

COMMISSARIAT GENERAL DU PLAN

Effet de serre : modélisation économique et décision publique

Président
Pierre-Noël Giraud

Rapporteur général
Nicole Jestin-Fleury

Rapporteurs
Alain Ayong Le Kama
Christian Vilmart

Mars 2002

Avant-propos

par

Jean-Michel Charpin
Commissaire au Plan

En matière de lutte contre le changement climatique, les questions qui ont le plus retenu l'attention concernent la répartition de l'effort sur la planète : comment convaincre le plus grand nombre de pays de s'engager à réduire leurs émissions ? Selon quelle règle partager la charge de façon efficace et juste ? Comment prendre en compte les intérêts des pays en développement ? Comment éviter que les Etats-Unis se mettent hors jeu ?

Bien évidemment, ces questions sont importantes. Elles conditionnent le succès de la communauté internationale dans la lutte contre l'accroissement de l'effet de serre. Elles méritent donc leur place au premier plan. Pour autant, on ne saurait négliger que, dès qu'une réponse leur est apportée, surgissent de nombreux autres problèmes, de nature pratique, délicats à résoudre : comment dimensionner au mieux, dans chaque pays, les actions permettant d'atteindre les objectifs que l'on s'est fixés ? Comment évaluer si ces actions produisent les effets attendus ?

Depuis le protocole de Kyoto, les pays de l'Union européenne sont sans cesse confrontés à ces questions : il revient à chacun d'eux d'atteindre un objectif d'évolution de ses émissions de gaz à effet de serre, donc d'élaborer un programme national et de prouver aux autres pays que les effets de ce programme sont ceux escomptés. C'est en janvier 2000 que le gouvernement français a adopté son programme national de lutte contre le changement climatique, préparé et piloté par la Mission interministérielle de l'effet de serre.

Le groupe technique présidé par Pierre-Noël Giraud avait pour mandat, dans le cadre du programme de travail du Commissariat général du Plan défini en novembre 2000 par le Premier ministre, d'étudier finement les outils, tout particulièrement les modèles économiques, utilisés en France à cette fin, et de formuler des recommandations d'amélioration.

Il ressort de ses travaux que la France avance dans la démarche très nouvelle qui lui est demandée à un rythme qui est dans la moyenne communautaire. Les méthodes en usage sont déjà raisonnablement affinées, compte tenu du bref délai dont les responsables et experts français ont disposé. Elles n'en doivent pas moins être perfectionnées pour mieux mesurer, mieux prévoir et mieux défendre les intérêts nationaux dans les enceintes européennes.

Le groupe a passé en revue les modèles économiques utilisés, en France et à l'étranger, et a examiné attentivement quels types de question chacun était le mieux à même de traiter. Je tiens à remercier très vivement pour la qualité du travail accompli le président Pierre-Noël Giraud, la rapporteure générale Nicole Jestin-Fleury, les rapporteurs et les nombreux membres du groupe qui ont participé personnellement aux recherches et à la rédaction.

Au-delà de ses recommandations, le rapport présente un grand intérêt en ce qu'il éclaire la contribution discrète et mal connue de la modélisation économique à l'instruction et à l'évaluation de la décision publique. On peut apprendre beaucoup d'un modèle, mais on ne saurait lui faire dire plus que sa structure ne le permet. Tel modèle propose une évaluation pertinente et précise de l'impact d'un paquet de mesures, mais ne sait pas dire grand-chose de l'effet isolé de chacune d'entre elles. Ou encore, les conséquences d'une mesure réglementaire seront bien appréhendées par l'un, mais il en faudra un autre, de nature différente, pour évaluer l'impact d'une réforme fiscale. Faute de comprendre les propriétés fondamentales de chaque modèle, on s'expose à des imprécisions, à des omissions, à des doubles comptes, donc à des erreurs de dimensionnement des mesures, susceptibles de gaspiller des ressources ou de biaiser les discussions.

En ce sens, on peut attendre des recommandations du groupe technique présidé par Pierre-Noël Giraud un meilleur éclairage des débats. La préparation des mesures de lutte contre le changement climatique a suscité en France et ailleurs de nombreuses controverses, y compris dans des domaines-clés comme les transports, l'agriculture et le bâtiment. Le rapport propose des méthodes susceptibles de favoriser, dans un avenir proche, des décisions mieux informées et plus consensuelles.

SOMMAIRE

<i>INTRODUCTION.....</i>	<i>11</i>
1. Contexte : la communauté internationale face aux changements climatiques	11
2. Les émissions de gaz à effet de serre de la France	13
3. Les missions du groupe	16
4. Plan et contenu du rapport.....	18
<hr/>	
<i>CHAPITRE PREMIER - ÉLABORATION D'UN SCÉNARIO DE RÉFÉRENCE CONSENSUEL</i>	<i>19</i>
1. La situation actuelle.....	19
1.1. Les trois scénarios du Commissariat général du Plan	20
1.2. Le scénario de référence du Programme national de lutte contre le changement climatique (PNLCC).....	20
1.3. Le scénario tendanciel de la DGEMP de mars 2000	21
1.4. Comparaison	22
2. Les scénarios préparés pour la 3^e communication nationale.....	24
3. La méthode du scénario AME.....	25
3.1. Vue d'ensemble.....	25
3.2. Le modèle DIVA.....	27
3.3. Le modèle MEDEE-ME	29
3.4. Conclusion.....	31
4. Le scénario de référence consensuel pour l'énergie	32
4.1. Transport	35
4.2. Bâtiment	37
4.3. Conclusion.....	39
5. Le scénario pour les autres gaz	40

CHAPITRE II - ÉVALUATION DES MESURES DU PNLCC.....	47
1. Typologie des mesures présentes dans le PNLCC	47
2. Les travaux disponibles antérieurement à la 3^e communication nationale	50
2.1. Rapport de l'instance d'évaluation des politiques publiques de maîtrise de l'énergie entre 1973 et 1993	50
2.2. ADEME, MATE, METL.....	52
3. Synthèse des problèmes méthodologiques d'évaluation des impacts des politiques et mesures	55
4. L'évaluation de l'impact des politiques et mesures par ENERDATA pour la 3^e communication nationale.....	60
4.1. La méthode MEDEE-ME pour l'évaluation des impacts des mesures.....	60
4.2. Application de la méthode MEDEE-ME à l'évaluation de l'impact de « paquets de mesures » du PNLCC	66
4.3. Analyse critique de la méthode MEDEE-ME	73
5. Conclusions sur le chiffrage du PNLCC.....	75
CHAPITRE III - L'APPORT DES AUTRES MODÈLES	79
1. Exercices sur la France réalisés à l'aide d'autres modèles	79
1.1. Le modèle PRIMES	79
1.2. Le modèle GEM-E3	83
1.3. Le modèle POLES.....	84
1.4. Les modèles GEMINI-E3	87
1.5. Le modèle EPPA	91
2. Quelques éléments de comparaison	94
2.1. Evaluation des accords volontaires des constructeurs européens d'automobiles	94
2.2. Le concept de coût d'une mesure : comparaison POLES et GEMINI	99
2.3. L'endogénéisation du progrès technique dans GEM-E3	102
3. En conclusion	104

CHAPITRE IV - MÉTHODES UTILISÉES PAR D'AUTRES PAYS	105
1. Qui fait quoi en Europe : une appréciation des informations fournies par les États membres à la Commission européenne	105
2. Analyse approfondie des Pays-Bas	109
2.1. L'élaboration du scénario de référence	109
2.2. La mise en œuvre des politiques de réduction.....	112
3. Quelques leçons tirées de l'expérience des Pays-Bas.....	116
3.1. Sur la construction des scénarios de référence	117
<hr/>	
CHAPITRE V - PRINCIPALES RECOMMANDATIONS	121
<hr/>	
LETTRE DE MISSION.....	125
<hr/>	
COMPOSITION DU GROUPE	133
<hr/>	
ANNEXE I - TYPOLOGIE DES MODÈLES	139
ANNEXE II - SYNTHÈSE DES ÉTUDES PROSPECTIVES SUR LA FRANCE	145
ANNEXE III - LE SCÉNARIO « AVEC MESURES EXISTANTES ».....	161
ANNEXE IV - ÉVALUATION DES MESURES DU PNLCC	173
ANNEXE V - RAPPORT DE L'ÉQUIPE TRANSPORTS.....	251
ANNEXE VI - RAPPORT DE L'ÉQUIPE BÂTIMENT	277
ANNEXE VII - MÉTHODES D'ÉVALUATION RETENUES PAR L'ADEME	301

INTRODUCTION

Contexte : la communauté internationale face aux changements climatiques

La première conférence mondiale sur le climat réunie en 1979 a pris la mesure du grave problème que posaient les changements climatiques. Des conférences intergouvernementales consacrées aux changements climatiques ont eu lieu dès la fin des années 1980 et au début des années 1990.

Le Groupe intergouvernemental d’experts sur l’évolution du climat (GIEC) a publié son premier rapport d’évaluation en 1990. Approuvé après un processus ardu de contre-expertise par des pairs, le rapport a confirmé les preuves scientifiques de l’évolution du climat et a fourni la base des négociations relatives à la convention sur les changements climatiques.

La convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques a été signée par 150 États (plus la Communauté européenne) à Rio de Janeiro au sommet de la Terre en 1992. Elle adoptait pour objectif ultime de stabiliser les concentrations de gaz à effet de serre dans l’atmosphère à un niveau empêchant toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique. Elle est entrée en vigueur le 21 mars 1994 et la même année, les pays développés, parties à la convention, ont commencé à présenter des communications nationales décrivant leurs stratégies de parade aux changements climatiques.

La Conférence des parties est devenue le principal organe de la convention et a tenu sa première session à Berlin en 1995. Elle a étudié la première série de communications nationales et mis la dernière main aux principaux éléments du mécanisme institutionnel et financier nécessaire pour appuyer l’action prévue par la convention au cours des années à venir.

La troisième session de la Conférence des parties a adopté le protocole de Kyoto en décembre 1997. Le protocole est un accord juridiquement contraignant aux termes duquel les pays industrialisés - pays dits de l'annexe 1 - doivent réduire le total de leurs émissions des six gaz à effet de serre de 5,2 % par rapport à 1990 d'ici 2008-2012, total calculé sur la moyenne des émissions au cours de ces cinq années. De nombreuses réunions ont été nécessaires pour parvenir à Bonn en juillet 2001 et à Marrakech en novembre 2001 à un accord politique sur le règlement opérationnel préalable à la mise en œuvre du protocole.

En adhérant à la convention, les parties s'engagent à établir des inventaires annuels de leurs émissions et à présenter des « communications nationales » précisant les différentes sources émettrices et indiquant les « puits » qui absorbent les gaz à effet de serre. Elles adoptent en particulier des programmes nationaux pour atténuer les changements climatiques et élaborent des stratégies pour s'adapter à leurs effets.

Les communications nationales des pays développés font l'objet d'un processus d'examen en plusieurs étapes dont la première consiste à compiler les renseignements figurant dans toutes les communications et à en faire la synthèse. Le premier examen des deuxièmes communications nationales a eu lieu à la fin de 1997 et a porté sur 18 communications et le deuxième examen
- fin 1998 - sur 26 communications.

C'est la Conférence des parties qui fixe les échéances auxquelles doivent être présentées les communications nationales. En 1998, elle avait demandé aux pays développés de soumettre leurs troisièmes communications nationales avant le 30 novembre 2001. La quatrième sera remise en 2005 au moment où les parties devront avoir accompli des « progrès démontrables » dans la réduction de leurs émissions de gaz à effet de serre.

De nombreux problèmes tant pratiques que méthodologiques, concernant la collecte des données et le calcul des inventaires notamment, n'ont pas encore été résolus. Le Groupe d'experts intergouvernemental sur

l'évolution du climat (GIEC) s'efforce donc d'affiner les méthodes utilisées pour les communications nationales.

La Communauté européenne, ayant également souscrit des engagements dans le cadre de la convention et du protocole, est soumise aux mêmes demandes d'informations standardisées, et cherche donc à les collecter sous une forme la plus homogène possible auprès de ses États membres. Pour cela, elle a mis en place un « mécanisme de surveillance ». Il n'est pas impossible que les informations à soumettre à la Commission doivent à l'avenir respecter des spécifications plus précises encore que celles établies pour la convention.

Dans le cadre des engagements pris par la France relatifs aux réductions des émissions de gaz à effet de serre (GES), l'administration française devra donc répondre à une demande internationale croissante d'informations, transparentes et standardisées.

Les émissions de gaz à effet de serre de la France

Les gaz concernés

Dans le cadre des accords de Kyoto relatifs aux réductions des émissions de gaz à effet de serre (GES), les gaz concernés, responsables des changements climatiques, sont multiples (six catégories¹) et sont rattachés à différentes activités² (voir tableau 1 et graphiques 1 et 2 correspondants).

(1) On distingue : le CO₂ (dioxyde carbone ou gaz carbonique) ; le CH₄ (méthane) ; le N₂O (protoxyde d'azote ou acide nitreux) ; les HFCs (hydrofluorocarbone) ; les PFCs (perfluorocarbone) et le SF₆ (hexafluoride sulfuré).

(2) Les données concernant les émissions liées au secteur résidentiel tertiaire ne sont pas distinguées dans ces statistiques.

Tableau 1
Émissions de gaz à effet de serre en France en 1999
en tonnes équivalent Carbone

Gaz à effet de serre Activités	CO ₂ émissions	CO ₂ stockage	CH ₄	N ₂ O	HFC _S	PFC _S	SF ₆	Total
1) Énergie dont : industrie de l'énergie industries manufacturières et construction transport	104 722 16 759		2 129 8	1 668 186				108 519 16 953
	21 079 37 898		22 85	217 866				21 318 38 850
2) Procédés industriels	4 694		15	3 028	1 315	523	658	10 233
3) Utilisation de solvants et autres produits	441		0	167				609
4) Agriculture	0	0	8 799	14 813				23 613
5) Changement d'utilisation des sols et sylviculture		-18 836	578	1 522				-16 735
6) Déchets	624		4 763	291				5 679
Total émissions	110 482		16 285	21 491	1 315	523	658	150 753
Total	110 482	-18 836	16 285	21 491	1 315	523	658	131 917

Source : « Inventaire des émissions de gaz à effet de serre en France en cours de la période 1990-1999 » ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement, décembre 2000

Liste des gaz :

CO₂ dioxyde de carbone (ou gaz carbonique)

CH₄ méthane

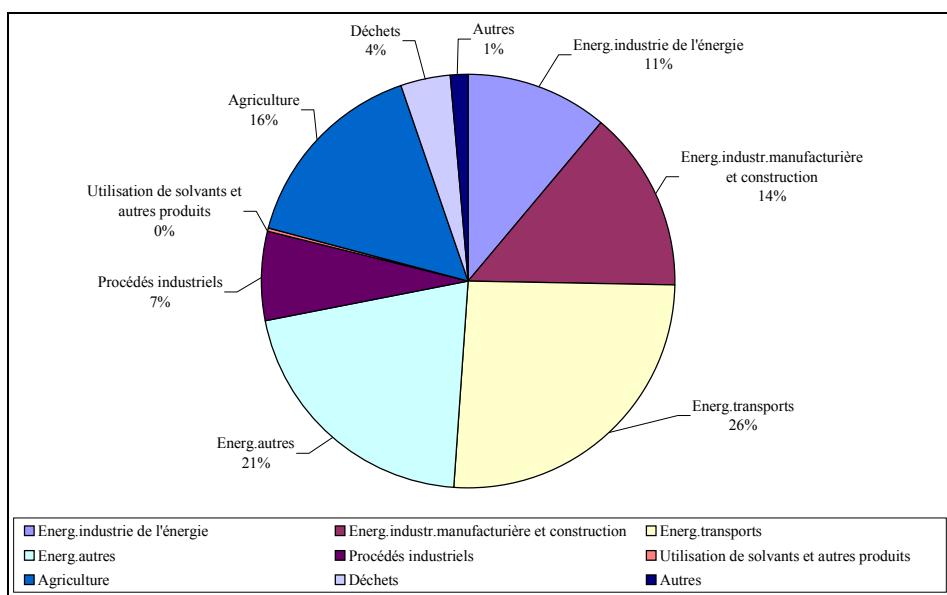
N₂O protoxyde d'azote (ou acide nitreux)

HFC hydrofluorocarbone

PFC perfluorocarbone

SF₆ hexafluoride sulfuré

Graphique 1
Part des activités dans les émissions françaises en 1999

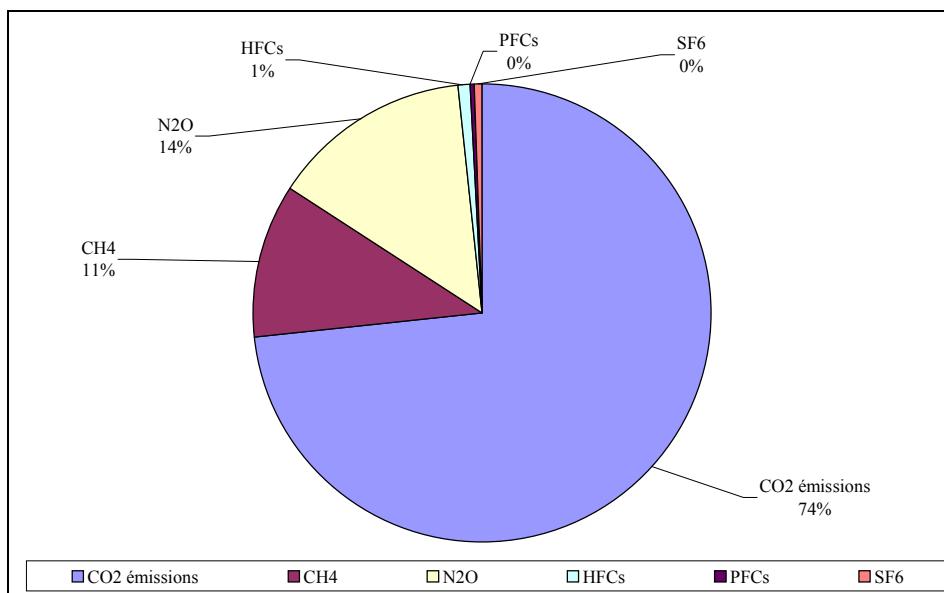


Les engagements de la France

L’Union européenne (UE) s’est engagée, dans le cadre des accords de Kyoto, à une réduction de 8 % de ses émissions pour la période d’engagement 2008-2012 et chacun de ses pays membres s’est vu attribuer son propre quota de réduction. La répartition de la charge au sein de l’UE, que l’on qualifie de « bulle européenne » a été établie lors du Conseil des ministres de l’Environnement de l’UE le 17 juin 1998.

