l'on récupère des calories gratuites (cogénération ou incinération des déchets), la partie fixe augmente. Pour la géothermie, la partie fixe peut monter à 70 % pour l'amortissement et la gestion du réseau et 30 % pour les charges proportionnelles (traitement des eaux, pompages, personnel).

Ainsi, l'exploitation de réseaux de chaleur peut atteindre un équilibre économique réel en cas de coût élevé de l'énergie fossile, ce qui fut le cas pour la géothermie durant la crise de l'énergie, et devenir très déficitaire dès que le pétrole et le gaz baissent.

Dans l'avenir à coût élevé des énergies fossiles, qui semble s'esquisser depuis la crise de 2003, les réseaux de chaleur utilisant des énergies renouvelables devraient trouver une place importante.

En attendant, leur développement dépend d'une politique publique en leur faveur.

Les priorités pour lancer une nouvelles politique des réseaux de chaleur sont les suivantes :

- la première priorité paraît de résoudre les conflits actuels ;
- une seconde priorité est de définir la place des énergies fossiles et notamment du gaz naturel ;
- une troisième priorité est de définir une politique d'aides vis-à-vis du bois et de la géothermie en attendant la hausse des prix de l'énergie fossile ;
- il faudra enfin réformer les systèmes actuels d'aide trop favorable à la cogénération.

industrielles fonctionnent en base et déplacent également de l'électricité d'origine nucléaire. » [[4 page 155].

¹⁰⁹ Au prix actuel de l'énergie énergie, les charges fixes sont de 35 %, et l'énergie (gaz, fioul lourd) et frais liés (pompages) de 65 %.

12 Le bois de chauffage.

12.1 D'importantes ressources nationales d'énergie inutilisées.

Le bois recycle le carbone atmosphérique. Son utilisation comme combustible n'émet donc que le carbone fossile contenu dans les « intrants » utilisés dans la filière de production, récolte et transport. On n'utilise pas d'engrais (émetteur de N₂O) et la récolte et le transport représentent 30 à 60 litres de gazole par tep finale livrée, soit moins de 50 kg de carbone/tep finale. Le rendement de combustion peut être bon avec des chaudières modernes, peu utilisées actuellement en France. Certains pays utilisent une biomasse plus diversifiée, par exemple la paille au Danemark.

Avec un rendement correct, on peut estimer que la diminution des missions de carbone fossile est de l'ordre de 90 % du contenu en carbone du combustible fossile substitué¹¹⁰ :

- pour le gaz : gain de 0,6 t carbone par tep substituée,
- pour le fioul domestique : gain de 0,8 t carbone par tep substituée.

On utilise déjà environ 9 Mtep/an de « bois-énergie » en France.

Pendant longtemps, le ministère de l'Agriculture, et notamment l'Office National des Forêts (ONF), se sont inquiétés en priorité d'assurer l'approvisionnement de l'industrie papetière. Celle-ci considérait la concurrence du bois-énergie comme une menace en termes de quantité d'approvisionnement et surtout de tension éventuelle sur les prix de vente du bois¹¹¹. Le lobbying de cette industrie puissante ne peut pas avoir été sans effet sur la politique passée du bois-énergie. La situation aurait récemment changé, selon les représentants de l'ONF et de l'ADEME.

Cependant, contrairement aux inquiétudes signalées ci-dessus, le total des ressources potentielles inutilisées est de l'ordre de 8 à 12 Mtep/an supplémentaires, correspondant au bois laissé sur place dans les forêts à nourrir divers xylophages et à pourrir.

Au-delà de cette ressource actuelle, il serait possible de « cultiver » du bois, afin d'augmenter les « rendements à l'hectare » et de diminuer les coûts de récolte. Des recherches anciennes ont porté sur ce type de cultures.

On notera ici que le fioul ne représente plus que 15 Mtep/an actuellement (chauffage et ECS). Un objectif de diffusion supplémentaire du chauffage au bois dans les proportions proposées ci-dessus (8 à 12 Mtep/an), jointe au développement des énergies renouvelables (voir partie 8 ci-dessous) suppose **une diminution très forte de la part de marché du fioul, mais aussi, probablement, de celle du gaz.**

12.2 Les déterminants du marché actuel du bois de chauffage.

L'utilisation du bois de chauffage en France présente plusieurs caractères antinomiques :

¹¹⁰ Il existe des cas très minoritaires de substitution au charbon et de chauffage mixte « bois électricité », « bois fioul », etc.

¹¹¹ On nous a indiqué des cas où le niveau de prix proposés en 2004 par l'industrie papetière était de l'ordre de 10 €/stère coupé pris sur place, ce qui correspond, pour une utilisation énergétique, à un prix de fioul de 0,05 €/litre (plus le transport) alors que le fioul était à 0,40 €/litre.

- une utilisation actuelle très importante dans les bâtiments¹¹², cantonnée au logement « domestique » (chauffage individuel), et quasi-absent du logement collectif et du tertiaire,
- de l'ordre de 7,65 Mtep/an officiellement, soit près de 15 % du chauffage des logements,
 - o dont 7,5 Mtep/an en logement individuel (équivalent à 4 à 5 Mtep/an effectives du fait des mauvais rendements des appareils,
 - o et 0,15 Mtep/an en chauffage collectif et tertiaire,
- qui évolue très peu (plutôt en légère baisse) ;
- des réserves potentielles d'utilisation supplémentaire de l'ordre de 8 à 12 Mtep/an :
 - o par amélioration des rendements, très médiocres actuellement, des appareils du secteur domestique,
 - o par la conquête de nouveaux marchés dans le secteur collectif et les réseaux de chaleur pour le bois non utilisé actuellement.

La production du bois de chauffage utilisé en France, fait l'objet d'un système très particulier de « production-consommation », qui comporte :

- un secteur d'auto-consommation par des propriétaires terriens (ou locataires) produisant et consommant leur propre bois,
- une auto-production des non-propriétaires par des « affouages¹¹³ »,
- un « marché informel », alimenté par les surplus de auto-consommateurs et des affouagistes, et une production parallèle des exploitants forestiers. Ce marché est illégal en principe, mais les prix de vente du bois s'affichent ouvertement ;
- un « marché légal » extrêmement minoritaire (bois pour feux de cheminée).

En effet, le prix du bois commercialisé normalement, avec toutes les charges sociales et la TVA, n'était pas compétitif vis-à-vis du fioul et encore moins du gaz naturel avec des cours du pétrole à 20 \$/baril. Aussi, le principal secteur correspond-t-il à des productions sans charges sociales ni TVA, comme l'autoconsommation légale des propriétaires terriens et des « affouagistes », complété par le « marché informel », tacitement toléré.

Ce caractère particulier fait que ce secteur est assez mal connu, notamment en ce qui concerne les volumes. Les administrations se refusent, par principe, à faire faire des études techniques ou économiques sur ce secteur. Il existe de rares points de connaissance (ou de « reconnaissance ») par l'administration :

- des prix de commercialisation¹¹⁴ sur le « marché informel »,
- estimation du volume global en tep/an,
- existence d'une TVA réduite à 5,5 % sur les « usages domestiques » (c'est-à-dire chauffage et eau chaude sanitaire ou cuisine d'un logement individuel) qui se confondent pratiquement avec le secteur détaxé de fait de l'auto consommation (propriétaires terriens ou affouagistes).

¹¹² Source : M. Pouet, chef du projet Bois-Energie, ADEME. 1,6 Mtep/an de bois est par ailleurs utilisé dans l'industrie, essentiellement celle du bois (scieries, papeteries) qui recycle ses propres déchets (sciures, chutes). Les perspectives de développement supplémentaire de ce secteur sont faibles.

¹¹³ Les « affouages » sont des coupes de bois dans une forêt communale proposées aux habitants de la commune qui le demandent, à un prix généralement très faible (voire symbolique). L'affouagiste coupe et transporte son bois (ou le fait faire). Il existe 11 000 « communes forestières » en France (sur 36 000), qui disposent de forêts communales.

¹¹⁴ Très pragmatiquement, le ministère de l'Industrie affichait le cours moyen de ce « produit illégal » sur son site : <http://www.industrie.gouv.fr/cgi-bin/industrie/frame0.pl?url=/energie/sommaire.htm>

Le tableau ci-dessous compare les données économiques du secteur des chaufferies « domestiques » (chauffages individuels d'un logement selon la terminologie fiscale) et de celui des chaufferies collectives des logements et du tertiaire.

Notons ici que **des cas d'» importations » de bois de chauffage** sont apparus récemment en France en provenance de pays européens à faibles charges sociales.

Tableau 10. Déterminants de la consommation du bois de chauffage en 1999.