Cet engagement correspond pour la France à une stabilisation de ses émissions de GES en 2010 à leur niveau de 1990, soit à 144 millions de tonnes d’équivalent carbone (MteC).

Graphique 2
Part des différents gaz dans les émissions françaises en 1999



Source : inventaire France

Les missions du groupe

Problèmes posés

Dans le cadre des engagements pris par la France, il a été mis en place - en plus des communications nationales imposées par la convention-cadre des Nations Unies sur le changement climatique (UNFCCC) - un Programme national de lutte contre le changement climatique (PNLCC) qui a été adopté par le gouvernement français en janvier 2000.

Ce programme, piloté par la Mission interministérielle de l'effet de serre (MIES), a pour objet d'arrêter un ensemble de politiques et mesures visant à permettre à la France de satisfaire ses engagements de réduction définis dans le cadre de la « bulle » européenne.

Pour cela, il a été nécessaire :

- d'anticiper ce que seraient, à l'horizon 2010 (mais aussi 2020) les émissions de gaz à effet de serre si aucune mesure nouvelle de réduction n'était prise, les mesures existantes étant conservées. C'est ce qu'on appelle la construction d'un « scénario de référence ». Il permet d'évaluer l'ampleur des efforts à accomplir pour atteindre l'objectif ;
- d'évaluer l'impact des politiques et mesures publiques susceptibles de réduire les émissions, de manière à vérifier que le programme proposé permet bien d'atteindre l'objectif.

La préparation du PNLCC, ainsi que celle des « schémas de services collectifs » ont mis en lumière des difficultés, tant dans l'élaboration des scénarios de référence que dans l'évaluation de l'impact des politiques et mesures, opérations qui exigent l'usage de modèles de projection des émissions³.

Missions du groupe

Le groupe de travail « Prospective des émissions de gaz à effet de serre », présidé par Pierre-Noël Giraud, a été mis en place en mars 2001 au Commissariat général du Plan pour étudier la pertinence des outils et des méthodologies utilisés en France pour évaluer les émissions de gaz à effet de serre et l'impact des politiques et mesures destinées à les réduire.

Ce groupe avait une double mission :

- Contribuer, pour le compte de la 3^e communication nationale⁴ de la France à l'élaboration d'un scénario de référence faisant l'objet d'un consensus au sein de l'administration française, et pour ce faire

(3) L'annexe 1 présente une typologie des principaux modèles.

(4) Lors de la préparation de la 3^e communication nationale, la MIES a construit trois scénarios : sans mesures, avec mesures existantes (AME) au 31/12/1999 et avec les mesures nouvelles du PNLCC. Le groupe a contribué en particulier à l'élaboration du scénario AME.

réduire au préalable les divergences d’appréciation qui existaient entre les différents acteurs concernés.

- Faire une analyse critique des modèles et méthodes utilisés en France et à l’étranger pour construire des scénarios de référence et évaluer l’impact des politiques et mesures.

Plan et contenu du rapport

Le chapitre Premier présente la réponse du groupe à la première mission : l’élaboration d’un scénario de référence « consensuel » pour l’énergie. Il donne aussi une analyse critique de la manière dont sont actuellement traitées les émissions des « autres gaz à effet de serre » et formule des propositions pour améliorer ce traitement.

Le chapitre II aborde la seconde mission en procédant à un examen approfondi des méthodes utilisées lors de la 3^e communication nationale pour évaluer les impacts du PNLCC à l’aide du modèle MEDEE-ME de la société ENERDATA.

Le chapitre III examine un ensemble d’autres modèles utilisés pour évaluer l’impact des politiques et mesures dans le cas français et compare l’apport de différents modèles au traitement des mêmes questions.

Le chapitre IV est essentiellement consacré à l’analyse d’un des pays apparu le plus avancé dans notre domaine, les Pays-Bas, et aux leçons qui peuvent en être tirées.

En conclusion, le groupe formule un certain nombre de recommandations issues du rapport.

Le rapport est relativement synthétique, le parti ayant été pris de renvoyer dans de nombreuses annexes et dans un volume complémentaire publié au Plan les développements techniques et les résultats chiffrés, ainsi que les études ayant contribué à la réflexion du groupe.

CHAPITRE PREMIER

Élaboration d'un scénario de référence consensuel

Le scénario de référence consensuel sur lequel a travaillé le groupe concerne les émissions de gaz carbonique d'origine énergétique. En mars 2001, au cours de l'élaboration de la 3^e communication nationale par la MIES, plusieurs projections récentes différentes de la consommation énergétique et des émissions de CO₂ associées étaient disponibles, ainsi qu'une projection des émissions de l'ensemble des GES. La section 1 les présente brièvement. La 3^e communication nationale a publié trois scénarios des émissions de GES, dont la définition est donnée dans la section 2. Le groupe, dont c'était la première mission, a notamment contribué à l'élaboration de l'un d'entre eux, le scénario « avec mesures existantes avant le 31/12/1999 » (AME).

Ce scénario est en effet le « scénario de référence » pertinent si l'on s'intéresse à l'effort qui reste à accomplir et à l'évaluation des impacts des mesures inscrites dans le PNLCC et qui n'étaient pas encore en application au 31/12/1999.

La section 3 rappelle la méthodologie utilisée pour construire ce scénario. La section 4 résume l'apport du groupe à l'élaboration de la partie énergie de ce scénario. La section 5 propose une analyse critique de la partie « autres gaz à effet de serre » de ce scénario et fait des propositions pour son amélioration.

La situation actuelle

Plusieurs scénarios prospectifs⁵ de la consommation énergétique ont été récemment réalisés, avec des préoccupations et des optiques légèrement différentes.

(5) Voir en annexe II la synthèse des études prospectives pour la France réalisée par ENERDATA.

- Le Commissariat général du Plan (CGP) a publié en 1998 trois scénarios.
- La MIES a élaboré, en 1999, un scénario de référence⁶ dans le cadre de la préparation du PNLCC, approuvé par le gouvernement le 19 janvier 2000.
- La Direction générale de l'énergie et des matières premières (DGEMP) a publié en mars 2000 un « scénario tendanciel ».
- La MIES a préparé en 2001 pour la 3^e communication nationale trois scénarios.

Tous ces scénarios ont en commun d'avoir été élaborés avec la même méthode, fondée sur le modèle MEDEE-ME d'ENERDATA.

Les trois scénarios du Commissariat général du Plan

Dans son rapport « Energie 2010-2020 »⁷, le Commissariat général du Plan a étudié trois scénarios très contrastés, jugés également vraisemblables par leurs auteurs : (S1) « Société de marché » qui correspond sensiblement à la même approche que le scénario tendanciel de la DGEMP présenté à la section 1.3 ci-après et qui conduit à des conclusions similaires⁸ ; (S2) « Etat industriel » et (S3) « Etat protecteur de l'environnement ». Ce dernier ramènerait en 2020 les émissions de gaz à effet de serre liées à l'énergie à un niveau très proche de celui de 1990.

Le scénario de référence du Programme national de lutte contre le changement climatique (PNLCC)

Pour élaborer le PNLCC, la MIES a été amenée, en 1999, à faire des projections sur les émissions de l'ensemble des gaz à effet de serre : il

(6) Celui-ci a été élaboré à partir des travaux réalisés par ENERDATA pour la seconde communication nationale et publiés en janvier 1998.

(7) « Energie 2010-2020 - Trois scénarios énergétiques pour la France », Commissariat général du Plan, septembre 1998.

(8) Les quelques écarts que l'on peut constater entre le « scénario société de marché » du Plan et le « scénario tendanciel » de la DGEMP proviennent d'hypothèses légèrement différentes (dues notamment au fait que les deux scénarios ont été bâties à plus d'un an d'intervalle) sur des facteurs tels que la parité euro-dollar ou le taux d'actualisation des valeurs monétaires dans le calcul du parc électrique.

s’agissait de retenir une référence pour pouvoir définir les mesures à prendre permettant à la France de respecter son engagement de ramener en 2008-2012 ses émissions de gaz à effet de serre à leur niveau de 1990. La référence utilisée pour la préparation du PNLCC a été la seconde communication nationale, sauf pour les transports où a été retenu le scénario (B) élaboré pour la préparation des schémas de services collectifs de transport.

Le scénario tendanciel de la DGEMP de mars 2000

C’est le scénario⁹ le plus récent élaboré sous l’égide de la DGEMP, ministère de l’Economie, des Finances et de l’Industrie au second semestre de 1999 pour répondre à une demande de l’Agence internationale de l’énergie (AIE). Celle-ci cherche à disposer en effet pour chaque pays membre d’un « scénario où la demande d’énergie évolue dans le futur conformément aux tendances du passé et où aucune politique nouvelle n’est adoptée ».

Il s’agit donc d’un **scénario tendanciel** dans lequel la consommation d’énergie évolue au rythme de la demande sans qu’aucune mesure correctrice ne soit prise, ni dans un sens, ni dans l’autre, depuis l’adoption du protocole de Kyoto en décembre 1997. Il constitue donc, en quelque sorte, un scénario enveloppe (ou maximaliste) correspondant à une absence de politique publique nouvelle d’économies d’énergie et de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Ce scénario tendanciel donne, sur la base d’une croissance économique (PIB) moyenne sur la période 1998-2020 de 2,3 % par an, **une croissance de la demande d’énergie finale de 1,4 % par an** : cela conduit à une consommation d’énergie finale qui passerait de 226,5 Mtep en 1998 à 267,2 Mtep en 2010 (+ 18 %) et à 304,8 Mtep en 2020 (+ 34,6 %). C’est le secteur des transports qui présente dans ce scénario le taux de croissance le plus élevé (+ 1,9 %/an).

(9) « *Perspectives énergétiques pour la France : un scénario tendanciel* », *ministère de l’Economie, des Finances et de l’Industrie, Direction générale de l’énergie et des matières premières, Observatoire de l’énergie*, mars 2000.

De la même manière et sous les mêmes hypothèses, la ***consommation d'énergie primaire***¹⁰ (hors usages non énergétiques) passerait de 232,3 Mtep en 1998 à 275,8 Mtep en 2010 (+ 18,7 %) et à 302,4 Mtep en 2020 (+ 30,2 %).

Dans ce scénario, le gaz naturel connaît la plus forte progression (+ 4,1 %/an) en raison notamment de son utilisation croissante pour produire de l'électricité, le scénario comportant l'hypothèse qu'il n'y aura pas de nouvelles constructions de centrales nucléaires dans la période.

Comparaison¹¹

Par rapport au scénario tendanciel de la DGEMP, le scénario de référence de la MIES conduit à une augmentation moindre de la consommation d'énergie. Ce résultat s'explique pour l'essentiel, par des hypothèses différentes en matière de volume de trafics routiers et de place de l'électricité dans le chauffage des bâtiments. Par ailleurs, le scénario MIES intègre les effets de quelques mesures de réduction des émissions de gaz à effet de serre décidées postérieurement à décembre 1997 comme, dans les transports, l'effet de l'accord volontaire des constructeurs automobiles européens et celui d'une hausse de la TIPP sur le gazole. En conséquence, les émissions de CO₂ liées à la production et à la consommation d'énergie ressortent à 121 MteC¹² dans le scénario tendanciel en 2010 contre 118 MteC dans le scénario de référence du PNLCC (y compris la combustion des déchets).

(10) La consommation d'énergie primaire est la somme de la consommation d'énergie finale et de la consommation de la « branche énergie » (centrales électriques, raffineries, etc.). Tant en énergie finale que primaire, l'électricité est valorisée avec le coefficient de conversion officiel retenu pour la France par l'Observatoire de l'énergie, soit 0,222 tep/MWh, calculé à partir d'un rendement moyen des centrales thermiques classiques égal à 38,7 % (qui peut paraître sous-estimé sur longue période, même si les tendances indiquées n'en sont guère affectées).

(11) Voir ci-après une synthèse des bilans énergétiques globaux dans le tableau 2.

(12) De plus, le total des émissions de CO₂ résultant du scénario tendanciel inclut 7,4 MteCe d'émission des soutes internationales, non prises en compte par le protocole de Kyoto.

Malgré cette différence de trois MteC à l'horizon 2010, le point à souligner est que les ordres de grandeur des deux scénarios sont les mêmes ; en particulier, tous les deux font clairement apparaître des tendances lourdes d'augmentation structurelle de la demande d'énergie, particulièrement dans les transports, et donc la nécessité de prendre des mesures volontaristes pour stabiliser les émissions de gaz à effet de serre.

Les différents scénarios évoqués reposent sur des hypothèses économiques pratiquement identiques, résultats de travaux scientifiques ayant leur cohérence. Même si elles peuvent être discutées, elles n'en sont pas moins vraisemblables. Elles prennent notamment en compte une modification structurelle de l'économie ayant pour conséquence une croissance de la consommation d'énergie n'évoluant pas proportionnellement à la croissance économique.

En revanche, ces différents exercices ont tous manifesté une grande difficulté à tirer les conséquences de l'ouverture des marchés européens du gaz et de l'électricité en termes de parts de marché entre fournisseurs compétiteurs, en termes de prix aux consommateurs finals, et en termes de réorganisations possibles de la distribution au niveau local.

Nous sommes donc en face d'une multiplicité d'exercices prospectifs réalisés en France pour évaluer la consommation d'énergie, toujours dans des objectifs différenciés très précis.

Tableau 2
Synthèse des bilans énergétiques globaux
Consommation finale énergétique (Mtep)

	S1		S2		S3		DGEMP tendanciel	
	2010	2020	2010	2020	2010	2020	2010	2020
Industrie	64,2	72,8	63,2	70,0	58,1	61,7	65,8	75,3
Tertiaire	42,4	47,0	40,4	42,4	37,0	35,6	113,6	125,6
Résidentiel	72,3	77,6	68,2	70,3	63,9	62,2		
Agriculture	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4
Transport	64,6	78,6	61,1	71,6	54,6	59,3	52,1	79,3
Sous-total	246,8	279,4	236,3	257,7	217,0	222,2	248,4	283,7
Consomm. finale non énergétique	17,7	20,3	18,6	22,1	17,0	18,2	18,8	21,1
Total	264,5	299,7	254,9	279,8	234,0	240,4	267,2	304,8

Tableau 2 (suite)

	Référence du PNLCC (1)		Sans mesure (2)		Avec mesures existantes (2)		PNLCC (2)	
	2010	2020	2010	2020	2010	2020	2010	2020
Industrie	67,4	76,5	65,1	74,6	63,4	72,6	60,5	68,0
Tertiaire	39,6	41,4	46,9	56,3	44,9	50,1	42,7	44,3
Résidentiel	66,7	68,6	71,0	77,8	66,5	71,0	64,5	66,0
Agriculture	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4
Transport	58,0	65,7	64,3	73,9	59,9	68,0	55,3	58,3
Sous-total	235,1	255,5	250,8	285,9	238	265,1	226,3	239,9
Consomm. finale non énergétique	17,9	21,6	15,0	17,2	15,0	17,2	15,0	17,2
Total	253,0	277,1	265,8	303,1	253,0	283,3	241,3	257,1

(1) Scénario de référence utilisé par la MIES en 1999 pour l'élaboration du PNLCC, correspondant à celui préparé pour la 2^e communication nationale

(2) Il s'agit des trois scénarios élaborés par la MIES pour la 3^e communication nationale en 2001

Les scénarios préparés pour la 3^e communication nationale

Trois projections ont été construites par ENERDATA à l'aide du modèle MEDEE-ME, sur la demande de la MIES, pour la 3^e communication nationale :

- une **projection dite « sans mesure (SM) »**, indiquant la trajectoire de la demande d'énergie et des émissions de CO₂ d'origine énergétique (CO₂-énergie) en l'absence de toute mesure visant spécifiquement la réduction des émissions de gaz à effet de serre postérieurement à 1990, dans le cadre socio-économique général de la projection tendancielle de la DGEMP ;
- une **projection « avec mesures existantes (AME) »**, indiquant la trajectoire de la demande d'énergie et des émissions de CO₂ que devraient induire toutes les mesures visant spécifiquement la réduction des émissions de gaz à effet de serre et effectivement mises en œuvre avant le 31/12/1999 ;

- une *projection « avec toutes les mesures inscrites dans le PNLCC »*, indiquant la trajectoire de la demande d'énergie et des émissions de CO₂ que pourraient induire la mise en œuvre effective de toutes les mesures visant spécifiquement la réduction des émissions de gaz à effet de serre incluses dans le PNLCC.

La projection sans mesure (SM) a un intérêt historique et diplomatique. Elle simule ce que seraient les émissions de la France en 2010 et 2020 si rien n'avait été fait pour les réduire depuis 1990. La comparaison entre SM et AME permet donc de montrer l'ampleur des efforts que la France a entrepris dans la décennie 1990 (approximativement, dès avant Kyoto).

Le scénario de référence pertinent aujourd'hui est le scénario AME¹³. C'est à partir de lui, en effet, que peut être mesuré l'effort restant à accomplir, et l'impact des mesures nouvelles du PNLCC dont la mise en œuvre effective est postérieure au 31/12/1999. C'est donc à l'élaboration de ce scénario que le groupe a décidé de contribuer.

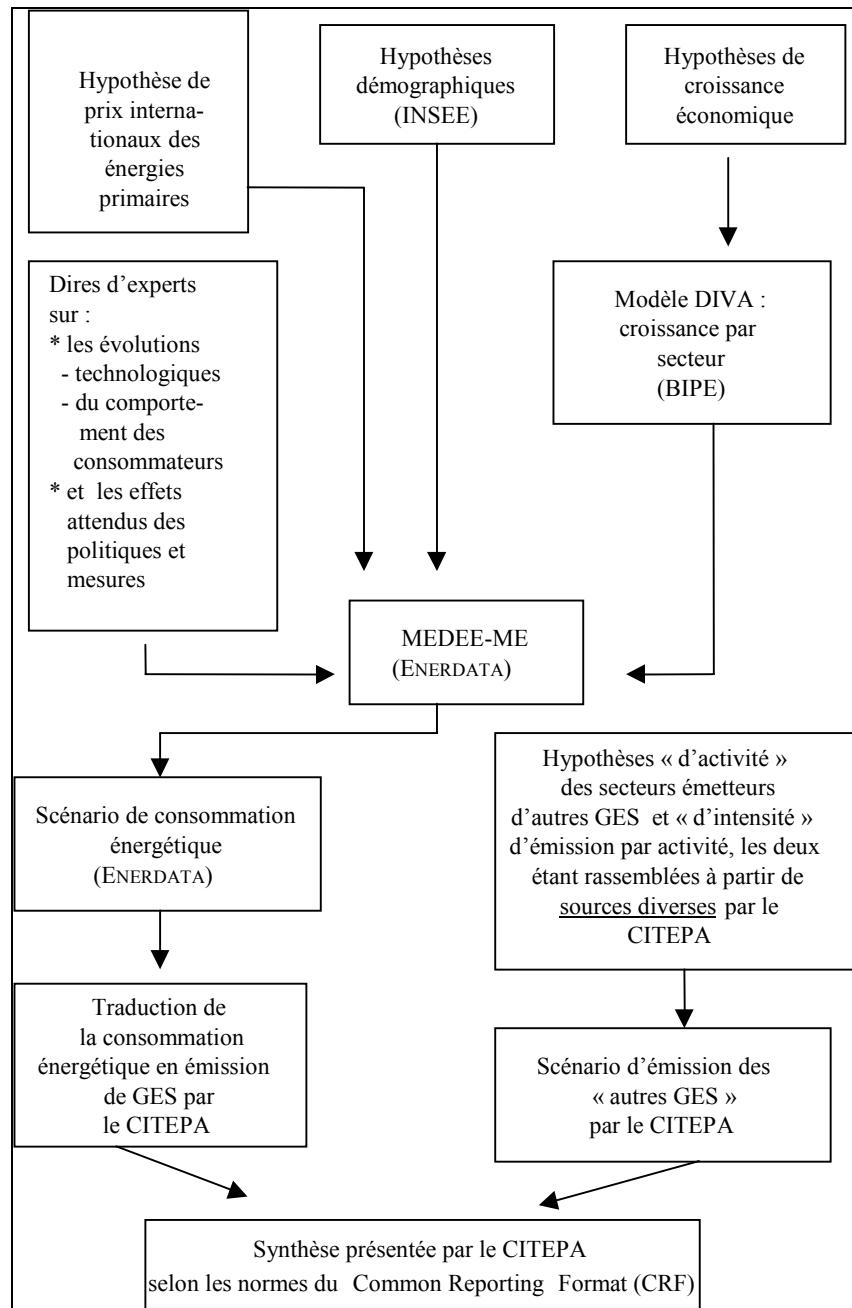
(13) Voir dans l'annexe III les principaux éléments chiffrés correspondant à ce scénario.

La méthode du scénario AME

Vue d'ensemble

Avant de résumer l'apport du groupe à ce scénario, il est utile de rappeler que sa méthode de construction est identique à celle de l'ensemble des scénarios évoqués ci-dessus (Plan, DGEMP, MIES 1999 et les deux autres scénarios de la 3^e communication). Cette méthode est résumée dans le graphique 3.

Graphique 3



On voit que, pour la partie énergétique, deux modèles sont utilisés : DIVA et MEDEE-ME. Ils sont présentés ci-après. La partie « autres gaz à effet de serre », réalisée par le CITEPA, fait l'objet d'une analyse critique en section 5.

Le modèle DIVA

Il est utilisé depuis la fin des années 1980 pour de nombreux travaux de prévisions sectorielles ou de simulation de politiques, notamment dans le cadre du Club¹⁴ DIVA qui réunit de grandes entreprises (EDF, GDF, France Télécom, SNCF, etc.) et des administrations (CGP, ADEME, ministère de l'Industrie, ministère de l'Équipement, etc.).

Le Club DIVA constitue un lieu d'échanges et de réflexions sur l'évolution de l'appareil de production à un horizon de 20 ans. Les thèmes abordés concernent des problématiques diverses : la réduction du temps de travail, la croissance endogène, l'impact des nouvelles technologies de l'information et de la communication, l'épargne à long terme, etc.

La modélisation DIVA se décompose en **quatre** blocs :

- ***Le contexte international*** – ce premier bloc permet d'élaborer des scénarios macro-économiques mondiaux sur la croissance et les échanges extérieurs par zone.
- ***La demande*** – ce deuxième bloc permet de décomposer, dans une nomenclature détaillée en quarante branches (NAP 40) les hypothèses macro-économiques exogènes concernant les éléments de la demande finale.
- ***L'offre*** – ce troisième bloc permet ensuite de déterminer la production à partir de matrices de transactions interindustrielles.
- ***Les évolutions spécifiques*** – un quatrième bloc « sur mesure » permet de décrire des évolutions spécifiques, par exemple,

(14) Le Club DIVA se réunit au sein du BIPE (Bureau d'informations et de prévisions économiques).

l'évolution sectorielle et régionale de l'emploi et de l'activité,
l'évolution sectorielle de la production de déchets, etc.

L'utilisation du modèle DIVA a permis en particulier la simulation des effets indirects de la politique économique (ou industrielle) sur l'ensemble de l'économie. Les effets indirects sont interdépendants et ne peuvent être appréhendés qu'au travers d'une approche modélisée, c'est-à-dire une construction intellectuelle des mécanismes de causalité.

Les principaux mécanismes modélisés sont les suivants :

- un mécanisme de prise en compte des « particularités structurelles » sectorielles (interdépendances sectorielles) ;
- un mécanisme de productivité qui améliore le ratio compétitivité/prix dans les équations de commerce extérieur ;
- un mécanisme de croissance endogène via le progrès technologique qui améliore la compétitivité hors prix.

Les scénarios de long terme DIVA décrivent donc l'évolution à l'horizon 2020 de l'économie française (production, importations et exportations, consommation des ménages et valeur ajoutée, etc.), en prenant en compte les interrelations entre branches, et en fournissant des résultats sectoriels cohérents issus d'un tableau entrées-sorties projeté à 2020, résultats détaillés au niveau de la nomenclature en 40 branches (NAP 40). Trois scénarios sont généralement élaborés, correspondant chacun à une hypothèse de croissance économique : moyenne, forte, faible.

En 1999, **trois scénarios** ont été construits à l'aide du modèle DIVA :

- Le **scénario « Europe »** décrit une croissance de l'économie européenne et de l'économie française, assez proche de celle connue sur longue période : 2,3 % l'an, ce qui est la croissance observée en France sur le dernier quart de siècle.
- Le **scénario « monde »** décrit la conjonction d'une économie mondiale très dynamique et d'une construction européenne réussie. Ceci permettrait une croissance moyenne supérieure d'un demi-point

environ à celle du scénario tendanciel, ce qui conduirait à des différences de niveau non négligeables.

- Le *scénario « repli »* décrit à l'inverse une Europe qui se recroqueville dans un monde peu dynamique.

Les groupes « long terme énergie » mis en place dans le passé au CGP exploraient la croissance à venir de la consommation d'énergie en France au travers des trois scénarios de DIVA. Le groupe « Energie 2010-2020 » n'a étudié que le seul scénario de croissance « médiane » (le scénario « Europe »), ENERDATA prenant en compte les projections sectorielles de l'industrie issues de DIVA pour alimenter son modèle MEDEE-ME.

Les chiffrages effectués pour la 3^e communication nationale ont repris ces projections, ainsi que les résultats d'une analyse de la consommation d'énergie des différentes branches du secteur tertiaire. Cette dernière étude a été réalisée à un niveau plus détaillé que lors des travaux antérieurs, à partir des projections DIVA, à la demande du ministère de l'Equipement. Celui-ci recherchait une meilleure connaissance des parcs immobiliers et de leur consommation d'énergie à l'horizon 2020.

Dans le scénario « Europe » utilisé d'abord dans les travaux réalisés pour « Energie 2010-2020 » puis dans les travaux d'ENERDATA pour la 3^e communication nationale, la contribution de la consommation finale à la croissance économique est du même ordre que celle observée dans le passé, celle des investissements étant supérieure et celle des échanges extérieurs moins significative (par rapport à une croissance du PIB de 2,3 % l'an d'ici 2020, la consommation finale progresserait elle aussi de 2,3 %, les investissements de 2,4 %, les importations de 4,7 % et les exportations de 4,6 %).

Le modèle MEDEE-ME

MEDEE-ME¹⁵ est un modèle technico-économique de demande projetant à long terme la demande énergétique (par secteur et par usage d'abord) sur 30 ans maximum, période correspondant au délai supposé entre la mise au point d'une technologie et sa diffusion.

C'est un modèle fortement désagrégé où la demande énergétique est appréhendée au niveau des principaux usages et services de l'énergie, pour chacun des grands secteurs de consommation (l'industrie, les transports, le résidentiel et le tertiaire). Au niveau le plus fin de la désagrégation se trouvent les modules de demande d'énergie. Chaque module est une entité à part entière à laquelle correspond une formalisation spécifique.

La nomenclature retenue est tirée directement des bilans de l'énergie et des statistiques utilisées pour décrire les usages énergétiques (eau chaude-sanitaire, chauffage, etc.) et les différentes formes d'énergie pouvant être proposées (charbon, gaz, différents produits pétroliers, électricité, chaleur urbaine, bois, biomasse pour l'industrie, énergie solaire, autres). Cette proximité avec les statistiques utilisées par les experts de l'énergie permet la traduction directe dans le modèle des « politiques et mesures » proposées pour réduire les émissions de gaz à effet de serre et facilite la compréhension des résultats et leur interprétation.

Chaque module de demande est défini à partir de conditions strictes d'homogénéité¹⁶ portant sur les agents économiques, leurs usages ou services de l'énergie et les contextes climatiques et technologiques dans lesquels ils se situent.

L'homogénéité est une condition nécessaire pour que les inévitables évolutions structurelles, sociales et économiques au sein du module,

(15) Voir une présentation des méthodes utilisées par MEDEE-ME dans le point 4 du chapitre II et sa présentation détaillée dans l'annexe IV sur l'évaluation des mesures du PNLLC.

(16) Exemple de module : le *chauffage* des *logements individuels construits avant 1975*, dans lesquels les *ménages* se chauffent avec une installation de *chauffage central*.

n'affectent que marginalement l'évolution de la demande d'énergie du module.

Dans la mesure du possible, la demande d'énergie est associée, dans le modèle, à des déterminants socio-économiques et techniques exprimés par des indicateurs physiques, seuls à même d'être explicités de façon intelligible et interprétable sur le long terme. De fait, la représentation de la demande d'énergie dans MEDEE-ME est de nature explicative et non statistique.

De par sa structure fortement désagrégée, la mise en œuvre de MEDEE-ME s'appuie sur un ensemble conséquent d'hypothèses économiques et techniques sur le long terme, la difficulté consistant à garantir à ces hypothèses un niveau minimum de cohérence au regard de la précision attendue des résultats.

MEDEE-ME ne produit pas une prévision, mais un ensemble de projections correspondant aux différents scénarios étudiés, chaque scénario reposant sur des hypothèses spécifiques. Il s'agit de cerner et de quantifier le champ d'incertitudes entourant l'évolution future de la demande, en mettant un accent particulier sur les incertitudes les plus sensibles au regard des grandes décisions à prendre.

Le modèle MEDEE-ME permet donc de chiffrer les consommations d'énergie des différentes branches sous des hypothèses différencierées liées à l'évolution des parcs et aux politiques et mesures proposées, et non pas à des variations sur les prix. Le modèle calcule ensuite les émissions de CO₂ correspondant aux usages énergétiques des combustibles fossiles, évaluations que l'on pourra comparer avec celles qui seront préparées dans une seconde étape par le CITEPA (Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique) selon la nomenclature imposée par le GIEC (IPCC en anglais).

Conclusion

Il faut rappeler qu'un scénario de référence n'est jamais, à un moment donné, que le résultat du traitement par un modèle d'un certain nombre d'hypothèses et de dires d'experts sur l'avenir. La forme que prend la

quantification de ces dires d'experts dépend du type de modèle par lequel ils sont traités.

Ceci est vrai de la méthode MEDEE-ME : les dires d'experts y prennent la forme d'hypothèses technico-économiques. Mais c'est également vrai d'autres méthodes, telles l'usage de modèles d'équilibre général, dont certains seront présentés *dans le chapitre III*. Dans leur cas, les dires d'experts sont logés dans les coefficients d'élasticités des fonctions de consommation et de production, et dans les hypothèses qui permettent de « calibrer » les modèles.

Construire un scénario de référence consensuel n'est donc jamais que le moyen d'expliciter ces dires d'experts dans un premier temps, et de réduire dans un deuxième temps, par la discussion, les divergences pour parvenir soit à un consensus, soit à des variantes dont l'origine est clairement identifiée, donc traçables et vérifiables dans le temps.

L'apport d'un scénario tendanciel est donc, beaucoup plus que le chiffre des émissions à une certaine date, l'ensemble des hypothèses sous-jacentes introduites dans le modèle.

Le groupe recommande donc qu'à l'avenir, tout exercice de projection explicite, de manière exhaustive, l'ensemble des hypothèses utilisées, ce que nous faisons dans l'annexe III pour le scénario AME auquel le groupe a contribué.

Cette publication de l'ensemble des hypothèses est en effet indispensable pour pouvoir ultérieurement : comparer les évolutions réelles au scénario de référence, identifier les sources des écarts avec les projections, accumuler ainsi des connaissances empiriques permettant d'améliorer la qualité tant des projections futures que de l'évaluation de l'impact des politiques.

Le scénario de référence consensuel pour l'énergie

Il s'agissait tout d'abord pour le groupe de choisir les hypothèses concernant la croissance économique et les prix de l'énergie (cf. graphique 3 au point 3). Les débats lancés sur ces thèmes au sein de forums spécialisés n'ont pu que conforter les hypothèses retenues par le Commissariat général du Plan dans les travaux « Energie 2010-2020 » à savoir, une croissance économique moyenne de 2,3 % l'an et, pour le prix du baril, le prix le plus récent retenu par l'AIE en valeur de 1995 de 17 \$ jusqu'en 2010, progressant de 17 \$ à 25 \$ entre 2010 et 2015 et se maintenant ensuite à 25 \$ jusqu'en 2020.