	Chauffage « domestique »	Chauffage collectif
total marché du chauffage du secteur Mtep finales /an	18 Mtep/an logements individuels + 7 Mtep/an logements collectifs	18 Mtep/an
part du bois sur le marché du secteur Mtep finales /an	7,2 Mtep/an logement individuel + 0,3 Mtep/an logement collectif	0,15 Mtep/an
part du bois en « énergie utile » du secteur (équivalent 5 Mtep utiles /an)	environ 20 %	moins de 1 %
répartition géographique	plutôt rural et petits villes	urbain grandes villes
énergies concurrentes	fioul (peu de gaz disponible)	fioul, gaz (toujours disponible)
organisation actuelle de la « production-distribution »	auto-organisé sur un « plan local »	inorganisé (très petit marché)
fiscalités sauf la TVA (dont charges sociales)	défiscalisé totalement sur 95 % du marché « domestique »	Fiscalisé, y compris charges sociales
TVA	5,5 % sur « usages domestiques » du « marché légal »	18,6 %, sauf sur logement social

Sur la base de 410 €HT/tep pour le gaz et 380 €HT/tep¹¹⁵ pour le fioul (valeur 1999, moyenne 20 \$/baril) et de 5 Mtep/an substituées, on arrive à **une valeur économique de l'ordre de 2 milliards €HT par an.**

Mais, dans les comptabilités publiques (INSEE, ministères chargés de la Forêt, des Bâtiments, de l'Industrie) sa valeur économique¹¹⁶ est estimée à 100 millions €an seulement. Cette absurde sous-évaluation tient à son système de production parallèle, qui échappe à la comptabilité publique. Le secteur de « marché légal » semble représenter environ 5 % du total.

On constate une différence fondamentale entre :

- un florissant marché « domestique », où la production et la distribution s'auto-organisent, et qui échappe aux taxations diverses du fait de ses circuits d'autoproduction ou de marché informel ;
- un marché presque inexistant pour le « chauffage collectif » (tertiaire et logements).

12.3 Une situation peu évolutive en 2005.

On a vu que le développement du bois de chauffage prévu par le *Programme national de lutte contre le changement climatique* [4] était particulièrement modeste, 400 000 tep/an à l'horizon 2010. Les seules actions prévues étaient :

- la promotion de chaudière à meilleurs rendements dans le chauffage individuel,

¹¹⁵ La valeur HT est donnée ici hors TVA, TIPP et taxes annexes.

¹¹⁶ En fait, seul le bois vendu dans le circuit normal est comptabilisé, soit moins de 10 % du total. A contrario, le ministère chargé de l'Industrie affiche tout à fait officiellement dans d'autres statistiques une consommation de bois de chauffage de l'ordre de 8 Mtep).

- une baisse de la TVA à 5,5 % pour les usages collectifs,
- le retour à la TVA à 5,5 % sur les abonnements des réseaux de chaleur (supprimée en 1995),
- le développement dans le chauffage collectif.

Dans le chauffage individuel, la situation a évolué, mais très lentement. En 2004, selon l'ADEME¹¹⁷, on aurait installé :

- 170 000 inserts (ce marché se développe un peu, + 5 %/an),
- 70 000 poêles à bois (ce marché se développe, + 10 %/an)
- 2 000 « cuisinières-poêles »,
- et **seulement 8 000 chaudières** (ce marché stagne ou régresse).

Les appareils de chauffage au bois vendus sur le marché français ont le plus souvent un rendement très médiocre, notamment les « inserts ». Ces appareils font l'objet d'une réglementation minimale, due aux nombreux incendies qu'ils ont provoqués, mais sans aucune norme de rendement énergétique.

De bons appareils existent, sur les marchés de l'Europe du Nord notamment. Ici encore, la nécessité de réglementer la qualité (les rendements) des appareils est la seule voie de progrès.

C'est évidemment une mesure à coût négatif, avec quelques réserves. Le processus de « rénovation naturelle diffuse » des chaudières et inserts au bois serait le premier à mobiliser. Mais, il serait probablement intéressant de le compléter par une action plus volontariste pour éliminer les appareils les plus médiocres avant la fin naturelle de leur vie¹¹⁸.

La réussite d'une telle action équivaut en fait à un gain de 3 à 4 millions de tep/an, qui représente la différence entre la production de 9 Mtep/an avec les équivalences officielles et l'estimation des combustibles fossiles effectivement substitués de 5 à 6 Mtep/an.

Deux labels « Flamme verte » ont été mis en place récemment avec les organes professionnels, l'un pour les chaudières (avec le GFCC), le second pour les autres appareils (Syndicat des Energies Renouvelables)¹¹⁹.

Un label « Bois de chauffage NF » couvre une très petite production, mais on espère son développement.

Pour 2005, un crédit d'impôt de 40 % est prévu pour les nouvelles installations (sous réserve de performances minimales).

La promotion des « chaudières », seules à avoir un rendement correct – le label « Flamme verte » n'exige pourtant d'elles que 65 % -, ne semble pas en bonne voie. Les inserts, plutôt objets ludiques que moyens de chauffage (rendement de 40 à 50 % pour les meilleurs), sont les seuls à être à la mode

En 2005, les actions prévues dans le chauffage collectif sont loin d'être réalisées :

- la baisse de la TVA pour les usages collectifs n'est pas prévue pour le budget 2005,
- la baisse de TVA sur les abonnements des réseaux de chaleur n'est pas prévue pour le budget 2005,
- le programme prévu pour le chauffage collectif ne sera certainement pas atteint en 2010.

¹¹⁷ Source : M. Pouet, chef du projet Bois-Energie, ADEME.

¹¹⁸ De bons prétextes écologiques existeraient pour imposer une rénovation accélérée. En effet, les émissions de polluants des chauffages au bois actuels sont importantes, dont des dioxines qui représenteraient 1 000 à 10 000 fois les émissions totales des usines d'incinérations...

¹¹⁹ La scission des organismes professionnels entre les chaudières et les autres matériels est sans doute significative.

Le programme du *Programme national de lutte contre le changement climatique* dans le chauffage collectif de 400 000 tep/an, déjà peu ambitieux, a été formalisé par un « *Programme Bois-Énergie 2002-2006*¹²⁰ » visant à économiser environ 200 000 tep/an en 2006 (plus 100 000 tep/an dans l'industrie), soient 40 000 tep/an. Ce programme est piloté par l'ADEME et relayé par les régions dans le cadre des contrats de plan État-Régions [25] et des subventions européennes.

L'Office National des Forêts participe à cette politique, notamment par la mise en place récente d'un réseau de conseillers agissant auprès des 11 000 « communes forestières ». Il s'agit là d'un changement d'attitude notable, sa politique antérieure étant très réticente, compte tenu du lobbying des industries papetières.

Or, le rythme de réalisation, avec 250 chaufferies collectives représentant 20 000 tep/an en 2002, stagnait toujours en 2004 à 250 chaufferies collectives (logement et tertiaire) pour un total de 80 MW et 20 000 tep/an.

La puissance¹²¹ moyenne des chaufferies réalisées est très faible, 320 kW, soit une quinzaine de logements, une piscine ou un bâtiment tertiaire de 1 500 m². Ce sont essentiellement de petits équipements municipaux, dans des « communes forestières », plus de petits ensembles.

Il n'y a pratiquement pas de nouveaux « vrais » réseaux de chaleur au bois.

Les subventions à l'investissement pour des chaufferies collectives (programmes ADEME) disposent d'un budget très faible, environ 13 millions € par an, à comparer aux 250 millions € par an consacrés à la production de 300 000 tep/an de « biocarburants »¹²².

À ce rythme de 20 000 tep/an, il faudra 400 ans pour utiliser les 8 Mtep/an disponibles actuellement !

12.3 Comment développer le marché du bois ?

La figure ci-dessous illustre les conditions de concurrence des trois énergies sur la base d'un prix du pétrole de 20 \$/baril, qui explique l'existence d'un secteur auto-produit et informel.

Le fioul paie en plus de la TVA une TIPP, et le coût du bois « marchand » est décomposé entre la TVA, les charges sociales et un coût brut de production. On a indiqué une idée des coûts de mise en œuvre, sans tenir compte de l'amortissement de la chaudière (qui avantagerait encore le gaz) :

- gaz : amortissement du coût de branchement,
- fioul : amortissement de la cuve, agios (le fioul est payé à la livraison contrairement au gaz, et la livraison correspond à une saison de chauffe),
- bois : stockage, agios, main d'œuvre de manutention du bois et décendrage.

¹²⁰ Voir par exemple « *Le Programme Bois-énergie* » in *La lettre de l'ADEME*, n°89, décembre 2002 [8]. ou www.ademe.fr et www.itbe.org

¹²¹ Il s'agit de la puissance de la chaufferie au bois, qui est généralement complétée par une chaufferie d'appoint à combustible classique.

¹²² Le lobby des céréaliers est autrement plus puissant, plus organisé que celui des propriétaires de forêts.

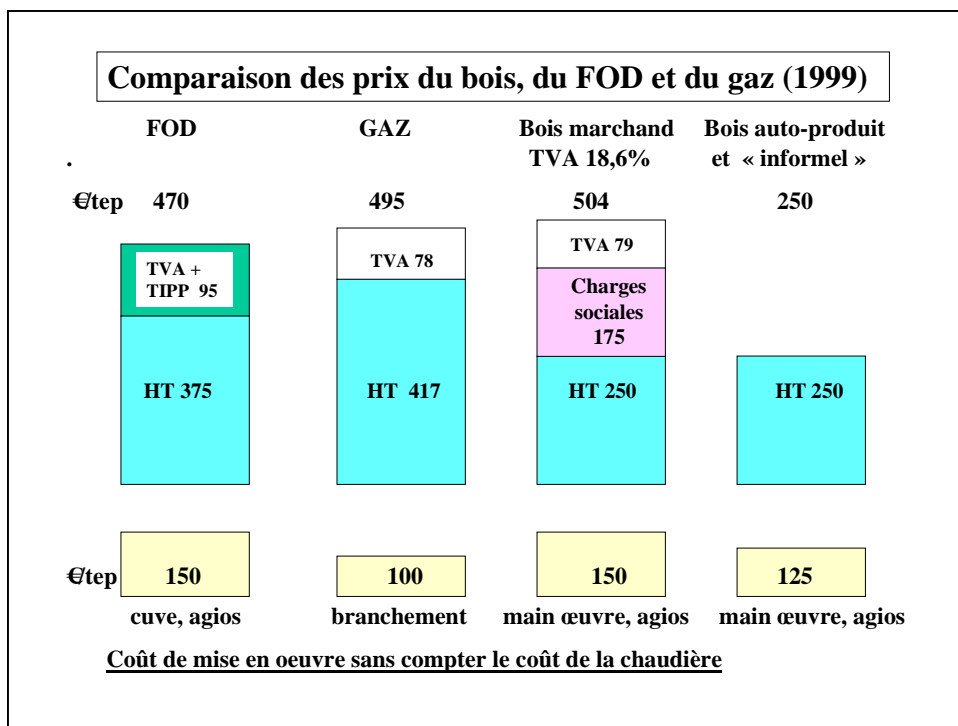


Figure 16. La compétitivité du bois de chauffage face au fioul (FOD) et au gaz (baril à 20 \$).

On constate que le « **prix Hors Taxes et charges sociales du bois** » est inférieur à celui du gaz et du fioul : **250 €tep** contre **417** et **375 €tep** respectivement.

On comprend bien la persistance économique de ce « marché » lié aux auto-producteurs, aux affouagistes et à leurs clients « individuels » du marché informel de proximité (qui ne demandent pas de facture).

Le vrai problème est que ce « marché » est probablement actuellement saturé et repose sur des comportements de production qui ont tendance à disparaître (auto-production, affouages).

Dès qu'il y a facturation, pour une copropriété, un immeuble tertiaire ou un réseau de chauffage, ou que le bois doit faire l'objet d'un transport long, le marché informel devient exclu.

La seule voie de développement de ce marché est donc de le subventionner. La manière importe peu : TVA réduite, aides agricoles, exonération de charges sociales, etc.

Les aides nécessaires pour rendre le « prix du bois commercialisé normalement » compétitif vis-à-vis du fioul (et du gaz naturel) représentent de 100 à 150 €tep, soit **125 à 200 €tonne de carbone fossile non émise** selon l'énergie substituée.

Si les prix élevés actuels du pétrole se maintiennent dans l'avenir, les diminutions d'émissions de carbone fossile par utilisation du bois deviendront particulièrement compétitives en terme de prix.

Un autre élément à prendre en compte ici est l'importance des externalités positives du développement d'un tel « secteur producteur d'énergie » : aménagement du territoire par le maintien d'activité dans des zones peu peuplées, prévention des incendies de forêt, emploi national, balance des comptes, indépendance énergétique, etc. Elles sont de nature à diminuer les aides ci-dessus.

Rappelons ici que les décisions visant à abaisser la TVA à 5,5 % sur le bois et sur l'abonnement des réseaux de chaleur, prises dans le *Programme de lutte contre le changement climatique* de 2000 [4], ne sont toujours pas appliquées.

Signalons enfin deux problématiques du marché actuel du bois¹²³ :

- 1 La « *concurrence déloyale du gaz* » dans le collectif des petites villes rurales (où le bois est le moins cher). Les « subventions » accordées par GDF aux « nouveaux clients » (sous diverses formes) sous un contrôle théorique du ministère chargé de l'Industrie sont de 750 à 1 500 €/logement. Elles suffisent en pratique à annuler les 100 €/tep de coût de mise en œuvre du gaz.
- 2 La « *concurrence déloyale de l'électricité dans les zones rurales peu denses* » résulte du mécanisme de la péréquation des tarifs, qui aboutit à des subventions cachées « contre les énergies renouvelables ». Cet effet, limité auparavant, se développe avec le phénomène de « rurbanisation¹²⁴ ».

Le développement du bois de chauffage ne peut pas se faire uniquement dans le secteur « domestique ». Il faut absolument qu'il touche le chauffage collectif (immeubles et réseaux de chaleur), où il est peu répandu actuellement.

La présence de main-d'œuvre nécessaire à l'utilisation du bois, ainsi que la nécessité de le stocker, limite son utilisation à des chaufferies importantes. Il paraît dans ces conditions évident que les chaufferies collectives de logements et grosses chaufferies tertiaires seront insuffisantes pour absorber des quantités importantes de bois. **Le développement des réseaux de chaleur est une condition sine qua non pour utiliser le bois de chauffage** (et les énergies renouvelables en général).

Mentionnons un avantage particulier du bois dans les réseaux de chaleur : sa facilité de stockage. En effet, les besoins des réseaux de chaleur se réduisent l'été à la seule eau chaude sanitaire. Or beaucoup d'énergies renouvelables ne sont pas stockables (déchets, géothermie, cogénération) et couvrent la « base » des besoins, une autre énergie (fossile) fournissant les pointes en hiver. Le bois intervient donc (aussi) en substitut de ces « énergies de pointe » fossiles.

13 La promotion des technologies connotées « écologiques ».

13.1 Un « *affichage bruyant* » *cachant des ambitions très modestes.*

La politique de l'énergie propose depuis longtemps un large usage de technologies de chauffage comme les chauffe-eau solaires et les pompes à chaleur sur nappe phréatique (ou eau libre). Elles bénéficient d'un préjugé favorable car elles ne produisent pas de CO₂ (encore que l'origine de l'électricité utilisée dans les pompes à chaleur pose problème).

Toutefois, on constate que le *Programme de lutte contre le changement climatique* de 2000 comportait en fait une dose infinitésimale de ces technologies : les objectifs se comptent en dizaines de milliers de tep/an en 2010 et non en millions de tep/an.

Ces techniques sont loin d'être nouvelles : elles ont fait l'objet de divers programmes d'aide publique ambitieux durant la crise de l'énergie de 1973-1986. Leurs résultats sont restés confidentiels en volume, malgré de fortes subventions, tant elles étaient généralement coûteuses pour l'acheteur.

¹²³ La sévérité de ces critiques n'est pas la nôtre : voir « *La maîtrise de l'énergie. Rapport de l'instance d'évaluation* » [1], du Rapport Martin [1], chapitre 6, qui n'hésite pas à employer l'expression « *concurrence déloyale* » à plusieurs reprises sur ces deux sujets.

¹²⁴ Installation en zone rurale d'actifs travaillant en fait dans une ville voisine. Ils conservent souvent des pratiques urbaines, et notamment le type de maisons individuelles des banlieues, dont certaines à chauffage électrique.

Un caractère économique très général de toutes ces technologies est qu'ils reposent sur l'articulation suivante :

- l'investissement initial consenti est très élevé,
- pour utiliser une énergie à coût nul (rayonnement solaire, chaleur des nappes phréatique),
- en consommant peu d'énergie accessoire (pompages d'air ou d'eau, compresseurs des pompes à chaleur).

La durée de vie de ces équipements est donc la question fondamentale. Or, l'expérience a montré que les technologies employées sont souvent fragiles, et la durée de vie réelle de ces équipements est apparue beaucoup plus courte que ce que l'on annonçait à l'époque. D'où un effondrement des marchés des chauffe-eau solaires et pompes à chaleur au cours des années 1980. La question reste entière, même si l'on peut penser que des progrès ont été réalisés.

L'équilibre économique dépend évidemment du coût de l'énergie substituée. Pour les prix actuels de l'énergie (même en 2005), comme actuellement, l'équilibre pour l'acheteur n'est pas réalisé. D'où la mise en place de subventions importantes pour promouvoir ces équipements (40 % en 2005).

D'un point de vue collectif, l'évaluation de ceux-ci a montré que le coût généralisé de la tonne de carbone fossile économisé dépasse souvent les 1 000 €/teC. Pourtant, des actions de ce genre réapparaissent dans les programmes récents comme le *Programme national de lutte contre le changement climatique* de 2000.