Les résultats du forum « croissance économique »

L'objectif du forum « croissance économique » mis en place dans le cadre du groupe était d'initier un débat permettant de converger vers une hypothèse consensuelle d'évolution de la croissance économique future.

L'objet n'était pas de définir une méthode irréprochable scientifiquement permettant d'obtenir une projection de croissance, mais de trouver, sur la base des études existantes, un « raisonnable » consensus solidement argumenté.

1) Eléments de référence

Les différents scénarios présentés précédemment ont tous été construits par ENERDATA sur la base des hypothèses d'évolution du PIB tirées du « scénario Europe » du modèle DIVA, soit un taux de croissance annuel moyen du PIB de 2,3 % entre 2000 et 2020.

Nous disposions aussi de 3 études récentes, aboutissant à une évaluation un peu plus « pessimiste » du taux de croissance moyen du PIB : il s'agissait d'une étude réalisée par S. Duchêne de la Direction de la Prévision du MEF (DP – MEF) ¹⁷, pour le COR (Conseil d'orientation des retraites), de projections de

(17) Etude présentée au groupe lors de sa séance inaugurale du 31 mars 2001.

croissance économique française réalisées par l'OFCE¹⁸ pour le même COR et de scénarios macro-économiques mondiaux construits par le CEPII¹⁹ à l'aide du modèle POLES. Ces études proposent les évolutions du taux de croissance potentielle du PIB suivantes :

en % / an	2001-2005	2006-2010	2011-2015	2016-2020	Moyenne 2000-2020
DP-MEFI	3	2,6	1,5	1,4	2,1
OFCE	3	1,9	1,6	1,5	2
CEPII	2,29	2,29	2	2	2,15

2) Un résumé des débats au sein du forum

Les débats se sont centrés sur les deux premières études (DP-MEFI et OFCE). Deux remarques ont émergé. La première concerne le caractère un peu « pessimiste » des projections **du niveau moyen de croissance** et la seconde s'intéresse à la **forte rupture dans le rythme de croissance** imposée par le niveau de chômage d'équilibre²⁰.

Une évaluation « pessimiste » du niveau du taux de croissance

Il faut noter qu'il ne s'agit dans ces projections que du potentiel de croissance (croissance pouvant être atteinte sans aucune politique de relance nouvelle) et non de projections de niveaux « réels ou estimés » du taux de croissance économique. Ces études peuvent justement inciter les autorités publiques à mettre en place des politiques allant dans le sens d'une plus forte croissance.

En retenant l'évolution de la croissance potentielle on fait donc l'hypothèse selon laquelle d'ici à la fin de l'horizon de nos travaux aucune politique correctrice ou de relance de la croissance ne sera mise en place.

Il a donc été considéré que l'on pouvait raisonnablement maintenir des niveaux moyens de croissance plus élevés que ceux proposés dans ces deux études.

Une « rupture » brutale du taux de croissance

(18) OFCE, « Projections macro-économiques à moyen et long terme » Conseil d'orientation des retraites, étude réalisée par V. Chauvin, G. Dupont, E. Heyer, B. Plane et X. Timbeau, février 2001.

(19) CEPII, « Constructing a World Economic Scenario 2000-2030 », étude réalisée par Nina Kousnetzoff, mars 2001.

(20) Ces 2 études supposent en effet que l'économie atteint à une certaine date son niveau de chômage d'équilibre (ou de long terme) : en 2005 pour l'étude de l'OFCE et en 2010 pour celle de la DP – MEFI.

En outre, ces deux études imposent, par construction, une rupture « brutale » du rythme de croissance du PIB. En effet, puisque l'économie atteint, à une date estimée dans l'étude OFCE et à une date donnée dans les projections de la DP-MEFI, son niveau de chômage de long terme, alors, à partir de cette date, la baisse de la population active ne peut plus être compensée par celle du taux de chômage. Le taux de croissance de l'emploi diminue donc brutalement. Il en va de même du taux de croissance du PIB, la productivité du travail étant supposée constante.

Ces hypothèses de croissance impliquent pour ce qui nous concerne de supposer implicitement - compte tenu de l'élasticité²¹ de la demande d'énergie à une variation à la baisse de la croissance du PIB qui est d'environ 0,85 - que **la demande d'énergie baisserait de 36 % en 5 ans** (entre 2011 et 2015) selon l'étude de la DP-MEFI ou **de 31 % en 5 ans** (sur la période 2006-2010) selon l'étude OFCE.

Une telle hypothèse a été considérée comme « extrêmement forte » et il a été proposé en conséquence de « lisser » le rythme de croissance du PIB, comme le propose l'étude CEPII.

3) Le point de consensus : le maintien des hypothèses de croissance du scénario « Europe » de DIVA

Outre les deux remarques résumées ci-dessus, les débats au sein du forum ont mis en lumière deux arguments supplémentaires justifiant le choix du maintien des hypothèses DIVA.

Modifier le taux de croissance du PIB aurait remis en cause la cohérence interne du modèle DIVA et aurait conduit à réévaluer l'ensemble des hypothèses servant d'entrées pour le modèle MEDEE-ME.

Enfin, la précaution nous incite à ne pas trop sous-estimer la croissance effective future pour ne pas risquer de mettre en place des politiques et mesures de lutte contre le changement climatique insuffisamment ambitieuses qui ne nous permettraient pas de tenir nos engagements de réduction des émissions de GES.

L'essentiel des différences entre les projections « de référence » ou « tendancielles » réalisées jusqu'ici venaient, puisque la méthode et les hypothèses économiques étaient les mêmes, de divergences entre « dires d'experts » (cf. graphique 3). Ces divergences concernaient en particulier les secteurs des transports et du résidentiel-tertiaire.

(21) Selon les hypothèses ENERDATA.

Le groupe a donc constitué deux équipes d'experts internes à l'administration et d'universitaires, et leur a demandé de tenter de réduire ces divergences. Les équipes ont en fait travaillé à la fois sur le scénario de référence AME et sur l'analyse des impacts des mesures nouvelles. Nous n'exposerons ici que le travail concernant le scénario AME. L'évaluation des mesures est détaillé dans les rapports des équipes (annexes V et VI) et les résultats ont été intégrés dans l'étude ENERDATA sur l'impact des mesures (annexe IV et **chapitre II**).

Transport

L'équipe transports²² devait confronter les scénarios de référence existants comme le scénario de référence du PLNCC, à savoir le scénario « B » du ministère de l'Equipement, du Transport et du Logement (METL), élaboré pour les schémas de services de transport (scénario METL), et le scénario énergétique tendanciel réalisé pour le ministère de l'Industrie (scénario DGEMP).

Les divergences entre ces deux scénarios de référence portaient principalement sur :

- les projections de trafics²³ ;
- les consommations unitaires des véhicules neufs et la prise en compte²⁴ de l'accord de l'association des constructeurs européens d'automobiles (ACEA) ;
- les émissions de CO₂ des transports routiers.

Les émissions de CO₂ des transports augmentent de 2 % par an dans le scénario tendanciel de la DGEMP et de 1,3 % par an dans le scénario METL entre 1997 et 2010. Ce dernier scénario cherche déjà à réduire les émissions, alors que le scénario DGEMP prolonge par construction les tendances passées.

(22) Voir en annexe 4V le rapport de l'équipe.

(23) La croissance des trafics est plus forte dans le scénario METL que dans le scénario tendanciel de la DGEMP.

(24) L'accord ACEA est appliqué à moins de 50 % dans le scénario DGEMP, alors qu'il l'est intégralement dans le scénario METL.

Les principaux éléments du consensus élaboré par l'équipe et pris en compte dans le scénario AME, peuvent être résumés comme suit :

En ce qui concerne les trafics, le scénario de référence retenu par l'équipe « transports » est le scénario « B » des schémas de services de transport. C'était aussi celui choisi par la MIES pour le PNLCC. Les divergences avec le scénario tendanciel de la DGEMP quant aux trafics sont de l'ordre des incertitudes courantes.

Pour les consommations et les émissions unitaires, les hypothèses retenues par le METL sont issues d'une étude réalisée par le CITEPA (Centre interprofessionnel technique d'études sur la pollution atmosphérique) et correspondent, pour les véhicules particuliers (VP) neufs, au respect de l'accord ACEA. L'engagement est réalisé dès 2008, avec une décroissance linéaire des émissions entre 1995 et 2008. L'équipe a retenu cette hypothèse.

La diminution supplémentaire attendue dès 2012 d'une 2^e phase de l'accord volontaire, non encore signée, ne devrait pas être prise en compte au titre des mesures existantes. Cette 2^e phase était néanmoins prise en compte dans la situation de référence du PNLCC de janvier 2000.

En ce qui concerne les véhicules utilitaires légers (VUL) neufs, l'étude du CITEPA suppose que leur consommation unitaire va se réduire de 20 % de 1995 à 2010, ce que l'équipe a jugé trop rapide. Un consensus a été trouvé sur la consommation unitaire des VUL, en retenant une évolution différente de celle des VP. L'équipe propose les hypothèses suivantes pour le scénario de référence : partant de l'indice 100 en 1995, la consommation unitaire des VUL atteindrait 90 en 2010 (78,7 pour les VP neufs) et 85 en 2020 (67,4 pour les VP).

Pour les poids lourds, l'analyse des hypothèses du METL de diminution des consommations unitaires, reprises de l'étude du CITEPA, a conduit l'équipe à les atténuer à cause des normes antipollution à venir.

En résumé, entre *le scénario de référence* du PNLCC (scénario « B » du METL) préparé dans le cadre de l’élaboration des schémas de services de transport et *le scénario tendanciel* de la DGEMP, l’équipe « transports » a retenu comme référence le scénario du PNLCC, avec de légères modifications²⁵.

Les consensus sont souvent apparus comme des « dires moyens d’experts » plutôt que les résultats de travaux économiques approfondis, la crédibilité des consensus étant le plus souvent liée à la diversité des personnalités engagées dans l’équipe.

Bâtiment

La référence utilisée pour la préparation du PNLCC dans le secteur du bâtiment (résidentiel et tertiaire) était le scénario (S2) « Etat industriel » du Commissariat général du Plan.

Les travaux menés par *l’équipe bâtiment*²⁶ avaient pour premier objectif d’analyser cette référence et de contribuer à l’élaboration de la nouvelle situation de référence, à intégrer dans le scénario AME.

La construction de cette nouvelle situation de référence s’est faite sur la base des scénarios prospectifs existants pour l’énergie, comme les trois scénarios du CGP (avec le scénario (S2) comme référence du PNLCC) et le scénario tendanciel DGEMP, et d’études spécialisées sur le bâtiment²⁷.

L’équipe devait rechercher un consensus sur plusieurs points spécifiques²⁸ consistant, soit à valider les hypothèses existantes du

(25) L’équipe « transports » a retenu comme référence le scénario du PNLCC pour les trafics et a proposé quelques amendements pour les consommations unitaires des VUL et des poids lourds (PL).

(26) Voir en annexe VI le rapport de l’équipe.

(27) Il s’agissait d’un scénario tendanciel construit par le CEREN à la demande du service d’études statistiques (SES) du METL et d’une étude récente menée par ENERDATA et portant sur les projections des consommations d’énergie et d’émissions de CO₂ dans le résidentiel et le tertiaire pour le compte du même SES.

(28) Comme :

- l’utilisation du bois comme moyen de chauffage ;
- l’utilisation des réseaux de chaleur dans les logements collectifs neufs ;

scénario de référence du PNLCC, c'est-à-dire le scénario (S2) du CGP, soit à proposer de nouveaux chiffrages.

Les points de consensus trouvés

Pour ce qui concerne *l'utilisation du bois comme moyen de chauffage* dans les usages résidentiel et tertiaire, les *consommations unitaires de chauffage des bâtiments de l'État* et les *consommations unitaires de chauffage des bâtiments résidentiels*, l'équipe a décidé après analyse de conserver les hypothèses du scénario (S2) du CGP et de les intégrer telles quelles dans le scénario AME.

Sur la base des évolutions passées des *utilisations des réseaux de chaleur*, l'équipe a estimé que la croissance supposée de la part de marché du chauffage urbain dans les logements collectifs neufs dans le scénario (S2), 12 % d'ici à 2010 et 15 % d'ici à 2020, était fortement surestimée. Elle a retenu pour le scénario AME une croissance de 3 % jusqu'en 2010 et 3 % entre 2010 et 2020.

Ces nouvelles hypothèses retenues pour l'évolution des réseaux de chaleur ont modifié les *parts de marché relatives des énergies de chauffage*.

Bien qu'en forte croissance dans le résidentiel et dans le tertiaire depuis quelques années, l'équipe a retenu un infléchissement de *consommation d'électricité spécifique*. La nouvelle situation de référence retenue correspond aux projections du scénario tendanciel de la DGEMP.

Le ralentissement de la croissance démographique réduira les besoins en logements supplémentaires et donc le rythme de *constructions neuves dans le résidentiel*, comme indiqué dans les statistiques de l'INSEE et

-
- *les parts de marché des énergies de chauffage* ;
 - *l'évolution des besoins en électricité spécifique* ;
 - *les hypothèses de constructions neuves dans le résidentiel* ;
 - *la dynamique des consommations pour l'eau chaude sanitaire (ECS)* ;
 - *l'évolution des consommations unitaires de chauffage des bâtiments de l'État* ;
 - *l'évolution des consommations unitaires de chauffage dans le résidentiel* ;
 - *et l'évolution des consommations unitaires de chauffage dans le tertiaire*.

repris dans le scénario (S1) du CGP. Cette évolution a été retenue comme nouvelle référence.

Les hypothèses retenues dans le scénario de référence du PNLCC en termes de ***consommations d'eau chaude sanitaire et d'énergie de cuisson*** (+ 67 % entre 1990 et 2020) ont paru à l'équipe extrêmement élevées. L'équipe a adopté les hypothèses de croissance plus faibles retenues dans le scénario tendanciel SES-CEREN.

Malgré les nombreuses incertitudes qui subsistent quant à l'évolution des ***consommations unitaires de chauffage des bâtiments tertiaires***, l'équipe a remis en cause l'hypothèse de quasi stabilité de l'indice d'isolation par mètre carré (pour les bâtiments neufs et anciens) retenue dans le scénario de référence du PNLCC pour la période 1995 à 2020. Elle a estimé que le progrès des techniques et des matériaux utilisés dans le secteur résidentiel se diffuse, au moins en partie, aussi dans les bâtiments tertiaires.

Les questions restées sans réponse

Un certain nombre de questions soulevées lors des travaux de l'équipe sont restées sans réponse²⁹ - soit par insuffisance de données, soit par insuffisance d'expertise ou de recul - ; compte tenu de leur importance, elles mériteraient une attention plus importante dans les travaux futurs.

La première question importante restée sans réponse était la comptabilisation de ***la climatisation*** : doit-on intégrer la climatisation dans l'électricité spécifique ? Si la réponse est oui, comment prendre en compte le gaz naturel utilisé dans la climatisation ? Une solution pourrait être de regrouper la climatisation avec le chauffage.

D'autres problèmes concernent ***l'évolution de l'utilisation du fuel lourd dans le secteur tertiaire*** ou ***la prise en compte***³⁰ ***des constructions neuves***. Doit-on relier l'évolution du nombre de logements neufs aux seules évolutions démographiques (comme c'est le cas actuellement) ? ou doit-on simultanément la rendre cohérente avec les hypothèses de croissance économique ?

Au-delà de l'élaboration du scénario de référence AME, l'équipe a donc ouvert beaucoup de questions qu'il faudra étudier par la suite. Il sera en outre indispensable d'homogénéiser les ***sources de données utilisées*** pour construire les scénarios.

(29) Ces questions étaient de divers ordres, elles portaient tout autant : sur l'hétérogénéité des sources de données utilisées ; que sur le mode de comptabilisation de la climatisation ; ou encore sur la vraisemblance des projections concernant l'utilisation du fuel lourd dans le secteur tertiaire ; ou enfin sur la façon de comptabiliser les constructions neuves et l'adéquation entre le rythme de ces constructions et les hypothèses macro-économiques retenues dans le scénario de référence.

(30) Prend-on en considération les permis ? les démarriages de construction ? les constructions effectives ? Sachant qu'en considérant les permis, on risque de gonfler le nombre de constructions neuves.

Conclusion

On dispose désormais avec le « scénario avec mesures existantes au 31/12/1999 de la 3^e communication nationale » (AME) d'un scénario de référence consensuel pour l'énergie. Conformément à la proposition ci-dessus, ses hypothèses sont explicitées de manière détaillée dans l'annexe III.

Le groupe propose que cet exercice soit renouvelé avant la prochaine communication nationale (2005), dans des conditions qui seront précisées dans la suite de ce rapport et résumées dans la synthèse des recommandations (chapitre V).

Le scénario pour les autres gaz

L'évaluation de la demande d'énergie permet de calculer les émissions de CO₂ liées au secteur énergétique. Il reste à considérer les autres gaz et secteurs contribuant à l'effet de serre, à savoir les six gaz³¹ retenus dans le cadre du protocole de Kyoto : le dioxyde de carbone CO₂ ; le méthane CH₄ ; le protoxyde d'azote N₂O ; les hydrofluorocarbures HFC ; les perfluorocarbures PFC et l'hexafluorure de soufre SF₆.

C'est le CITEPA (Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique) qui est chargé d'estimer les émissions de ces différents gaz en suivant les nomenclatures définies par les Nations Unies (Common Reporting Format CRF) au titre des inventaires nationaux d'émissions. Ces inventaires annuels³² permettent à la France d'honorer ses engagements nationaux ou internationaux et en particulier ceux découlant de la convention-cadre des Nations Unies sur le changement climatique (UNFCCC).

Suite à ces inventaires, l'exercice de projection réalisé par le CITEPA pour la préparation du PNLCC se décompose en deux parties : la

(31) *Ces gaz représentaient 30 % des émissions françaises de GES en 1999.*

(32) *Le CITEPA réalise plus généralement les inventaires nationaux pour l'ensemble des émissions polluantes. Ces inventaires répondent à différents besoins comme ceux des conventions et protocoles internationaux, ceux des directives européennes, de la loi sur l'air, etc.*

première consiste à traduire en CO₂, CH₄ et N₂O les consommations d'énergie déterminées par ENERDATA pour la catégorie CRF1 ; dans la seconde, le CITEPA réalise les projections d'émissions pour l'ensemble des gaz à effet de serre des autres catégories ³³ CRF (CRF2, 3, 4, 6) ainsi que celles du CO₂ émis par les procédés industriels.

Pour chaque source émettrice retenue, le CITEPA propose une évaluation des principaux paramètres agissant sur le niveau d'émissions : à savoir le niveau d'activité caractéristique de la source et les facteurs d'émissions spécifiques associées (directement influencés par les réglementations et autres mesures, et par les évolutions technologiques prévisibles).

Toutes les émissions sont calculées en « CO₂ ultime net », c'est-à-dire que tout le carbone émis est supposé se transformer en CO₂ quelle que soit la forme réelle émise et les émissions sont diminuées des absorptions par les puits ³⁴ (photosynthèse et fixation/perte de carbone dans les sols).

Le CITEPA utilise, pour chacun des gaz, son potentiel de réchauffement global (PRG) : celui-ci est déterminé sur la base de coefficients définis par le GIEC pour un horizon de 100 ans.

Pour répondre aux besoins du PNLCC, les projections sont calculées ici encore aux horizons 2010 et 2020 pour les trois scénarios, « avec mesures existantes », « sans mesure » et « avec mesures additionnelles du PNLCC ».

(33) *Les projections d'émissions du LULUCF « Land-Use and Land-Use Change and Forestry » (CRF5 « émissions nettes liées à l'utilisation des terres et aux changements d'utilisation des terres et à la sylviculture ») ne sont pas traitées par le CITEPA. Toutefois, les émissions relatives au brûlage du bois sur site et aux utilisations à des fins énergétiques dans les différents secteurs ont été affectées à ces derniers, mais comptabilisées à part. Il convient d'y prêter attention dans le cas où le LULUCF serait considéré à part, ce qui pourrait engendrer un double compte.*

(34) *D'importantes incertitudes existent sur l'évaluation de ces puits, incertitudes comparables à celles que l'on retrouve dans l'évaluation des émissions de CO₂ pour l'ensemble des activités agricoles.*

Des critiques portent sur ces évaluations purement quantitatives

Pour traduire l'effet des mesures réglementaires adressées à l'industrie, le CITEPA suppose qu'à partir d'une « certaine » échéance (variable selon les mesures et selon le secteur industriel concerné) l'industriel les respectera. Mais l'impact des mesures pour une année donnée dépendra fortement par ailleurs, de l'activité de cette industrie l'année considérée, et les prévisions d'activité sont supposées ne pas varier en fonction du contexte réglementaire.

Hors industrie, le CITEPA utilise des modèles élaborés par différents organismes comme la Direction de la Prévision ou le ministère de l'Agriculture sans pouvoir assurer de ce fait une quelconque homogénéité des sources. Ces modèles sont en effet construits, d'une part, sur la base d'hypothèses macro-économiques (croissance, inflation, chômage, etc.) ou d'évolution des prix des énergies différentes de celles retenues dans le scénario consensuel utilisé par MEDEE-ME et, d'autre part, en considérant des nomenclatures sectorielles différentes, donc impossibles à agréger.

Pour les mesures ayant des effets sur les prix, le CITEPA n'est pas à même d'en calculer l'impact³⁵ en terme de réduction des émissions d'un polluant. Une telle mesure doit être au préalable traduite par un autre organisme, en termes de contraintes sur les quantités.

Les inventaires d'émissions sont préparés par le CITEPA avec la participation des ministères concernés. La Direction de la prévention des pollutions et des risques (DPPR) du MATE qui finance l'inventaire annuel sur le budget du MATE, exerce une mission de contrôle sur les résultats et convoque chaque année les administrations compétentes pour un exercice de validation, en novembre ou en décembre, avant communication de l'inventaire à la Commission européenne.

(35) Il n'est pas possible par exemple de calculer l'effet d'un alourdissement de la taxe de mise en décharge sur le volume des déchets mis en décharge et donc sur les émissions de gaz liées aux déchets.

Cas particulier du secteur agricole

Ce secteur est important car il recouvre, à travers les émissions de CH₄ et de N₂O plus de 15 %³⁶ des émissions de gaz à effet de serre (seconde source d'émissions de GES après le CO₂ énergétique qui en représentait 72,3 % en 1999), d'autant plus que selon une étude³⁷ menée par la Commission européenne, ces évaluations semblent fortement sous-estimées. Le ministère de l'Agriculture et le ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie disposent aujourd'hui du modèle MAGALI. Mais ce modèle, réalisé pour évaluer l'impact de scénarios de politique agricole se fonde sur des hypothèses différentes de celles retenues pour l'énergie et n'est pas véritablement adapté à l'évaluation de mesures visant à réduire les émissions de GES. A partir de prévisions d'activité détaillées, on applique des coefficients d'émissions et des divergences importantes subsistent entre ses résultats et les projections empiriques faites par les experts des différents secteurs professionnels.

L'évaluation des mesures relève donc, de l'avis même de ceux qui les réalisent, d'approximations reproduites d'un « programme » à l'autre sans qu'aucune procédure formelle d'évaluation ne soit mise en place.

Par ailleurs, on retrouve pour le secteur agricole des problèmes très proches de ceux apparus dans d'autres secteurs en liaison avec la définition des mesures devant être prises en compte³⁸ dans la lutte contre l'effet de serre.

(36) *L'inventaire 1999 des gaz à effet de serre émis en France donne pour l'agriculture un total d'émissions en tonnes équivalent carbone de 23 613 sur un total des émissions de 150 097, soit près de 16 % du total.*

(37) « *Economic Evaluation of Sectoral Emission Reduction Objectives for Climate Change* », étude disponible sur le site « http://europa.eu.int/comm/environment/enveco/climate_change/sectoral_objectives.htm ».

(38) *Dans les mesures existantes (période 1990-1999) doit-on prendre en compte par exemple la réforme de la PAC (1992), les directives européennes sur les nitrates ou la loi sur l'eau, celles-ci ayant des conséquences indirectes sur l'effet de serre. Dans les mesures nouvelles (période 2000-2020) doit-on (et comment) prendre en compte la réforme de la PAC 2000 ?*

Les émissions et absorptions de carbone liées aux forêts françaises et aux changements d'usages des sols³⁹

On ne dispose pas, à ce stade, de modèle formalisé permettant de calculer les émissions/séquestrations de carbone de la catégorie changement d'utilisation des sols et forêts. Dans les communications nationales, la MIES s'est appuyé sur des extrapolations fondées sur les séries statistiques passées.

Les principaux postes à prendre en compte sont :

- En matière de forêts

Le stockage de carbone dans la biomasse forestière, résultant de l'accroissement des surfaces boisées et de la croissance des arbres dans les forêts existantes : l'IFN (Inventaire forestier national) dispose de séries sur les vingt dernières années pouvant servir de base à une analyse de séries chronologiques.

Le stockage de carbone dans le sol : faute d'informations plus précises, la MIES a supposé que le stock sous forêt était à l'équilibre.

Le déstockage de carbone résultant de la récolte de bois d'œuvre, d'industrie et de feu : ici encore, la MIES s'est pour l'essentiel appuyée sur une analyse statistique des séries passées complétées par des dires d'experts le cas échéant. Il convient de rappeler que la règle internationale en vigueur à ce jour suppose que le carbone contenu dans un arbre est immédiatement libéré dans l'atmosphère au moment de l'abattage. Cette réglementation simplificatrice ne correspond bien entendu pas à la réalité et ne fournit aucun crédit aux actions de développement de l'utilisation de bois d'œuvre.

- En matière de changement d'utilisation des sols

(39) Voir les documents II et III du volume complémentaire du CGP : l'un est relatif aux projections des émissions de CO₂ du LUCUCF ; l'autre aux émissions et puits de carbone liés aux forêts françaises et au changement d'usage des sols : projections à l'horizon 2020.

Dans la seconde communication nationale, la MIES avait considéré les mouvements de terres entre cultures et pâaturages qui donnent lieu à des flux importants de carbone, les quantités de carbone sous cultures étant sensiblement plus faibles que celles sous pâaturages. Des études agronomiques réalisées par l'INRA ont permis de préciser le profil temporel des émissions/séquestrations associées à de telles modifications dans l'usage des terres agricoles. Des hypothèses exogènes sur l'évolution de la surface agricole par type d'usage au cours de la période de projection ont alors permis de quantifier les flux de carbone pour les années 2010 et 2020.

A l'occasion de la 3^e communication nationale, le CITEPA a considéré l'ensemble des mouvements de terres entre forêts, pâaturages et terres arables et a appliqué les facteurs d'émissions standards par défaut proposés par le GIEC.

Le calcul de l'impact des mesures envisagées dans les plans successifs de lutte contre l'effet de serre est relativement aisé dans la mesure où celles-ci sont, en général, exprimées sous forme d'objectifs quantitatifs ; niveau de boisement annuel de terres agricoles, quantité supplémentaire de bois d'œuvre valorisé, consommation supplémentaire de bois énergie.

L'évolution tendancielle du volume des déchets à mettre en décharge est une autre variable à prendre en compte

Ce sujet est important du fait des incertitudes mises au jour par les divergences d'évaluations entre scénarios (plutôt qu'en raison du poids relatif de ce secteur par rapport aux émissions totales de GES 3 %).

De larges écarts ont été notés en particulier entre les données issues de l'exercice de projection réalisé dans le cadre de la préparation de la 3^e communication nationale et celles sur lesquelles se sont basées les mesures prévues dans le PNLCC⁴⁰. En outre, les variables retenues concernent, d'une part l'évolution des volumes et la nature des déchets produits, d'autre part les effets de la politique nationale en matière de déchets sur les parts de marché des

(40) On notera que les méthodologies d'inventaire ont été améliorées entre le PNLCC et la 3^e communication nationale et que les effets de la couverture des décharges sont comptabilisés en particulier parmi les mesures existantes.

différents modes de traitement ainsi que sur les pratiques de gestion des équipements.

En conséquence, les ordres de grandeur des données prévisionnelles sont susceptibles de varier en fonction de l'évolution des volumes et des modes de traitement, des hypothèses retenues pour bâtir les scénarios, ainsi que des méthodes d'estimations adoptées pour les inventaires.

En conclusion, s'agissant des autres gaz, nous sommes face simultanément à un pluralisme de sources, à la nécessité de prendre en compte les effets de progrès techniques mal connus, à l'absence de processus systématiques de validation de résultats.

La prise en compte de ces « autres gaz » devant prendre une importance croissante dans les inventaires d'émissions, le groupe propose un effort national pour que l'importance donnée à l'évaluation des autres gaz soit au même niveau que celle donnée au CO₂ énergétique. Une stabilisation méthodologique est d'autant plus urgente que la France devra avant 2006 fixer officiellement les données à retenir pour l'année de référence des objectifs de Kyoto.

Face aux difficultés méthodologiques mises au jour, le groupe suggère de développer des travaux pour fiabiliser les données, et anticiper ainsi l'échéance de la prochaine communication nationale (2005).

CHAPITRE II

Évaluation des mesures du PNLCC

La seconde mission du groupe était de faire une analyse critique des modèles et méthodes utilisés en France et à l'étranger pour construire des scénarios de référence et évaluer l'impact des politiques et mesures. Ce chapitre est consacré à l'analyse critique de la méthode utilisée dans la 3^e communication nationale pour évaluer l'impact du PNLCC, méthode fondée (en ce qui concerne le CO₂ énergétique) sur l'utilisation du modèle MEDEE-ME.

La section 1 présente une typologie des mesures du PNLCC et rappelle comment elles ont été élaborées. La section 2 résume les travaux de mesures d'impacts, ex ante ou ex post, conduits avant la 3^e communication nationale et les difficultés méthodologiques rencontrées. La section 3 propose une synthèse des problèmes méthodologiques que soulève l'évaluation de l'impact des politiques et mesures. La section 4 analyse la méthode utilisée par ENERDATA, fondée sur MEDEE-ME, pour évaluer l'impact du PNLCC. La section 5 résume les critiques que l'on peut formuler à l'égard de la présentation du PNLCC et de son évaluation pour la 3^e communication, et formule des recommandations.

Typologie des mesures présentes dans le PNLCC

Le PNLCC évalue à 16 MteC l'effort additionnel de réduction des émissions de GES nécessaire au-delà des mesures déjà décidées pour permettre à la France de satisfaire ses engagements relatifs aux accords de Kyoto, c'est-à-dire de retrouver en 2010 son niveau d'émissions de 1990. Pour y parvenir, la MIES a identifié une batterie de politiques et mesures regroupées en trois catégories.

Le PNLCC identifie en premier lieu *les mesures dites de première catégorie*. Ces mesures se caractérisent par leur faible coût (voire par

leurs coûts négatifs), par le fait d'être « sans regret » (on pourrait y recourir indépendamment des préoccupations relatives au climat), ou encore par le fait que leur justification relève en premier lieu d'autres motivations indépendantes de l'effet de serre. Ces mesures sont très proches, par leur nature, de celles qui avaient été retenues dans les programmes préparés avant Kyoto : réglementations, actions de maîtrise des consommations d'énergie dans le secteur du bâtiment et dans les usages d'électricité spécifique, amélioration de l'exploitation du système de transports, etc.

L'effet de ces mesures sur la consommation d'énergie et conséquemment sur les émissions de GES est évalué à prix de l'énergie, du carbone fossile et de ses équivalents inchangés.

Le recours aux instruments économiques (fiscalité en particulier), par leurs effets sur les prix, permet d'aller plus loin dans la maîtrise des émissions en infléchissant directement les comportements de consommation et en incitant les producteurs à adapter leurs produits et leurs technologies, *ce sont les mesures dites de seconde catégorie*. La mise en œuvre de cette approche économique se traduit, par exemple dans le PNLCC, par l'instauration d'une fiscalité sur le carbone fixée en fonction d'un prix de référence de la tonne équivalent carbone à l'horizon 2010. Cette taxe aura des effets différenciés entre énergies selon leur teneur en carbone.

La mise en œuvre d'actions structurelles de long terme vient compléter l'action des mesures de première catégorie et de la taxation. Ces actions concernent en particulier les secteurs affichant une tendance structurelle à la hausse des émissions comme le secteur du « bâtiment-tertiaire », celui de la « production d'énergie » ou surtout celui des « transports ».

L'élaboration du PNLCC s'est faite sous la responsabilité de la Mission interministérielle de l'effet de serre (MIES) en trois phases successives, suivie chacune par l'évaluation de l'effet des différentes mesures proposées :

- identification de mesures de type classique (réglementation, incitation, sensibilisation, etc.) ;
- introduction de mesures de type taxation ;

- modification structurelle des infrastructures devant essentiellement porter ses fruits durant la décennie 2010-2020.

Un groupe chargé de la méthodologie économique accompagnait les travaux réalisés par les équipes sectorielles. Il devait veiller à ce que « autant que possible » les groupes sectoriels⁴¹ suivent une grille d’analyse mettant l’accent sur quatre aspects : le contexte dans lequel s’inscrit la mesure ; son bilan coûts-avantages⁴² ; la discussion du choix des instruments ; la dimension européenne. Ces quatre éléments apparus déterminants devaient systématiquement être discutés dans toute étude d’impact.

Cette analyse menée dans chacun des groupes sur le « coût à la tonne de carbone évitée » devait permettre en particulier d’identifier les mesures se caractérisant par leur faible coût, par leurs coûts négatifs (effet de double dividende), par le fait d’être « sans regret » ou encore par le fait que leur efficacité portait en priorité sur d’autres éléments que l’effet de serre (mais à laquelle celui-ci gagnait).