L'explication de la prise en compte de telles politiques réside dans deux éléments :

- **il existe certaines « niches » mieux équilibrées économiquement (ou même rentables) pour ces matériels :**
 - par exemple le « chauffe-eau solaire simplifié¹²⁵ » utilisé l'été de façon intensive (piscine publique) ou dans des zones à électricité coûteuse (DOM-TOM, zones rurales peu denses) ;
 - la pompe à chaleur pour un bâtiment très chauffé (maison de retraite, piscine) en climat très froid (nord et est de la France).
- la forte connotation « écologique » de ces actions.

13.2 Une place très limitée dans l'avenir ?

Est-ce que ces technologies sont appelées à se développer ?

La réponse est clairement négative. En effet, elles ne sont actuellement équilibrées économiquement que dans des niches très restreintes.

Dès que l'exigence principale deviendra de promouvoir l'efficacité économique, les niches actuelles s'élargiront un peu. Mais, elles resteront très limitées.

On a examiné le cas du chauffe-eau solaire pour la production d'eau chaude sanitaire utilisé pour les logements en France. On a vu que, même en cas de hausse très forte des prix de l'énergie (gaz et fioul), le chauffe-eau solaire ne peut pas devenir compétitif.

Il en va de même des « pompes à chaleur géothermales », dont on espère un « renouveau » après les

¹²⁵ Contrairement aux chauffe-eau utilisés l'hiver, à vitrage, calorifugés à l'arrière et inclinés sur un bâti car le soleil est bas, ces chauffe-eau simplifiés, utilisés l'été ou dans les DOM-TOM, sont posés à plat sans vitrage ni calorifuge. Ils n'exigent pas de dispositif hors-gel qui demande un contrôle complexe. Leur coût est de l'ordre du tiers de celui des chauffe-eau d'hiver. De plus, dans les DOM-TOM, le chauffe-eau électrique, très répandu, utilise une électricité chère, issue de combustibles fossiles et lourdement subventionnée.

échecs des années 1975-1985¹²⁶.

14 L'industrie du bâtiment et des travaux publics.

Elle consomme environ 10 millions de tep par an. La plus grande partie de cette consommation relève du domaine industriel. Des politiques spécifiques d'incitations aux économies d'énergie pourraient y être menées en parallèle avec celles concernant les autres industries.

On peut y relever deux problématiques principales :

- l'antinomie entre les économies propres aux process des industries et celles dues à leur produits,
- la construction en bois.

La Commission européenne essaye d'imposer à ces industries de diminuer leur consommation propre, mais se désintéresse de favoriser la généralisation des « meilleurs produits ». Le cas des producteurs de vitrages sommés de diminuer à grand frais la consommation de leur process, alors que rien n'est fait pour imposer les « vitrages à isolation renforcée » à « coût négatif » est tout à fait emblématique [44].

Environ 1 million tep/an (sur 10) sont consacrés à la fabrication des matériaux de structure, acier, béton et de certains matériaux de parement (plâtres, enduits) que l'on peut remplacer par du « **bois de construction** ». L'utilisation du bois dans la construction des bâtiments et des ouvrages d'art fait partie des programmes français de lutte contre le changement climatique. Elle permet deux types d'actions :

- d'économiser l'énergie nécessaire lors de la fabrication des matériaux remplacés,
- de stocker temporairement le carbone retiré de l'atmosphère par la photosynthèse menant au bois.

Le Protocole de Kyoto n'a pas pris en compte le stockage du carbone. Cette querelle internationale n'est toujours pas vidée. À très long terme, le stockage du carbone dans les bâtiments n'a effectivement aucun intérêt, car les constructions en bois finissent par être détruites et deux cas se présentent alors :

- le bois de démolition est alors valorisé comme énergie, mais au détriment d'une autre énergie renouvelable disponible à ce moment là ;
- le bois de démolition est brûlé, livré aux bactéries, aux champignons et aux termites dans une décharge et son carbone retourne plus ou moins vite à l'atmosphère.

On peut quand même retenir cette action dans une optique de lutte à moyen terme contre le changement climatique.

Or, le secteur de la construction en bois est particulièrement peu développé en France.

Pourtant, la ressource de production de bois semble assurée, mais on doit d'emblée constater que ce secteur utilise surtout des bois importés, moins chers que la production nationale.

Le *Programme national de lutte contre le changement climatique* mentionne ce type d'action, mais sans chiffrer d'objectif. Il prévoit des « actions de promotion, actions de recherche-développement, financements sur le budget public de "réalisations exemplaires" ». Un accord volontaire pour utiliser plus de bois a été passé, sans grande illusion, avec les professions du bâtiment et des travaux publics. C'est clairement

¹²⁶ Voir *Le renouveau des pompes à chaleur géothermales*, in La lettre de l'ADEME, n°90, février-mars 2003, [20]. Cet article optimiste se garde toutefois de donner des chiffres précis. Il y aurait eu « 5 000 unités vendues en France en 2002 ».

renvoyer ces actions à l'après 2010.

Des études comparatives avec des pays étrangers [26] où la construction de logements en bois est répandue (USA ou Nord de l'Europe par exemple) montre que **le coût d'une telle politique est négatif** lorsque le marché est bien développé. En clair, le prix de revient d'un logement individuel en bois typique dans le contexte de l'industrie du bâtiment des USA est nettement inférieur à celui du logement individuel « en dur » correspondant en France ou aux USA. À ce coût déjà négatif il faut ajouter la valeur du stockage temporaire de carbone atmosphérique.

Toutefois, le petit secteur français actuel des logements individuels en bois fait apparaître des surcoûts importants, évidemment dus à la différence des contextes industriels¹²⁷. Il apparaît donc que **le coût à la tonne de carbone fossile économisée est négatif dans les pays qui pratiquent largement ce type de construction**, mais est positif dans des marchés très étroits comme le marché français. L'évaluation de l'évolution des coûts des tonnes de carbone fossile économisé dans un scénario de développement du marché n'a pas été faite à notre connaissance. Il est cependant fort probable que ce coût est faible (voire négatif), les coûts négatifs à terme compensant largement les coûts consentis pour le développement du marché.

Le problème apparaît donc comme relevant essentiellement d'une politique économique et non d'avancées technologiques. Les arguments de type sociologique, sur les « différences de goût » et de comportement des acheteurs français en général (ils voudraient que le bâtiment soit construit « pour durer ») par rapport à ceux d'autres pays ne sont en rien convaincants. En effet, l'offre française passée, extrêmement réduite et chère, n'a concerné qu'une frange riche de la population, laissant la majorité de celle-ci hors de ce marché. À de nouvelles données économiques correspondraient certainement des comportements très différents, proches de ceux des USA ou de l'Europe du Nord.

Imaginer des scénarios de développement de la construction en bois en France est difficile. On ne retiendrait que l'objectif de réaliser des économies d'énergie sur une partie des millions tep/an consacrés à la fabrication des matériaux de gros œuvre, sans prendre en compte le stockage temporaire du carbone atmosphérique : 200 000 à 300 000 tep/an (sur plus de 1 Mtep/an) serait un objectif raisonnable.

15 Quelques avancées technologiques non conventionnelles.

Cette revue des possibilités d'action dans le bâtiment n'a jamais fait état de technologies à développer, mais uniquement de technologies bien connues mais trop peu employées au profit de techniques obsolètes. On a d'ailleurs vu que les coûts du carbone fossile économisé sont le plus souvent négatifs.

Le cas des bâtiments neufs a montré que l'impact de nouvelles technologies à venir dans la construction, l'isolation et le chauffage serait vraisemblablement très faible.

Les grandes innovations à venir ne peuvent donc concerner que la production d'énergie de chauffage et/ou d'électricité. On peut en indiquer quelques-unes considérées comme les plus prometteuses à long terme. Toutes sont basées sur des techniques ayant fait l'objet de recherche-développement depuis un certain temps, et de réalisation de prototypes.

La petite cogénération avec des piles à combustible stationnaires alimentées au gaz naturel [42], avec un meilleur rendement que les groupes électrogènes à moteur actuels, ou que les turbines à gaz naturel, permettrait de s'affranchir des contraintes de la cogénération lourde et du coût d'une partie des réseaux de

¹²⁷ L'analyse montre des différences considérables sur chaque point de la filière : techniques de construction, production des bois de charpente, normalisation des éléments, réseau de distribution, type d'entreprises, localisation des entreprises, etc.

chaleur.

La récupération de la chaleur émise par les usines nucléaires a été étudiée depuis longtemps. Un groupe de travail a fonctionné sur ce thème vers 1977-1980. Il était envisagé d'alimenter l'agglomération parisienne à partir d'usines nucléaires alors en construction. Quelques installations de récupération sur la chaleur nucléaire existent en France¹²⁸ et ailleurs. L'extension de cette filière avec la reprise du développement de la production d'électricité nucléaire est probable.