Près d’une centaine de mesures et d’actions de type réglementaire avaient été retenues à partir de ces travaux⁴³. Ces mesures, dites de « première catégorie » très proches par leur nature de celles qui avaient été retenues jusqu’en 1997,

(41) Six groupes de travail sectoriels se sont réunis de janvier à mai 1999. Les secteurs concernés étaient : l’industrie, les transports, les bâtiments, l’agriculture et les déchets, la maîtrise de l’énergie, l’énergie.

(42) Les bilans coûts-avantages étaient considérés par ce groupe comme l’élément clef de l’évaluation même s’il constatait que « compte tenu de la diversité des problèmes à étudier, les données manquent souvent pour mener à terme les calculs. Cependant, la très grande hétérogénéité des coûts constatée lorsque les calculs ont pu être menés au bout, montre les enjeux en termes d’efficacité de la sélection des mesures les plus performantes ».

(43) Selon les secteurs et les mesures, les données sur les coûts à considérer - notamment lorsqu’il s’agit de réglementations - ou sur les économies d’émissions ont été plus ou moins faciles à mobiliser. Les résultats sont très hétérogènes selon les secteurs : dans le secteur du logement et de l’agriculture, on trouve essentiellement des mesures sans regret ; pour l’industrie, il en allait de même pour certaines réglementations en cours de mise en œuvre ; au contraire, les coûts des mesures envisagées dans les transports apparaissaient élevés ; enfin on n’identifiait pas réellement de nouvelle mesure susceptible de réduire les émissions de CO₂ dans l’industrie.

permettraient de réaliser directement près de la moitié des 16 MteC nécessaires pour retrouver en 2010 le niveau de 1990.

Un recours aux instruments économiques était donc le complément nécessaire pour atteindre l'objectif de stabilisation. Deux modèles, dont le découpage géographique isole la France, ont été utilisés pour évaluer l'incidence de ces instruments économiques ; il s'agit de GEMINI-E3 développé par des experts du METL et du CEA et de POLES développé par l'IEPE.

Cette organisation du travail par petits groupes sectoriels a très vite posé des problèmes de cohérence. Des dires d'experts parfois contradictoires se sont imposés pour proposer des résultats souvent incohérents et ont rendu l'analyse des estimations très difficile à réaliser.

Le résultat est que, malgré des travaux préparatoires en ce sens, la présentation du PNLCC n'explique pas clairement la méthode de calcul des impacts des politiques et mesures et ne donne aucune évaluation du coût des mesures.

Les travaux disponibles antérieurement à la 3^e communication nationale

Rapport de l'instance d'évaluation⁴⁴ des politiques publiques de maîtrise de l'énergie entre 1973 et 1993

Les problèmes rencontrés dans l'évaluation *ex-ante* des mesures retenues dans le PNLCC sont très proches des problèmes déjà mis en lumière dans le passé par l'instance évaluant *ex-post* la politique publique pour la maîtrise de l'énergie menée en France entre 1973 et 1993. Ainsi, dans la préface du rapport, Yves Martin évoquait déjà les difficultés d'évaluation d'une politique. Il précisait : « *Les travaux effectués par l'instance n'ont*

(44) *Evaluation (réalisée par l'instance présidée par Yves Martin) de la politique de maîtrise de l'énergie menée en France de 1973 à 1993. Le rapport a été publié en janvier 1998 à La Documentation française.*

pas permis d'établir un compte d'exploitation, en dépenses et recettes, mettant en évidence le bénéfice (ou le déficit) de cette politique. D'une part en effet, il n'a pas été possible d'identifier la dépense publique attachée à cette politique (...). D'autre part, nous n'avons pu évaluer quelle part des économies réalisées était la conséquence effective de la politique menée et non le résultat direct de la hausse du prix du pétrole de 1974 à 1985 (...). Nous avons en revanche pu procéder à l'analyse des forces et des faiblesses de chacun des outils utilisés par la politique de maîtrise de l'énergie. Nous avons constaté qu'il subsiste un champ important d'économies d'énergies rentables, malgré le bas prix de l'énergie. Nos travaux n'ont pas permis de dire si le niveau de l'action menée entre 1973 et 1993 était optimal ; mais ils mettent en évidence les approches les plus efficaces à utiliser si l'on veut relancer la maîtrise de l'énergie... ».

Les actions sur la consommation d'énergie étaient classées, dans le rapport de l'instance, pour chaque secteur consommateur d'énergie en deux groupes : les actions volontaires d'économie d'énergie et les actions liées aux forces du marché, considérées comme extérieures au champ de l'action publique.

Trois approches avaient été retenues par cette instance pour mesurer « l'efficacité énergétique » du pays :

- une **approche technique** détaillée dans laquelle il était possible de mesurer l'efficacité énergétique d'un usage final déterminé (consommation unitaire d'un logement, d'un véhicule, d'une production industrielle). L'inconvénient de cette méthode était l'impossibilité de tenir compte des effets de substitutions pouvant s'opérer entre différents usages correspondant à un même service rendu ;
- une **approche globale** susceptible de suivre la performance énergétique globale de la société. Cette approche, fondée sur le calcul des intensités énergétiques primaire et/ou finale, permettait de distinguer, d'une part les évolutions des intensités énergétiques résultant des effets de structure, d'autre part les évolutions d'intensité énergétique considérées comme d'origine technique.
- une **approche économétrique** mettait en évidence les différents facteurs explicatifs de l'évolution des consommations françaises d'énergie et

calculait les effets induits par les dépenses publiques de maîtrise de l'énergie.

L'approche économétrique s'est faite en *deux étapes*.

Dans une *première étape* limitée à l'industrie, les activités productives ont été décomposées en dix branches et pour chacune d'entre elles on a estimé⁴⁵ les coefficients d'une fonction de production distinguant dans l'évolution des consommations d'énergie en volume par unité produite ce qui est dû :

- à une substitution de facteurs liée à la variation de leurs coûts et notamment à celle du prix de l'énergie ;
- au progrès technique ;
- aux rendements d'échelle.

Enfin la dépense d'intervention de maîtrise de l'énergie de l'Agence hors R & D était précisée.

Dans une *seconde étape* étendue au secteur résidentiel et tertiaire, un bouclage macro-économique a été effectué à l'aide du modèle HERMÈS. Ce bouclage a permis de quantifier les effets des dépenses publiques de maîtrise de l'énergie sur les principales variables macro-économiques que sont le PIB, l'emploi, la consommation finale des ménages et le solde extérieur. Le modèle HERMÈS n'étant qu'un instrument de bouclage macro-économique, il a été alimenté en données exogènes de diverses origines.

Malgré un traitement économétrique rigoureux, l'instance a constamment été confrontée à la difficulté de distinguer les économies d'énergies imputables à la réaction spontanée des utilisateurs d'énergie face à la hausse des prix lors des chocs pétroliers de celles suscitées par les actions de maîtrise de l'énergie engagées à l'initiative des pouvoirs publics.

(45) Les estimations économétriques ont été réalisées sur les 10 branches de production et ont porté sur la période 1960-1992.

ADEME, MATE, METL

ADEME – Les méthodes d'évaluation ex-ante des politiques et mesures de réduction des émissions de CO₂ liées aux secteurs de production et de consommation d'énergie retenues par l'ADEME sont dans la continuité des méthodes ex-post définies au cours des travaux de l'instance d'évaluation présidée par Yves Martin. Elles reposent souvent sur les résultats de ces travaux et butent sur les mêmes difficultés, en particulier, sur la séparation des économies d'énergie imputables à la réaction spontanée des utilisateurs d'énergie de celles résultant des actions de maîtrise de l'énergie engagées à l'initiative des pouvoirs publics.

L'annexe VII présente une analyse détaillée des méthodes d'évaluation ex-ante retenues pour différentes actions de maîtrise de l'énergie. Cinq mesures (dont deux dans l'industrie) sont retenues, soit décidées et/ou en cours d'application, soit en projet :

- dans l'industrie : aide à la décision et mise en place de la taxe générale sur les activités polluantes (TGAP) énergie ;
- dans le secteur bâtiment : la nouvelle réglementation thermique ;
- dans le transport : actions sur le transport urbain de voyageurs ;
- dans l'énergie : le développement de la production d'électricité à partir d'énergies nouvelles et renouvelables (ENR).

Les méthodes empruntent largement aux travaux de l'instance d'évaluation. Ainsi, la plus grande partie des évaluations de l'impact des « Aides à la décision » dans l'industrie repose sur des résultats de cette instance, alors que ceux-ci avaient été obtenus à partir d'un échantillon restreint d'entreprises. C'est aussi le cas du respect de la nouvelle réglementation thermique dans le bâtiment ; l'ADEME retient les résultats de l'instance, à savoir un respect à 30 % de la réglementation dans le logement individuel et à 80 % dans le collectif.

Pour d'autres mesures, comme les actions sur le transport urbain de voyageurs pour lesquelles il n'y a aucune évaluation ex-post, ou le développement de la production d'électricité à partir d'énergies nouvelles et renouvelables pour lequel l'évaluation repose sur une valeur attribuée

arbitrairement au contenu CO₂ du kWh électrique, les résultats apparaissent comme de simples estimations, à dires d'experts, assez fragiles dans la mesure où elles ne peuvent s'appuyer sur des évolutions passées.

Quant à la mise en place de la TGAP énergie, deux méthodes d'évaluation ont été utilisées : l'une proposée par le CEREN retient tout investissement dès le moment où son coût à la tonne de carbone évitée est inférieur au niveau de la TGAP (ceci supposant donc un comportement mécanique des entreprises) ; l'autre, utilisant le modèle POLES, est basée sur une sensibilité constatée des investissements aux prix.

MATE - La Direction des études économiques et de l'évaluation environnementale (D4E) du ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement (MATE) a réalisé pour le Parlement une étude d'impact⁴⁶ du projet d'extension de la TGAP aux consommations intermédiaires d'énergie.

L'étude d'impact de la TGAP énergie réalisée à l'automne 2000 a consisté : d'une part à résister cet instrument parmi les mesures du PNLCC ; à présenter l'instrument proposé, consistant en une taxe à la consommation d'énergie par les entreprises, couplée à des engagements négociés allant au-delà de l'effet de l'instrument fiscal ; à le comparer aux autres instruments envisageables, notamment réglementation, marché de droits, ou accords volontaires purs. L'étude a présenté les politiques adoptées par les principaux partenaires européens de la France. L'étude a justifié le traitement des entreprises intensives en énergie et soumises à la concurrence internationale, en mettant en avant l'intégrité environnementale et économique du dispositif, du fait que le signal-prix marginal de la taxe était identique entre secteurs. L'étude a évalué l'impact prévu de la mesure en matière d'émissions de CO₂, et sur les recettes fiscales. Elle a calculé de façon détaillée, l'impact sur les secteurs soumis à la taxe. Enfin, l'étude a évalué les coûts de mise en œuvre de la proposition, et ses liens avec les règles communautaires en matière d'aides d'État pour l'environnement.

(46) Voir le document V dans le volume complémentaire du CGP.

Le METL⁴⁷ - Deux types de travaux ont été menés à partir de modèles économétriques, et avec des groupes d'experts.

Les travaux économétriques ont permis d'analyser et d'établir une situation de référence, pour les trafics et les émissions de CO₂ des transports et pour la consommation d'énergie des bâtiments résidentiels et du tertiaire. Ils ont également permis d'estimer l'impact des mesures de taxation dans les secteurs du transport et des bâtiments.

D'autres analyses ont été réalisées par des groupes sectoriels réunis par le METL à la demande de la MIES, hors de la préparation du PNLCC, pour proposer diverses mesures d'économie d'énergie et de CO₂, et estimer les impacts attendus, dans les transports et les bâtiments. Ceci s'est fait en particulier pour analyser l'impact des mesures structurelles sur l'offre ferroviaire et le transport collectif urbain.

Les projections de long terme des transports sont effectuées sous forme de plusieurs scénarios avec diverses modélisations, et sont confrontées à d'autres exercices similaires menés par des laboratoires universitaires ou des instituts de recherche.

Ces projections portent :

- sur les transports de voyageurs et la circulation des voitures en distinguant d'une part, les transports interurbains et les déplacements urbains tous exprimés en voyageurs-kilomètres, d'autre part la circulation automobile par type de véhicule exprimée en véhicules-kilomètres ;
- sur les transports de marchandises et la circulation des poids lourds.

Une évaluation environnementale a également été réalisée en **deux étapes** :

- une **première** étape consiste à chiffrer les émissions de polluants (dont le CO₂) dans un scénario médian (référence tendancielle). Ce chiffrage est effectué par le CITEPA avec le modèle qu'il utilise pour les inventaires. Ce modèle évalue les émissions des différentes

(47) Voir le document VII dans le volume complémentaire du CGP.

- catégories de véhicules routiers pour les années 2010 et 2020 (avec deux points d’ancrage en 1995 et 2000). Le METL retient de ce chiffrage les émissions unitaires de CO₂ par véhicule-km aux différents horizons pour les principales catégories de véhicules (voitures essence et diesel, VUL essence et diesel, poids lourds) ;
- une **seconde** étape consiste à reporter ces émissions unitaires dans les scénarios A,B,C,D du METL élaborés pour les schémas de services collectifs de transport. Les émissions totales des différents polluants dont le CO₂ sont alors obtenues pour chacun des scénarios dans lesquels d’une part le volume de circulation est différent pour chacune des cinq catégories de véhicules, et d’autre part les émissions unitaires de polluants sont les mêmes.

Un débat s'est développé au cours des travaux du groupe et particulièrement au cours des travaux de l'équipe transport sur l'intérêt comparé d'un modèle économétrique (utilisé par le METL) basé sur une prise en compte des élasticités au prix des carburants et de l'utilisation de coefficients budgétaires (utilisé dans MEDEE-ME). Plus généralement, un désaccord est apparu entre ENERDATA et le METL sur les prévisions de trafic. Le premier considère que le METL surestime ses prévisions de trafic en ayant recours aux élasticités et le second que c'est ENERDATA qui sous-estime ses prévisions⁴⁸. Cependant, le désaccord apparu lors des travaux antérieurs a en grande partie disparu, notamment dans le scénario AME.

L'ensemble de ces travaux ont mis en évidence de réelles difficultés méthodologiques qui sont résumées dans la section suivante.

(48) Un certain désaccord a cependant persisté pour le scénario « sans mesure » réalisé par ENERDATA pour la 3^e communication nationale. Comme indiqué ci-dessus dans le **chapitre Premier**, les divergences ont été réduites pour le scénario de référence (AME).

Synthèse des problèmes méthodologiques d'évaluation des impacts des politiques et mesures

Des méthodes différentes

L'impact des mesures de 1^{ère} catégorie est généralement calculé à l'aide de scénarios dans lesquels on évalue des potentiels technico-économiques. Pour les mesures de seconde catégorie, le calcul est de nature différente : on prend en compte à la fois l'effet des variations de prix sur les comportements et les investissements nouveaux engagés par les acteurs économiques.

L'effet de mesures de première catégorie est difficile à isoler, sachant que les potentiels technico-économiques de nouvelles technologies ne peuvent le plus souvent être atteints que par le biais de certaines des incitations économiques relevant des mesures de seconde catégorie.

La difficulté de séparer les mesures

Dans l'évaluation des impacts des mesures du PNLCC, prises individuellement sur les émissions de CO₂, il est indispensable de distinguer leur « potentiel » de réduction et leur réduction « effective ».

Lors de l'élaboration d'une mesure, on peut en effet évaluer ex-ante son potentiel de réduction (l'efficience de la mesure) mais il est évident que sa capacité de réduction effective (le rendement de la mesure) va dépendre de la façon dont elle se combine avec d'autres mesures existantes : par exemple, quelle que soit l'évaluation ex-ante que l'on puisse faire de la capacité potentielle d'une mesure à limiter le recours à la voiture, son impact réel ou effectif sur les émissions de CO₂ va dépendre de l'existence ou non d'autres mesures visant à mettre à disposition des offres alternatives à la voiture.

On ne peut donc pas isoler l'impact effectif d'une mesure faisant partie d'un ensemble ou paquet de mesures qui interagissent entre elles car les impacts des mesures dans un « paquet » ne sont pas additifs.

En toute rigueur, on ne peut donc qu'évaluer l'impact d'un ensemble ou « paquet » de mesures, incluant généralement des mesures de première et seconde catégories.

Seules les valeurs des impacts de paquets de mesures indépendantes les unes des autres (par exemple parce qu'elles concernent des secteurs différents) sont additives.

L'analyse coût-bénéfice

On peut définir le coût direct d'une mesure de manière rigoureuse (voir l'encadré suivant sur le concept de coût). Mais la difficulté d'identifier les impacts individuels effectifs des mesures rejaillit évidemment sur l'analyse du coût de chaque mesure.

Prise en compte du contexte économique

Tant le potentiel de réduction que la capacité de réduction effective des mesures dépend du *contexte économique* : une croissance économique plus importante s'accompagne-t-elle automatiquement d'un surcroît d'émissions ou peut-on supposer un *renouvellement* plus rapide des investissements et avec lui une amélioration rapide de la capacité de réduction effective ?