Le réseau de chaleur alimenté par une pile nucléaire sans cogénération a fait l'objet de rares expériences : il en a existé un en ex-Union soviétique. Les avantages par rapport à la filière précédente tiennent à la suppression des contraintes liées à la production d'électricité, notamment celle des températures élevées de fonctionnement, ce qui devrait alléger considérablement les coûts de l'usine nucléaire et renforcer sa sécurité. Le rendement en chaleur « utile » devrait être de plus du double de celui du chauffage électrique actuel par la filière « chaleur nucléaire, production d'électricité, transport, radiateur ou convecteur électrique » (qu'on estime à environ 30%).

La production de froid à partir de chaleur par « absorption » chimique est connue depuis longtemps (elle a même précédé le cycle évaporation-compression-liquéfaction utilisé actuellement). Il est techniquement possible d'utiliser de la chaleur fournie par un réseau de chaleur pour des fonctions de climatisation des bâtiments. Cela permettrait l'utilisation en été de certaines énergies renouvelables non stockables (déchets, bois, cogénération).

¹²⁸ Ce ne sont pas des réseaux de chaleur pour des bâtiments, mais pour des installations agricoles (élevage, serres).

16 Conclusions.

16.1 Récapitulation des actions.

Il est difficile de donner des « gisements d'économie d'énergie » dans un certain nombre de cas pour la raison que nous avons indiquée à de nombreuses reprises : il s'agit d'accélérer l'utilisation des « meilleures technologies » existant déjà lors des « rénovations naturelles ». Les « temps de réaction » sont très variables : on change les lampes tous les 2 ans, les chaudières tous les 20 à 40 ans, les vitrages tous les 80 ans, etc. Il serait illusoire de détailler des scénarios de pénétration plus ou moins rapide de ces technologies sur les marchés. On se contentera dans ce cas d'indiquer les consommations actuelles de ce type de matériels ou de composants des bâtiments et le gain jusqu'en 2040 lors de l'adoption de la « meilleure technologie ».

On a récapitulé les types d'actions dans le tableau ci-après.

Tableau 11. Récapitulatif des gains à 2040 des mesures examinées.

Actions	Consommation Mtep/an	Gain par rénovation naturelle Mtep/an	Temps retour ans	coût €tonne de carbone	Gisement meilleures technologies Mtep/an
Meilleures technologies lors des rénovations naturelles					
vitrages huisseries	18	3	1 à 2	négatif	0,5 à 1
chaudières chauffe-eau	45	4	1 à 2	négatif	3
toits et façades	18	2	5	négatif	0,5
éclairage	4	?	< 1	négatif	>2
pompes de chauffage	3	?	3 à 5	négatif	1
autres électricité spécifique	20	?	1 à 5	négatif	5 à 10
Bois chauffage individuel, collectif	6			125/200	8 à 12
Autres ENR que bois en réseau chaleur	1			< 200	3 à 5
Anticiper changement chaudière	5 ?			0 à 500*	
Anticiper changement vitrages	10			800/1 000	
Anticiper rénovation façades toits	30		> 30	1 200/3 000	
Chauffe-eau solaire, pompe à chaleur		0,2		> 1 000	
Construction en bois (marché établi)	1/an			Négatif	?

* Selon le rendement de départ (au moins inférieur à 70%).

En conclusion, on peut regrouper les actions à long terme sous trois thèmes : les actions sur les renouvellements des composants des bâtiments, l'électricité spécifique et le chauffage au bois.

16.2 Pour une stratégie prioritaire de réalisation des actions à coût négatif.

Le secteur des bâtiments devrait être la pièce maîtresse de la politique française de lutte contre le changement climatique, car il représente près de 50 % des consommations dès lors que l'industrie a déjà été largement traitée.

La priorité stratégique sera donnée aux très nombreuses « actions à coût négatif » qui ne demandent que de prendre des mesures réglementaires déjà appliquées dans divers pays européens. L'urgence d'une décision est à souligner, la durée de vie des « mauvais matériels » implantés entre temps dépassant souvent 30 à 50 ans.

16.3 Le bois et les réseaux de chaleur en « substitution ».

Le bois de chauffage représente déjà près 12 % de la demande de chauffage et ECS actuelle. Son développement se ferait nettement au dessous du coût de l'énergie importée. Mais, l'exigence actuelle de percevoir des charges sociales sur ce secteur (et une TVA à taux normal) ont limité ce marché à l'autoconsommation et au marché informel. Le gisement est considérable : 8 à 12 Mtep/an.

Les réseaux de chaleur utilisant des énergies renouvelables (déchets, géothermie, biomasse) ou la cogénération, offrent des possibilités de gains d'émission de carbone fossile à des coûts encore modérés.

16.4 L'électricité spécifique.

La promotion de matériels économes en électricité spécifique est fondamentale.

Elle passe par une « réglementation européenne » à peine esquissée aujourd'hui (voir 8.2 ci-dessus). Celle-ci progresse extrêmement difficilement.

La France a été jusqu'à présent un des principaux opposants à une telle politique européenne.

16.5 Les besoins en technologies nouvelles et la recherche.

Le *Programme national de lutte contre le changement climatique* fait souvent référence à des « besoins de recherche-développement » tout en reconnaissant que « le marché des appareils concernés est très largement européen¹²⁹ ». Or, les trois points évoqués ci-dessus, sur les matériels et composants, l'utilisation du bois et celle des autres ENR en réseaux de chaleur sont tous basés sur des technologies connues et déjà pratiquées ailleurs plus largement qu'en France.

Dans le cadre du PREBAT, un programme spécifique concernant l'énergie dans les bâtiments pourrait s'appuyer sur les principes suivants.

Les études de type socio-économique sur les blocages empêchant d'utiliser les technologies les plus performantes dans les immeubles existants paraît la première priorité à assigner au PREBAT.

Une première tentation à éviter est de privilégier les techniques utilisables uniquement dans les bâtiments neufs. À ce titre les « bâtiments à énergie positive » et autres « concept buildings » devraient résolument être renvoyés à un programme séparé, avec d'autres instances de financement.

La priorité est d'assurer l'utilisation des techniques « à coût négatif » connues dans les bâtiments existants.

Une deuxième tentation à éviter est celle du colbertisme industriel qui, outre qu'il n'a plus de raison d'être dans l'Union européenne, est source de retards et d'inefficacité. En effet, on se prive d'économies d'argent (et de carbone émis) immédiates en attendant le développement d'une hypothétique « offre française de matériels »¹³⁰.

¹²⁹ Il s'agit ici des appareils électriques, mais cette constatation vaut pour les composants et chaudières de tous types.

¹³⁰ On peut penser, sous réserve de plus amples investigations, à des tendances de ce type dans certaines

La troisième tentative à éviter est de séparer l'électricité dans les bâtiments du chauffage des bâtiments et de la préparation d'eau chaude sanitaire. Nous avons vu que c'était le cas du *Programme national de lutte contre le changement climatique*.

Cela passe donc par **une première approche sociologique et organisationnelle** (et non par de la recherche-développement technique) portant sur les points suivants :

- connaissance et comparaison critique des matériels utilisés sur le marché français (chaudières notamment),
- connaissance des pratiques, technologies et matériels performants en Europe (et plus largement dans le monde),
- comparaison internationale (bench-marking) des moyens employés pour assurer la suprématie de technologies performantes dans les pays les plus avancés¹³¹ sur tel ou tel sujet,
- repérage et traitement des freins à la diffusion des techniques les plus performantes.

Ces études couvriraient les principaux secteurs de consommation actuels suivants :

- chaudières de tous types, y compris au bois (et autres ENR),
- vitrages et huisseries,
- tous les matériels consommant de l'électricité spécifique,
- les dispositifs économisant l'eau chaude sanitaire et l'eau en général.

Deux types d'usages importants semblent présenter un déficit en termes de matériels performants :

- les pompes de chaudières,
- les modes de préparation de l'eau chaude sanitaire,
- la climatisation.

Le développement de la substitution pour le chauffage (et la production d'ECS) par le bois, la géothermie, la cogénération et les autres énergie renouvelables passant par les réseaux de chaleur devrait faire l'objet :

- d'études économiques d'ensemble, séparant néanmoins nettement les domaines des bâtiments et de l'industrie (dont les modalités d'utilisation de la cogénération ou des ENR sont très différentes),
- de la mise en place de politiques d'envergure, rompant avec les modestes actions actuelles.

La recherche-développement à plus long terme sur l'énergie dans le domaine des bâtiments devrait se concentrer sur des matériels qui n'existent pas sur les marchés, sauf à l'état de prototypes :

- piles à combustible en cogénération alimentant des réseaux de chaleur,
- applications modernes du froid obtenu par absorption,
- chauffage par pile nucléaire sans cogénération, etc.

actions actuelles (inserts au bois, par exemple).

¹³¹ Les points d'excellence ne sont évidemment pas tous rassemblés au même endroit.

ANNEXES

Bibliographie – Références.

- [1] *La maîtrise de l'énergie, rapport d'évaluation*, Instance d'évaluation présidée par M. Yves Martin, Conseil général des Ponts et chaussées, Comité interministériel de l'évaluation des politiques publiques, Commissariat général du Plan, 1998, édition La documentation française.
- [2] Note d'orientation collective pour l'atelier 1 du PREBAT, *Quelle stratégie de recherche-développement pour agir sur l'existant ? Quelles filières technologiques et professionnelles développer ?* Décembre 2004, document de travail non publié).
- [3] *La consommation d'énergie à usage domestique depuis quarante ans. Électricité, numéro un dans les foyers*, revue « INSEE première », numéro 845, mai 2002.
- [4] *Programme national de lutte contre le changement climatique 2000/2010*, Premier ministre, Mission interministérielle de l'effet de serre, 2000.
- [5] Série : *Maîtrise de l'énergie, Bilan année N, Attitudes et comportements des particuliers*, ADEME.
- [6] *Manuels du Groupe permanent d'étude des marchés de Chauffage-Climatisation (GP/CC)*
- CCTG¹³² *Marchés publics de travaux d'installation de génie climatique*. N°2015, 1991.
 - CCTG *Marchés d'exportation chauffage*. N°2008, 1991.
 - *Combustibles liquides « Fiouls »*, 1989.
 - *Travaux de maîtrise de l'énergie avec garantie de résultat et exploitation des installations*. N°5601, 1989.
 - *Réseaux de distribution de chauffage à eau chaude*. N°5605, 1988.
 - *Installation de système de chauffage à haut rendement*. N°5606, 1990.
 - *Guide pour l'utilisation du bois comme source d'énergie destinée au chauffage des bâtiments publics*. N°5607, 1992.
 - *Conception, réalisation, exploitation des réseaux de chaleur*. N°5705, 1993.
- [7] *La réhabilitation de l'habitat social, rapport d'évaluation*, Instance d'évaluation présidée par M. René Rossi, Conseil général des Ponts et chaussées, Comité interministériel de l'évaluation des politiques publiques, Commissariat général du Plan, 1993, édition La documentation française.
- [8] *Réhabilitation, un marché sûr pour les entreprises*, page 19, et *Dossier Réhabilitation*, pages 66 et suivantes, in *Le Moniteur*, n°4969, 19 février 1999.
- [9] *Le Recknagel, manuel pratique du génie climatique*, PYC édition.
- [10] *Evaluation de la réglementation thermique de la construction de logements*, Paziaud SA et Cabinet Bernard, Annexe 20 à « La maîtrise de l'énergie, rapport d'évaluation » non publiée, disponible au Commissariat général du Plan.
- [11] *Contrôle par l'Etat de l'application de la réglementation thermique de la construction d'immeubles d'habitation*, François Ulivieri, Conseil général des Ponts et chaussées, Annexe 21 à « La maîtrise de l'énergie, rapport d'évaluation » non publiée, disponible au Commissariat général du Plan.

¹³² CCTG : *Cahier des clauses techniques générales*.

- [12] *Coût et impact de la réduction d'impôt sur le revenu en faveur des économies d'énergie*, Vincent Lidsky, Inspection générale des Finances, Annexe 23 à « *La maîtrise de l'énergie, rapport d'évaluation* » non publiée, disponible au Commissariat général du Plan.
- [13] *La réduction fiscale pour travaux dans les logements sur l'impôt sur le revenu, d'après l'analyse des déclarations de revenus de 1993*, SCORE, Annexe 24 à « *La maîtrise de l'énergie, rapport d'évaluation* » non publiée, disponible au Commissariat général du Plan.
- [14] *Evaluation de la réglementation thermique de la construction neuve tertiaire*, Cabinet TRIBU, Annexe 22 à « *La maîtrise de l'énergie, rapport d'évaluation* » non publiée, disponible au Commissariat général du Plan.
- [15] *Evaluation de la politique de maîtrise de l'énergie dans les bâtiments de l'Etat*, Olivier Sichel, Inspection générale des Finances, Annexe 25 à « *La maîtrise de l'énergie, rapport d'évaluation* » non publiée, disponible au Commissariat général du Plan.
- [16] *Evaluation de la politique de maîtrise de l'énergie dans le domaine des réseaux de chaleur*, Henri Legrand, Conseil général des Mines, Annexe à « *La maîtrise de l'énergie, rapport d'évaluation* » non publiée, disponible au Commissariat général du Plan, 1996.
- [17] Série : *Le compte du logement, Rapport à la commission des comptes du logement, Année N*, MELT-DAEI/DGUHC, édition Economica.
- [18] *Energie 2010-2020, les chemins d'une croissance sobre, avec ses 4 Rapports annexes*, Commissariat général du Plan, édition La documentation française, 1998.
- [19] *La demande potentielle de logements. L'impact du vieillissement de la population*, Revue INSEE Premier, N°875, éditeur INSEE.
- [20] *Le renouveau des pompes à chaleur géothermales*, in La lettre de l'ADEME, n°90, février-mars 2003.
- [21] G. Chemillier *Propositions d'actions relatives au renouvellement d'air (ventilation) dans le bâtiment*, Note pour le « Groupe de travail sur la ventilation », 1999.
- [22] *Habitat et développement durable. Les cahiers du CLIP (Club d'Ingénierie Prospective Énergie et Environnement)*, 70 pages, n°13 avril 2001.
- [23] *Le froid domestique. Étiquetage et efficacité énergétique. Les cahiers du CLIP (Club d'Ingénierie Prospective Énergie et Environnement)*, 91 pages, n°11 Décembre 1999.
- [24] *Analyse globale des consommations énergétiques : les leçons d'une démarche originale. « Du chauffage à l'ordinateur, attention, une consommation peut en cacher une autre ! »*. 6 pages, brochure du Cabinet Olivier Sidler, non datée.
- [25] *Étude expérimentale des appareils électroménagers à haute efficacité énergétique placés en situation réelle*, Cabinet Olivier Sidler, pour la Commission européenne (Programme SAVE N°4.1013/S/94-093) et l'AEME, janvier 1998.
- [26] *Développement de la construction bois en France*, Serge Lochu Consultants pour la Mission interministérielle de l'effet de serre, 3 volumes, juin 1997.
- [27] *Le programme Bois-Énergie*, in La lettre de l'ADEME, n°89, décembre 2002.
- [28] *Synthèse des campagnes de mesures sur les usages électriques spécifiques du secteur résidentiel*. Cabinet Olivier Sidler, pour la Commission européenne (Programme SAVE N°4.1031/93-58 et 4.1031/S/93-093), 31 pages, août 1997.
- [29] *Campagne d'économies d'électricité et suivi des consommations. Opération ECO-WATTS*, Association TPE Écologie, Convention DGEMP n°98.2.18.09.01, rapport final, 52 pages, juillet 1998.
- [30] *HLM, des solutions pour diminuer les charges*. Dossier réalisée par François Sagot *et al.* Le Moniteur, n°4983, 11 juin 1999.
- [31] Série : *Statistiques du syndicat national du chauffage urbain (SNCU)*, disponible auprès du SNCU.
- [32] *Gamme chauffe-bains, E.L.M. Leblanc*, une dizaine de brochures d'information distribuées en 2005, non datée. Nous avons consulté aussi les brochures de 1998.

- [33] *Etude de la contribution à long terme du secteur tertiaire au risque de changement climatique global*. Jean Baillon et al. Pour la Mission interministérielle de l'effet de serre, commande n°56/97, 56 pages, mars 1998.
- [34] *PREBAT. Un programme d'actions*. Note CSTB, 22 décembre 2004.
- [35] *Note de réflexion sur l'organisation du PREBAT*. Note de Alain Morcheoine, Ademe, 17 décembre 2004.
- [36] *Directive 2002/91/CE du parlement européen et du Conseil du 16 décembre 2002 sur la performance énergétique des bâtiments*. (JO 4/01/2003, pages 0065-0071).
- [37] *Restitution des résultats des études faites par le CEREN. : "Poursuite de l'amélioration de la connaissance statistique des consommations d'énergie dans les secteurs résidentiels et tertiaire en 2002"*, DGEMP, 8 juillet 2004.
- [38] *Les réseaux de chaleur, le service chaleur à domicile. Maîtrise de l'énergie et respect de l'environnement*. 99 pages, Ademe, octobre 1991.
- [39] *La géothermie, une énergie d'avenir*. 117 pages, Ademe et BRGM, 1998.
- [40] *Guide Éclairage*. 78 pages, Électricité de France, décembre 1997.
- [41] *Nouvelles technologies de l'énergie. Rapport*. Thierry Chambolle, Florence Méaux, 124 pages, 2004.
- [42] *À Chelles, la première pile à combustible chauffe 200 logements*. In revue *Chaud-froidplomberie*, n°624, mai 2000.
- [43] *Le marché des matériels de chauffage central : légère progression et amélioration de la performance*, Groupement des fabricants de matériels de chauffage central par l'eau chaude et de la production d'eau chaude sanitaire, février 2004.
- [44] Groupement Européen des Producteurs de Verre Plat (GEPVP), *Energy and Environmental Benefits from Advanced Double Glazing in EU Buildings*, Lettre à la Commission européenne, 2004.
- Pour les données statistiques voir : www.industrie.gouv.fr

Glossaire des sigles et abréviations

ADEME : Agence de l'Environnement et de la maîtrise de l'énergie.