Nécessité d'une dimension temporelle dans l'évaluation de l'impact des mesures

L'évaluation des mesures est très souvent effectuée a priori sans hypothèses⁴⁹ réalistes sur les délais de leur mise en œuvre, ou sur

(49) Un groupe de travail a été récemment mis en place entre la MIES, l'ADEME et ENERDATA pour suivre une batterie d'indicateurs visant à fournir ces données.

l'existence de moyens de contrôles pour vérifier leur effectivité, seul moyen⁵⁰ permettant de s'assurer du respect effectif des mesures.

Les mesures négatives

La prise en compte de mesures « négatives » est souvent négligée : c'est le cas par exemple de la suppression de la vignette ou des accords sur la réduction du temps de travail ou d'une dépéréquation éventuelle des tarifs de l'électricité ou du gaz. Ces décisions sont toutes susceptibles d'augmenter la consommation et donc les émissions liées au transport ou à la consommation du secteur habitat/tertiaire. Il conviendrait de veiller à ce que celles-ci soient bien prises en compte dans le scénario dit « sans mesures ».

Conclusion

Les conclusions pratiques que l'on peut tirer de cette analyse sont les suivantes :

- Seule l'évaluation de « paquets de mesures » indépendants entre eux a un sens rigoureux.
- Une attention particulière doit être portée à l'articulation entre mesures de types réglementaires ou techniques et mesures économiques agissant par le biais des modifications des prix relatifs.

Le concept de coût

Vu par le GIEC

Le rapport du GIEC insiste sur l'utilité des analyses coûts-bénéfices mais bute dans leur application au changement climatique sur la difficile question de l'évaluation des dommages.

Le concept de coût est très général et recouvre au moins quatre significations différentes selon le contexte :

- les coûts directs de mesures techniques spécifiques (le coût actualisé total pouvant s'avérer négatif si les économies d'énergie font plus que compenser les coûts d'adoption de la nouvelle technologie) ;

(50) Ce point est particulièrement important, par exemple en ce qui concerne les normes d'isolation dans le bâtiment.

- les coûts économiques pour un secteur provenant d'un modèle sectoriel ou d'équilibre partiel utilisant quelques indicateurs macro-économiques comme le taux de croissance de l'économie mais n'examinant pas les interactions entre secteurs ;
- les coûts macro-économiques expriment généralement les variations de grandeurs macro-économiques telles que le PIB et ses composantes (à partir de modèles d'équilibre général calculables par exemple) ;
- les coûts en bien-être en liaison par exemple avec la composition du PIB, (ici encore à partir de MEGC).

Principe de l'analyse coûts-bénéfices

Les consommateurs comme les entreprises et la puissance publique ont à prendre certaines décisions qui ne peuvent s'apprécier que dans une perspective intertemporelle. Dans le cas d'une entreprise, renouveler des équipements, ouvrir un atelier ou même construire une usine conduit en effet à s'engager dans des dépenses immédiates qui devraient permettre d'augmenter les profits plus tard.

On s'intéresse donc à la valeur actuelle nette d'un projet. Un projet est défini par la donnée de coûts initiaux C_0 et de coûts et bénéfices futurs, C_t et B_t . Le projet devra être retenu si la valeur actualisée des bénéfices futurs excède la valeur actualisée des coûts, c'est-à-dire si la valeur actualisée nette (VAN) du projet est positive.

Ceci se traduit par la condition :

$$VAN = \sum_t \frac{B_t}{(1+i)^t} - \sum_t \frac{C_t}{(1+i)^t} = \sum_t \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t} > 0$$

Ou de façon équivalente à :

$$\sum_t \frac{C_t}{(1+i)^t} / \sum_t \frac{B_t}{(1+i)^t} < 1$$

Où le taux d'actualisation retenu est le taux i .

Il faut souvent choisir entre plusieurs projets.

- Si ces projets sont incompatibles, c'est-à-dire si on peut réaliser au plus l'un d'entre eux, on retiendra celui pour lequel la valeur actuelle nette est la plus grande, à condition que celle-ci soit positive. Dans le cas contraire, on ne retiendra aucun des projets.
- Si plusieurs projets peuvent être réalisés en même temps on considérera toute combinaison possible de projets comme un projet à part entière, et on

pourra appliquer la règle précédente : retenir le projet ou la combinaison de projets pour laquelle la valeur actualisée nette est la plus grande.

Le coût de la tonne de carbone évitée

Face à un projet pour lequel il est difficile d'évaluer les bénéfices, il est possible de normer la chronique des coûts par une unité physique représentative de l'aspect bénéfices. C'est ainsi qu'il est possible d'établir le coût d'une vie humaine si on rapporte le coût d'une mesure au nombre de vies humaines qu'elle permet d'épargner (que la mesure consiste en une fermeture sécurisée des armoires de pharmacie ou la construction d'un rond-point). De même, lorsque l'on connaît les coûts d'une mesure et le nombre de tonnes de carbone qu'elle permettra d'économiser, il est possible de ramener brutalement la valeur actualisée nette des coûts au nombre de tonnes de carbone épargnées.

En reprenant les notations précédentes, et si le bénéfice de chaque date consiste en un nombre TC_t de tonnes de carbone épargnées, une mesure du prix de la tonne de carbone est

$$\sum_t \frac{C_t}{(1+i)^t} / \sum_t TC_t$$

Cette expression suppose implicitement que le prix du carbone croît comme le taux d'actualisation (règle de Hotelling).

Si l'on considère que la valeur d'une tonne de carbone est constante, il convient de raisonner en recherchant le prix implicite à accorder au bénéfice considéré, en actualisant les bénéfices comme les coûts.

Le coût de la tonne de carbone évitée est le prix auquel il faudrait estimer le bénéfice d'une tonne de carbone pour annuler la valeur actuelle nette du projet. C'est en quelque sorte le seuil de rentabilité de la mesure. Ce prix est donc défini

$$\text{par } \sum_t \frac{C_t}{(1+i)^t} / \sum_t \frac{TC_t}{(1+i)^t}$$

L'estimation du coût évité permet ensuite de classer les projets de façon très simple, puisqu'il faut les entreprendre dans l'ordre d'un coût évité croissant.

L'évaluation de l'impact des politiques et mesures par ENERDATA pour la 3^e communication nationale

La méthode MEDEE-ME pour l'évaluation des impacts des mesures

L'évaluation des impacts des mesures avec le modèle MEDEE-ME se fait en **deux étapes**.

Dans une **première étape**, les mesures sont traduites en hypothèses appropriées sur l'évolution des déterminants techniques et économiques de la demande d'énergie affectés par ces mesures. Le modèle calcule alors les consommations énergétiques et les émissions de CO₂ résultant de ces mesures ainsi traduites, ainsi que les coefficients budgétaires⁵¹ correspondants. La différence d'avec les consommations énergétiques et les émissions du scénario sans mesure donne l'impact de ces mesures. La valeur des coefficients budgétaires par rapport à la tendance de référence et aux marges de variations admises indique les ajustements à apporter aux résultats de MEDEE-ME, à la hausse en cas d'effet-rebond, à la baisse en cas d'effet-prix insuffisamment pris en compte (voir en encadré la définition de l'effet-rebond).

Dans une **seconde étape**, ces ajustements sont réalisés et l'impact global définitif des mesures considérées est ainsi calculé. L'allocation de cet impact global entre les mesures prises en compte est basée sur leur contribution respective quand elles sont prises individuellement⁵².

(51) *Le coefficient budgétaire est défini de façon générale comme un rapport de dépenses énergétiques à une grandeur macro-économique caractéristique : ici ratio des dépenses énergétiques rapportées à la consommation privée des ménages ou ratio des dépenses énergétiques rapportées à la valeur ajoutée des entreprises.*

(52) *Il faut rappeler à cet égard que les impacts des mesures considérées individuellement ne sont pas cumulables, l'impact d'un ensemble de mesures prises*

Définition des effets-prix et des « effets-rebond »

Dans une large mesure, les consommations d'énergie des ménages ou des entreprises se font dans un cadre économique contraint : ainsi, une baisse relative significative des prix de l'énergie ou un hiver doux se traduisent-ils immédiatement par des intensités d'usage de l'énergie plus fortes, voire des consommations plus élevées, comme on peut l'observer couramment depuis 1986.

Aussi, lorsque les performances énergétiques des équipements, des procédés industriels ou des bâtiments s'améliorent grâce au recours à des techniques plus efficaces, la contrainte économique se desserre de la même façon que lors d'une baisse de prix, et se traduit dans la plupart des cas par des intensités d'usage plus fortes, et ce de façon pérenne. L'analyse des progrès d'efficacité énergétique menée en France pour l'ADEME depuis de nombreuses années montre très clairement ce mécanisme à double détente : amélioration des performances énergétiques techniques d'un côté, comportement plus « gourmand » en énergie de l'autre. C'est ce que l'on appelle couramment « l'effet-rebond ».

L'effet-rebond se manifeste pleinement à court et moyen terme, mais perd progressivement de son importance avec le temps, lorsqu'en tout état de cause, l'accroissement des revenus moyens aurait produit un desserrement similaire de la contrainte financière en l'absence de progrès technique d'efficacité énergétique. Au fur et à mesure que la contrainte économique diminue, notamment du fait de la croissance, l'impact spécifique de l'amélioration des performances énergétiques techniques est de moins en moins érodé par l'effet-rebond.

A une échéance de 10 ans (celle du PNLCC), l'effet-rebond peut contrecarrer l'effet des mesures techniques et organisationnelles visant à baisser les émissions de CO₂ liées à l'énergie s'il n'y a pas parallèlement un accompagnement par les prix et la fiscalité. A plus long terme (20 ans), on peut considérer, croissance économique aidant, que de nombreux seuils de saturation ou d'équilibre seront atteints en matière d'intensité d'usage de l'énergie (chauffage, électroménager, voiture, etc.), et que les niveaux de consommation d'énergie correspondant seront directement fonction des progrès techniques d'efficacité énergétique qui auront été réalisés entre temps.

L'analyse et l'estimation des impacts des mesures fiscales et des effets-rebond s'inscrivent dans la démarche de mise en cohérence a posteriori des résultats de MEDEE-ME. Elles reposent sur la confrontation des

simultanément étant inférieur à la somme des impacts individuels (en particulier en cas d'effet-rebond).

évolutions anticipées des coefficients budgétaires avec leurs évolutions historiques.

Pour l'analyse des effets-prix et rebond à partir des coefficients budgétaires⁵³, on prend pour référence l'évolution des coefficients budgétaires telle que calculée dans le scénario « sans mesure » et non la prolongation de la tendance historique. Deux raisons à ce choix méthodologique :

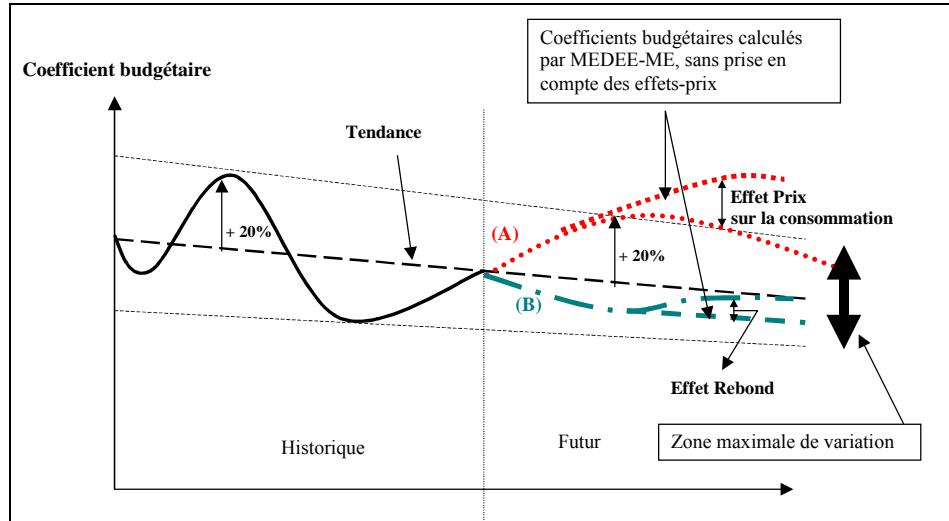
- les dires d'experts à partir desquels le scénario « sans mesure » est construit prennent déjà en compte les hypothèses de croissance et de variation des prix des énergies : l'évolution résultante des coefficients budgétaires peut dès lors être considérée comme la plus probable dans le contexte économique général retenu ;
- les tendances historiques sont à même d'être infléchies dans le futur du fait de l'apparition de phénomènes de saturation à différents niveaux : équipement des ménages, intensités d'usage de certains équipements, etc.

Pour les *ménages*, les hypothèses fondamentales du calcul des effets-rebond et des effets-prix sont les suivantes :

- le scénario « sans mesure » est supposé décrire comment la tendance devrait évoluer selon les dires d'experts. Il indique le *plancher* tendanciel de variation des coefficients budgétaires : il est exclu qu'un coefficient budgétaire reste durablement en dessous de ce plancher ;
- les variations historiques d'un coefficient budgétaire indiquent *l'ampleur maximale de variation à la hausse* de ce coefficient au-dessus du plancher ;
- à l'intérieur de la plage de variation admise, la réponse d'un coefficient budgétaire à une hausse des prix dépend d'une *élasticité constante*.

(53) Voir une illustration graphique de l'effet-rebond dans le cas des ménages et des producteurs de biens et services pages suivantes.

Graphique 4 - Ménages



- (A) *Hausse des prix importante, telle que le coefficient budgétaire calculé par MEDEE-ME dépasse la contrainte haute.* On vérifie d'abord que la hausse du coefficient budgétaire qui aurait résulté de la seule élasticité-prix historique du coefficient budgétaire franchit également cette contrainte haute (quasiment toujours vérifié⁵⁴). Dans ce cas on considère qu'il y a lieu de prendre en compte une réduction spécifique des consommations par effet-prix. Cette réduction est évaluée comme celle nécessaire pour ramener le coefficient budgétaire au niveau de la contrainte haute.
- (B) *Baisse des prix durable ou réduction des consommations spécifiques (par exemple), telles que le coefficient budgétaire calculé par MEDEE-ME passe sous la contrainte basse.* On vérifie d'abord que la baisse du coefficient budgétaire qui aurait résulté de la seule élasticité-prix historique du coefficient budgétaire franchit également cette contrainte basse (quasiment toujours vérifié). Dans ce cas, on considère qu'il y a lieu de prendre en compte une remontée des consommations par effet-rebond : le coefficient budgétaire commence par baisser, puis remonte sur la trajectoire tendancielle tant que les phénomènes de saturation des besoins ne jouent pas. Cet effet-rebond est évalué comme la hausse de consommation nécessaire pour ramener le coefficient budgétaire au niveau de la contrainte basse.

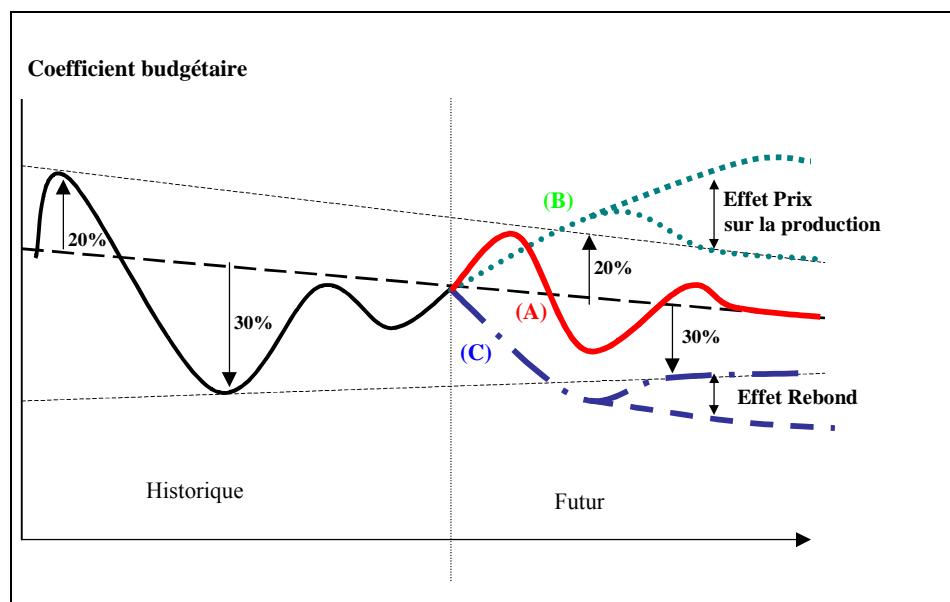
Dans le PNLCC, seuls les carburants automobiles sont dans le cas (B). Dans ce cas, la remontée sur la trajectoire tendancielle suppose un retour au kilométrage des voitures voisin de celui des scénarios sans mesure.