ANAH : Agence nationale pour l'amélioration de l'habitat.

BTP : l'industrie du bâtiment et des travaux publics.

CDF : Charbonnages de France.

Cogénération : production combinée de chaleur et d'électricité.

DOM-TOM : départements et territoires d'Outre-mer.

ECS : eau chaude sanitaire.

EDF : Electricité de France.

ENR : énergies nouvelles et renouvelables.

GDF : Gaz de France.

GFCC : Groupement des fabricants de matériels de chauffage central par l'eau chaude et de la production d'eau chaude sanitaire.

GW : gigaWatt, 10^9 Watt.

GPL : gaz de pétrole liquéfiés (propane, butane et leurs isomères).

HT : hors taxes.

INSEE : Institut national de la statistique et des études économiques.

IRPP : Impôt sur le revenu des personnes physiques.

Kep : kilogramme équivalent pétrole.

M : « million de », par exemple dans Mtep = million de tep.

Mtep/an : million de tonne équivalent pétrole.

ONF : Office national des forêts.

PALULOS : Prime à l'amélioration des logements locatifs et à occupation sociale.

PREBAT : Programme de recherche et d'expérimentation sur l'énergie dans les bâtiments.

Sévérisation : néologisme communautaire pour « durcissement d'une norme ».

tep : tonne équivalent pétrole.

teC : tonne équivalent de carbone fossile émis.

TIPP : taxe intérieure sur les produits pétroliers.

TTC : toutes taxes comprises.

TWh : téraWattheure, 10^{12} Wattheure.

VIR : vitrages à isolation renforcée.

Tables des figures et des tableaux.

Table des figures.

Figure 1. Le secteur des bâtiments dans la consommation d'énergie totale	10
Figure 2. Ensemble des travaux sur les logements existants par type de propriétaires.....	15
Figure 3. Facteurs d'évolution du chauffage des logements.....	21
Figure 4. Évolution du chauffage des logements de 1975 à 1995.	23
Figure 5. Évolution du chauffage des logements de 1995 à 2020.	24
Figure 6. Évolution du chauffage des logements de 2020 à 2040.	24
Figure 7. Comparaison de deux scénarios d'évolution des normes énergétiques des logements neufs.....	27
Figure 8. Évolutions des consommations de chauffage des logements jusqu'en 2080.....	30
Figure 9. Cumul des évolution des consommations de chauffage des logements jusqu'en 2080.....	31
Figure 10. Evolutions de la consommation d'électricité spécifique jusqu'en 2040.	33
Figure 11. Croissance des émissions par secteurs sur 1990/2010 en l'absence de mesures nouvelles.....	40
Figure 12. Déperditions d'un logement.	47
Figure 13. Les « vitrages à isolation renforcée » économisent 2 fois plus de déperdition de chaleur que les « doubles vitrages » par rapport aux vitrages simples.	49
Figure 14. Une chaudière classique nécessite la « ventilation » de la pièce de chaufferie et des ramonages..	56
Figure 15. La chaudière « à ventouse » économise la ventilation de la pièce de chaufferie et les ramonages.	56
Figure 16. La compétitivité du bois de chauffage face au fioul (FOD) et au gaz (baril à 20 \$).	78

Table des tableaux.

Tableau 1. Évolution des consommations dans les bâtiments.	11
Tableau 2. Évolution des consommations par catégories de bâtiments jusqu'en 2040.	23
Tableau 3. Évolution du chauffage des logements jusqu'en 2080.....	30
Tableau 4. Mesures nouvelles dans le chauffage des bâtiments.....	41
Tableau 5. Mesures nouvelles dans le domaine de l'électricité spécifique des bâtiments.....	43
Tableau 6. Mode de chauffage individuel ou collectif dans les logements.	52
Tableau 7. Les ventes de chaudières individuelles et collectives en 2003.....	52
Tableau 8. Prix en centimes de Franc 1998 par litre d'eau chaude (prix du pétrole 20 \$/baril).	59
Tableau 9. Consommation d'énergie et coût correspondant de différents systèmes de production d'eau chaude sanitaire pour pavillon.....	62
Tableau 10. Déterminants de la consommation du bois de chauffage en 1999.	75
Tableau 11. Récapitulatif des gains à 2040 des mesures examinées.	84

Lettre de commande de mission.

ministère
de l'Équipement
des Transports
de l'Aménagement
du territoire
du Tourisme
et de la Mer



direction
de la Recherche
et des Affaires
scientifiques et
techniques
Le Directeur

note à l'attention de

Monsieur Claude MARTINAND
Vice-Président
du Conseil général des Ponts et chaussées

La Défense, le 2 septembre 2004

DRAST/DIR n°65

objet : Recherche et développements sur les économies d'énergie et les substitutions entre énergies dans le domaine des bâtiments

Ma direction participe aux réflexions actuelles sur les recherches à mener concernant l'énergie consommée dans les bâtiments.

En effet, si certains sujets font depuis longtemps l'objet d'actions importantes de recherche et développement, notamment dans les techniques de construction des bâtiments neufs, il n'existe pas de vue d'ensemble couvrant l'ensemble des consommations d'énergie dans les bâtiments, y compris l'électricité spécifique et les services des bâtiments.

L'objet de la présente est donc de solliciter le concours du Conseil général des Ponts et chaussées pour faire un état des lieux complet. Il s'agit de recenser l'ensemble des thèmes possibles de « recherche et développements sur les économies d'énergie et les substitutions entre énergies dans le domaine des bâtiments », et de proposer une mise en perspective des divers thèmes dans cet ensemble.

La lisibilité et un délai court sont les caractères les plus souhaitables de cette première étude. L'étendue du champ abordé interdit donc que cette réflexion d'ensemble soit poussée trop loin sur chaque domaine particulier, ce qui la rendrait inopérante. Elle doit se concevoir comme une première base à des phases ultérieures qui permettront de la confronter au détail des actions entreprises ou programmées dans chaque sous-domaine.

Il conviendra donc de dresser un état des consommations d'énergie pour le chauffage, la production d'eau chaude sanitaire, l'électricité spécifique et les services des bâtiments. On ne cherchera pas l'extrême précision des éléments de consommation globaux, mais on s'attachera plutôt à établir :

- une mise en perspective du domaine des bâtiments dans la consommation générale d'énergie,

- une identification des types d'usagers (ménages, tertiaire privé, tertiaire public), quantifiant leurs consommations (avec leurs évolutions propres), et de leurs modes de fonctionnement et de décision spécifiques,
- un bref historique des évaluations des politiques énergétiques de 1973 à 2004 dans le domaine.

Il faudra aussi faire une prospective du chauffage et de l'électricité spécifique distinguant les facteurs d'évolution liés :

- aux constructions neuves,
- aux « rénovations lourdes » des logements, en général dans de grands collectifs, et des grands établissements tertiaires,
- à la « rénovation diffuse » des pavillons et copropriétés, lors des réfections des parois et des toits, des remplacements d'huisseries, de chaudières, d'appareils de chauffage, etc.
- à l'utilisation de « matériels » à durée de vie courte ou moyenne, lampes électriques, matériels électroménagers, informatiques et audio-visuels, pompes, etc.
- aux politiques actuelles et envisageables de substitution d'énergie : utilisation du bois, réseau de chaleur, géothermie, énergie solaire, etc.

Cette prospective devra permettre de fixer les ordres de grandeur respectifs pour les divers objectifs : réglementation des constructions neuves, politiques de « rénovation lourde », développement temporel de la « rénovation diffuse », maîtrise de la consommation d'électricité spécifique, etc.

L'analyse des actions pourrait se faire à deux horizons, celui du protocole de Kyoto et surtout un horizon à plus long terme (2040 par exemple).

J'attacherais le plus grand prix à ce que toutes les mesures examinées fassent l'objet d'une « évaluation économique », même très sommaire, permettant de les hiérarchiser. Sa méthodologie pourrait reprendre celle qui a été appliquée lors de l'établissement du Programme de lutte contre le changement climatique de 2000, les analyses « coût/efficacité » étant effectuées dans l'optique du particulier, mais aussi dans une vision collective prenant en compte les externalités et les possibilités de « production nationale » (notamment pour l'énergie de chauffage).

Il conviendra notamment de bien mettre en évidence les « actions à coût négatif », comme il en existe apparemment de nombreuses dans le domaine, ainsi que de faire la liste des freins possibles qui ont pu ralentir ou s'opposer à leur mise en application en France, dont le degré pourrait être estimé par une comparaison internationale rapide.

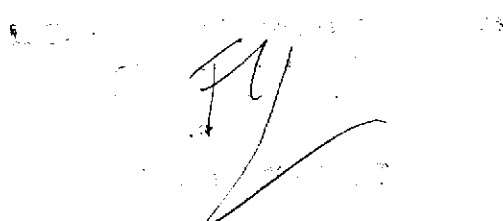
Enfin, une récapitulation des possibilités d'actions à long terme - à la lumière de l'évaluation économique - devrait permettre de distinguer :

- les actions de diffusion à entreprendre sur la base des technologies déjà existantes,
- les besoins de « développements » concernant des technologies ayant fait l'objet de recherches,
- les besoins de recherches nouvelles.

Dans ces deux derniers cas, il conviendra d'indiquer sommairement les expériences étrangères connues, afin de faire l'économie de recherches et développements déjà effectués ailleurs.

Je vous suggère de confier l'établissement de ce rapport à Monsieur Jean Orselli, ingénieur général des Ponts et chaussées, qui a déjà participé à nos toutes premières réflexions sur le sujet.

Un rapport intermédiaire serait souhaitable dès le début du premier trimestre 2005.



Copie : - M. GIBLIN
- M. ORSELLI

note à l'attention de

ministère
de l'Équipement
des Transports
de l'Aménagement
du Territoire
du Tourisme
et de la Mer

Monsieur Jean Orselli
Ingénieur général des ponts et chaussées



conseil général
des Ponts
et Chaussées

La Défense, le 13 SEP. 2004

Affaire n° 2004-0189-01

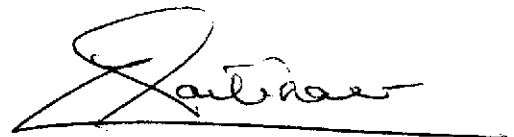
Le vice-président

Par note du 2 septembre 2004, le directeur de la recherche et des affaires scientifiques et techniques a sollicité le concours du conseil général des ponts et chaussées afin de recenser l'ensemble des thèmes possibles de **recherche et développements sur les économies d'énergie et les substitutions entre énergies dans le domaine des bâtiments.**

Je vous confie cette mission qui est enregistrée sous le n° 2004-0189-01 dans le système de gestion des affaires du CGPC.

J'attire votre attention sur le souhait du directeur de disposer d'un rapport pour le premier trimestre 2005.

Conformément à la procédure en vigueur, je vous demande d'adresser votre rapport de fin de mission au président de la 3^{ème} section et de m'en faire parvenir simultanément un exemplaire, aux fins de transmission au directeur de la recherche et des affaires scientifiques et techniques par le vice-président du CGPC.



Claude MARTINAND

Tour Pascal B
92055 La Défense cedex
téléphone :
01 40 81 21 22
télécopie :
01 40 81 62 62
mél. Cgpc
@equipement.gouv.fr

Copie : M. le président et M. le secrétaire de la 3^{ème} section

Tables des matières.

SYNTHESE DU RAPPORT.	1
INTRODUCTION.....	5
PRESENTATION DU RAPPORT.	5
LE CADRE GENERAL : EFFET DE SERRE ET ENERGIE, TRANSFERT DE DROITS D'EMISSION.	7
L'ENERGIE DANS LES BATIMENTS ET SON EVOLUTION RECENTE.....	9
1 PRESQUE LA MOITIE DE LA CONSOMMATION FRANÇAISE D'ENERGIE.	9
2 QUI SONT LES CONSOMMATEURS D'ENERGIE DANS LES BATIMENTS ?	11
2.1 Part très majoritaire des ménages, acheteurs dispersés.	11
2.2 Difficultés d'identification des consommations partielles d'énergie.	12
2.3 Le consommateur individuel face aux monopoles des réseaux.	12
3 COMMENT SE FONT LES TRAVAUX D'ECONOMIE D'ENERGIE ? REHABILITATION, RENOVATION OU RENOVATION DIFFUSE ?.....	14
3.1 Les « maîtres d'ouvrage » dans les logements.....	15
3.2 La « rénovation naturelle diffuse » principal mode de réalisation d'économies d'énergie.....	16
3.3 Application de technologies obsolètes dans la rénovation diffuse.....	17
3.4 Une problématique commune : le manque d'information des consommateurs.	18
3.5 Conclusions sur les grandes caractéristiques de l'énergie dans les bâtiments.....	18
ÉVOLUTIONS ET PROSPECTIVE DU CHAUFFAGE ET DE L'ELECTRICITE SPECIFIQUE .	21
4 EVOLUTION PASSEE ET PROSPECTIVE DU CHAUFFAGE.	21
4.1 Evolution du chauffage des logements.....	21
4.2 Normes pour les bâtiments neuf et faible « effet d'entraînement » sur l'ancien.....	25
4.3 Faiblesse de l'impact de l'évolution technologique sur les bâtiments neufs futurs.	26
4.4 Insignifiance des actions sur la croissance et le renouvellement du parc.	27
4.5 Evolution du chauffage dans le tertiaire.....	28
4.6 Limites des économies d'énergie et de la réglementation des bâtiments neufs (2040-2080).....	29
4.7 Nécessité de la « substitution » dans la lutte contre le changement climatique.....	31
5 COMMENT CONTROLER LA CROISSANCE DES CONSOMMATIONS D'ELECTRICITE SPECIFIQUE ET ECS ? ..	32
ÉVALUATION DES POLITIQUES ENERGETIQUES DANS LES BATIMENTS.....	35
6 ÉVALUATION DES POLITIQUES ENERGETIQUES DE 1973 A 1995.....	35
7 LES BATIMENTS DANS LE PROTOCOLE DE KYOTO.	39
7.1 Faible importance en général des « mesures nouvelles » dans les bâtiments.	40
7.2 Les « mesures nouvelles » dans le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire.....	40
7.3 Les « mesures nouvelles » dans l'électricité spécifique.....	42
LES TECHNIQUES EXISTANTES « A COUT NEGATIF »	45
8 TECHNIQUES EXISTANTES « A COUT NEGATIF » DANS LE CHAUFFAGE ET L'ECS.....	45
8.1 Les actions « à coût négatif » en rénovation diffuse.	45
8.2 Difficulté de l'information des consommateurs.	46
8.3 Notions d'énergétique du chauffage et de la production d'ECS des logements.....	47
8.4 Les façades, les toits et le sol.	47
8.5 La ventilation.	48
8.6 Les « vitrages à isolation renforcée ».....	49
8.8 Le marché des chaudières individuelles.	52
8.9 Le marché et l'exploitation des chaudières collectives.....	58
9 LA PRODUCTION D'EAU CHAUDE SANITAIRE.....	59
10 TECHNIQUES EXISTANTES « A COUT NEGATIF » DANS L'ELECTRICITE SPECIFIQUE ET LES SERVICES URBAINS.	63
10.1 L'éclairage.....	63
10.2 Les pompes des chauffages.	65
10.3 Autres aspects de l'électricité spécifique des bâtiments.	66

10.3 Les services urbains.....	67
10.4 Conclusions sur l'électricité spécifique et les services urbains.....	67
LA « SUBSTITUTION » ET LES ACTIONS A LONG TERME.....	69
11 LES RESEAUX DE CHALEUR.....	70
11.1 Un domaine très peu dynamique actuellement.....	70
11.1 Le problème économique de la cogénération dans les « bâtiments ».....	71
11.3 Une politique « à construire ».....	72
12 LE BOIS DE CHAUFFAGE.....	73
12.1 D'importantes ressources nationales d'énergie inutilisées.....	73
12.2 Les déterminants du marché actuel du bois de chauffage.....	73
12.3 Une situation peu évolutive en 2005.....	75
12.3 Comment développer le marché du bois ?.....	77
13 LA PROMOTION DES TECHNOLOGIES CONNOTEES « ECOLOGIQUES ».....	79
13.1 Un « affichage bruyant » cachant des ambitions très modestes.....	79
13.2 Une place très limitée dans l'avenir ?.....	80
14 L'INDUSTRIE DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS.....	81
15 QUELQUES AVANCEES TECHNOLOGIQUES NON CONVENTIONNELLES.....	82
16 CONCLUSIONS.....	84
16.1 Récapitulation des actions.....	84
16.2 Pour une stratégie prioritaire de réalisation des actions à coût négatif.....	84
16.3 Le bois et les réseaux de chaleur en « substitution ».....	85
16.4 L'électricité spécifique.....	85
16.5 Les besoins en technologies nouvelles et la recherche.....	85
ANNEXES.....	87
BIBLIOGRAPHIE – REFERENCES.....	87
GLOSSAIRE DES SIGLES ET ABREVIATIONS.....	90
TABLES DES FIGURES ET DES TABLEAUX.....	91
LETTRE DE COMMANDE DE MISSION.....	92
TABLES DES MATIERES.....	96

Secrétariat général
Bureau
Rapports
et Documentation
TOUR PASCAL B
92055 LA DÉFENSE CÉDEX
Tél. : 01 40 81 68 12/ 45