(54) Les élasticités historiques des coefficients budgétaires sont toujours fortes, voisines de 1.

Pour les *producteurs de biens et services*, les fondamentaux sont les suivants :

- le scénario « sans mesure » indique la *variation tendancielle des coefficients budgétaires* selon les dires d'experts : cette variation tendancielle indique le sentier « optimal » des producteurs pour les combinaisons capital-énergie ;
- la variation historique d'un coefficient budgétaire indique *l'ampleur maximale des variations* à la hausse et à la baisse de ce coefficient par rapport à la tendance. Si un scénario ou un jeu d'hypothèses variantielles conduit à une baisse ou à une hausse prolongée de ce coefficient budgétaire, trois cas se présentent :

Graphique 5 - Producteurs



(A) *Les variations de prix des énergies sont telles que le coefficient budgétaire reste dans la zone bornée.* On vérifie d'abord que la hausse du coefficient budgétaire qui aurait résulté de la seule élasticité-prix historique du coefficient budgétaire reste également à l'intérieur des contraintes (quasiment toujours vérifié⁵⁵). Dans ce cas, on conclut à l'absence d'effet-rebond ou d'impact additionnel des prix des énergies sur la consommation, au-delà des résultats initiaux du modèle.

(55) Les élasticités historiques des coefficients budgétaires sont toujours fortes, voisines de 1.

- (B) *La variation des prix est telle que le coefficient budgétaire dépasse le maximum de variation admissible.* On vérifie d'abord que la hausse du coefficient budgétaire qui aurait résulté de la seule élasticité-prix historique du coefficient budgétaire dépasse également la contrainte (quasiment toujours vérifié). Dans ce cas on considère qu'il y a lieu de prendre en compte une réduction spécifique des consommations par effet-prix : la branche s'ajuste par les niveaux de production. Cette réduction est évaluée comme celle nécessaire pour ramener le coefficient budgétaire au niveau de la contrainte haute. On en conclut donc qu'il faut reconsiderer les hypothèses de croissance relatives à certaines branches ; ceci nécessite une analyse spécifique par branche.
- (C) *La variation des prix est telle que le coefficient budgétaire passe au-dessous du minimum admissible.* On vérifie d'abord que la baisse du coefficient budgétaire qui aurait résulté de la seule élasticité-prix historique du coefficient budgétaire amènerait également ce dernier sous la contrainte (quasiment toujours vérifié). Dans ce cas, on considère qu'il y a lieu de prendre en compte une remontée des consommations par effet-rebond : le coefficient budgétaire commence par baisser, puis remonte sur la trajectoire tendancielle. Cet effet-rebond est évalué comme la hausse de consommation nécessaire pour ramener le coefficient budgétaire au niveau de la contrainte basse.

Dans le PNLCC, globalement l'industrie reste dans la situation (A) lorsque la TGAP est prise en compte.

Pour tous les agents économiques, **l'effet-rebond**, quand il est présumé, est estimé en bornant la variation à la baisse du coefficient budgétaire et en calculant la demande additionnelle d'énergie qui en résulte.

L'impact spécifique des hausses de prix des énergies sur la consommation et les émissions de CO₂, au-delà des résultats directs de MEDEE, est estimé, s'il y a lieu, en bornant par le haut la variation de ces coefficients budgétaires et en calculant la baisse de demande d'énergie qui en résulte. Pour les producteurs de biens et services, on vérifie la compatibilité de ce « bornage » avec les hypothèses de croissance de la valeur ajoutée.

On voit donc que la méthode d'ENERDATA pour calculer les effets-prix et les effets-rebond à partir des résultats de MEDEE-ME repose sur les hypothèses suivantes :

- Dans une certaine plage de variation des prix (de l'ordre de plus ou moins 20 à 30 % dans les exemples graphiques supra), l'élasticité-prix de la

consommation est faible. Au-delà de cette plage, l'élasticité-prix de la consommation augmente rapidement et tend en valeur absolue vers 1.

- Pour les ménages, en cas de baisse des consommations en volume due par exemple à une réglementation réduisant les consommations spécifiques, l'effet-rebond est systématique. Cela signifie qu'une mesure réglementaire qui n'est pas associée à une mesure d'incitation relevant les prix n'a aucun effet, du moins à moyen terme (10 ans). A plus long terme (20 ans) les gains de consommation spécifique finissent par se faire sentir en raison d'une saturation du besoin de service (mobilité par exemple) que satisfait la consommation énergétique.

Nous verrons ci-dessous en section 4.3 que ces hypothèses ont été considérées par le groupe comme encore insuffisamment fondées, tant sur le plan théorique qu'empirique.

*Application de la méthode MEDEE-ME à l'évaluation
de l'impact de « paquets de mesures » du PNLCC*

Les problèmes rencontrés dans la préparation de la 3^e communication nationale et le constat que l'efficience et le rendement d'une mesure dépendaient généralement des autres mesures prises simultanément ont conduit le groupe à commander une étude⁵⁶ à ENERDATA. L'objet de l'étude était d'évaluer, à l'aide du modèle MEDEE-ME, les conséquences sur les émissions de CO₂-énergie de « paquets de mesures » choisis parmi ceux proposés dans le PNLCC, et surtout de bien préciser la nature et les hypothèses sous-jacentes de la méthode utilisée, à partir de la présentation détaillée d'exemples d'application. Le groupe a souhaité ainsi qu'ENERDATA ouvre ce qui pour beaucoup restait encore une « boîte noire » : l'utilisation concrète de MEDEE-ME pour évaluer l'impact de paquets de mesures.

L'évaluation menée dans le cadre de cette étude vise à répondre aux trois questions suivantes :

- Quel impact attendre d'un paquet de mesures pris isolément, sur les consommations énergétiques et les émissions de CO₂-énergie (au niveau du consommateur final), en 2010 et 2020 ?

(56) Voir en annexe IV l'intégralité de l'étude.

- Quelles conséquences sur les dépenses énergétiques et le coefficient budgétaire des grandes catégories de consommateurs concernés ? avec quelles rétroactions possibles sur les consommations énergétiques et les émissions de CO₂ ?
- Comment apprécier le rôle spécifique des instruments économiques par rapport aux autres types de mesures dans chaque « paquet » ? comment apprécier le poids respectif de ces deux catégories de mesures selon la terminologie du PNLCC dans les impacts d'ensemble du paquet de mesures ?

Dans le secteur industriel, deux paquets de mesures sont considérés dans l'étude : les accords volontaires et toutes les autres mesures anciennes et nouvelles non fiscales. Chacun de ces deux paquets est évalué en deux temps : sans les mesures fiscales et avec les mesures fiscales. L'absence, dans MEDEE-ME, de formalisation des effets-prix sur la demande énergétique et les émissions de CO₂ dans l'industrie rend en effet sans intérêt la prise en compte d'un paquet spécifique de mesures ne contenant que les mesures fiscales. En revanche, l'adjonction des mesures fiscales aux autres mesures permet de mieux cerner les questions suivantes :

- Existe-t-il un risque d'effet-rebond du fait des mesures techniques en l'absence d'accompagnement par les prix ?
- Les mesures fiscales sont-elles de nature à prévenir un éventuel effet-rebond, et pourraient-elles contribuer à des baisses de consommation d'énergie et d'émissions de CO₂ au-delà de l'effet des mesures techniques ?

Les accords volontaires concernent les industries grosses consommatrices d'énergie. Leurs résultats devraient théoriquement être indépendants des évolutions des prix des énergies. L'étude s'est intéressée à l'impact d'une TGAP⁵⁷ au-delà des accords volontaires ; pour les autres mesures incitatives, il est probable que leur capacité à agir soit dépendante du contexte de prix.

Les principales conclusions sur l'ensemble de l'industrie relativisent l'effet d'une TGAP : pour chaque paquet de mesures la mise en œuvre intégrale de la

(57) L'étude a retenu une taxe de 500 F1999 par tonne de carbone (soit 77,39 € 2000) et l'a étendue à toutes les industries, qu'elles soient exonérées ou pas.

TGAP simultanément avec les autres mesures n'est pas de nature à déclencher d'autres baisses des consommations énergétiques. En revanche, la mise en œuvre de la TGAP renforce l'efficience des mesures dites incitatives.

Et cette conclusion, valable pour le secteur industriel dans son ensemble, reste valable pour la plupart des branches.

Résultats pour le secteur industriel

En première analyse, l'ensemble des mesures techniques et réglementaires effectives au 31/12/1999 devrait conduire à des réductions d'émissions de CO₂-énergie du secteur manufacturier de 4,3 MtCO₂ (hors électricité) en 2010. Les mesures supplémentaires prévues au PNLLCC, ainsi que les mesures existantes non encore mises en œuvre au 31/12/1999, devraient quant à elles apporter 3,4 MtCO₂ d'économies supplémentaires.

Ces réductions d'émissions seraient obtenues sans modification corrélative du coefficient budgétaire de l'ensemble de l'industrie manufacturière (ratio dépenses énergétiques/valeur ajoutée) en 2010 malgré la mise en place généralisée de la TGAP. Toutefois, selon les branches, on constaterait des hausses (sidérurgie, minéraux non métalliques) ou des baisses des coefficients budgétaires des branches.

Comparées aux chiffres avancés dans les documents de la MIES⁵⁸, les estimations d'économies de CO₂-énergie de la 3^e communication nationale conduisent aux commentaires suivants, relatifs à l'année 2010 :

- la somme des impacts des mesures anciennes et nouvelles, tels qu'estimés antérieurement par la MIES, est supérieure de 3,9 MtCO₂ aux économies de CO₂-énergie du scénario PNLLCC (par rapport au « sans mesure ») calculées lors de la préparation de la 3^e communication nationale .
- cet écart est inférieur de moitié à l'estimation faite par la MIES du seul impact de la TGAP (7,3 MtCO₂) .
- or, la valeur prise en 2010 par le coefficient budgétaire de l'industrie dans le scénario PNLLCC de la 3^e communication nationale, ***avec une application généralisée de la TGAP***, est légèrement inférieure à celle prise dans le scénario « sans mesure » : l'agrégation des impacts des mesures anciennes et nouvelles (dont la TGAP) n'est donc pas légitime et conduit nécessairement à des doubles comptes.

(58) MIES-MATE – Programme national de lutte contre le changement climatique 2000/2010, Paris, 2000.

Dans le secteur du bâtiment, quatre paquets de mesures principaux sont considérés : la réglementation thermique dans les bâtiments neufs ; les mesures visant à renforcer l'utilisation directe du bois dans l'habitat ; les mesures visant à développer le recours au chauffage urbain et son alimentation par des énergies non émettrices de CO₂ ; les mesures visant à améliorer la thermique des bâtiments existants et à diminuer leurs consommations unitaires.

Comme pour l'industrie, chacun des paquets est évalué en deux temps : sans les mesures fiscales (taxe sur le gaz pour les ménages⁵⁹, TGAP dans le tertiaire) et avec les mesures fiscales.

La prise en compte des mesures fiscales, par construction du modèle, n'affecte pas les consommations énergétiques et les émissions de CO₂ calculées par MEDEE-ME. En revanche, elle modifie les coefficients budgétaires des ménages et du tertiaire, et leur évolution indique s'il y a lieu de considérer un impact spécifique de ces mesures fiscales au-delà de l'impact de la réglementation thermique. Ici encore, la prise en compte des mesures fiscales en plus des mesures incitatives permet de montrer jusqu'à quel point la hausse des prix des énergies qui en résultera sera de nature à renforcer l'efficience des mesures incitatives, voire réglementaires.

Résultats sur le bâtiment

En première analyse, les mesures techniques et réglementaires en application au 31/12/1999 devraient conduire à des réductions d'émissions de CO₂-énergie du secteur bâtiment de 7,7 MtCO₂ en 2010 (hors électricité) : 7,2 MtCO₂ dans le résidentiel et 0,5 MtCO₂ dans le tertiaire. Les mesures existantes non encore en application au 31/12/1999 et les mesures supplémentaires prévues au PNLCC

(59) Le PNLCC retient le niveau de taxe prévu aujourd'hui dans le projet de directive européenne sur la taxation des produits énergétiques. Celui-ci prévoit dans son article 8 que les niveaux minimaux de taxation du gaz naturel utilisé comme combustible devraient être fixés progressivement de 0,2 écus par giga joule la première année d'application à 0,7 écus/Gj la cinquième, ce qui représenterait une évolution de 13 à 45,7 euros par tonne de carbone jusqu'en 2005 dans l'hypothèse où l'on commencerait en 2001.

devraient quant à elles permettre d'économiser 7,9 MtCO₂ supplémentaires : 5,9 MtCO₂ dans le résidentiel et 2,0 MtCO₂ dans le tertiaire.

Compte tenu des hypothèses de prix des énergies, ces réductions d'émissions imputables à l'ensemble des mesures seraient obtenues de façon concomitante à des diminutions des coefficients budgétaires des ménages et du tertiaire par rapport au scénario sans mesure, et ce malgré la mise en application des mesures fiscales (TGAP) : 2,39 % contre 2,63 % pour le résidentiel, 1,20 % contre 1,35 % dans le tertiaire. On peut donc considérer que ces réductions d'émissions sont en tout état de cause un maximum envisageable, sauf à remettre en question l'ensemble du système de préférences des ménages.

Comparées aux chiffres avancés dans les documents de la MIES, les estimations d'économies de CO₂-énergie de la 3^e communication nationale conduisent aux commentaires suivants, relatifs à l'année 2010 :

- la somme des impacts des mesures anciennes et nouvelles, tels qu'estimés antérieurement par la MIES, est inférieure de 2 MtCO₂ aux économies de CO₂-énergie du scénario PNLCC (par rapport au « sans mesure ») calculées lors de la préparation de la 3^e communication nationale ;
- si l'on exclut les mesures fiscales des estimations antérieures de la MIES, l'écart devient trois fois plus important ;
- les valeurs prises par les coefficients budgétaires du résidentiel et du tertiaire dans le scénario PNLCC de la 3^e communication nationale, sont inférieures à celles prises dans le scénario « sans mesure » **malgré la prise en compte des mesures fiscales** : l'agrégation des impacts des mesures anciennes et nouvelles n'est donc pas légitime et conduit nécessairement à des doubles comptes.

Dans le secteur des transports, cinq paquets de mesures sont considérés :

- les mesures visant à limiter les émissions de CO₂ liées aux déplacements urbains des personnes, ne relevant ni de la technologie ni de la fiscalité ;
- les mesures visant à limiter les émissions de CO₂ liées aux déplacements interurbains des personnes, ne relevant ni de la technologie ni de la fiscalité ;
- les mesures visant à diminuer les consommations spécifiques de carburants des véhicules routiers ;
- les mesures visant à limiter les émissions de CO₂ liées aux déplacements des marchandises, ne relevant ni de la technologie ni de la fiscalité ;

- les mesures fiscales seules.

Chacun des quatre premiers paquets est évalué en deux temps : sans les mesures fiscales et avec les mesures fiscales. L'intérêt de cette double évaluation, au-delà de ce qui a été dit plus haut pour les autres secteurs, est de valider la formalisation des effets-prix dans le modèle et les valeurs attribuées aux élasticités-prix.

Résultats pour les transports

En première analyse, les mesures techniques et réglementaires existantes en application au 31/12/1999 devraient conduire à des réductions d'émissions de CO₂ du secteur transport de 16,3 MtCO₂ en 2010 (hors électricité, transport maritime et transport aérien international). Les mesures existantes non encore en application au 31/12/1999 et les mesures supplémentaires prévues au PNLCC devraient quant à elles permettre d'économiser 15,7 MtCO₂ supplémentaires.

Les réductions d'émissions du fait de l'ensemble des mesures seraient obtenues avec des diminutions des coefficients budgétaires pour le transport des passagers, en particulier la voiture individuelle et une hausse des coefficients budgétaires du transport de marchandises, du fait du rattrapage de la fiscalité gazole et la mise en application de la taxe carbone : 2,53 % contre 2,84 % pour les voitures, 1,13 % contre 1,07 % pour le transport de marchandises. On peut donc considérer que ces réductions d'émissions sont en tout état de cause un maximum envisageable pour le transport de personnes, sauf à remettre en question l'ensemble du système de préférences des ménages, mais peuvent être sous-estimées pour le transport de marchandises.

Il faut probablement s'attendre à des réductions moindres des émissions au titre des effets-rebond dans le transport individuel de personnes, pour deux raisons :

- il n'y a pas de surcoût significatif d'usage de la voiture (voire même l'inverse) en regard des réductions de dépenses énergétiques, qui puisse expliquer une baisse relative du coefficient budgétaire « carburant voiture » ;
- il existe une aspiration à plus de mobilité que l'on peut estimer au plus comme la différence de kilométrage moyen des voitures entre, d'un côté, le scénario sans mesure (15 400 km/an en 2010) moins l'effet du report sur le TGV (environ 300 km/an), et de l'autre, le scénario PNLCC (14 200 km/an en 2010).

Par rapport à une baisse globale du coefficient budgétaire de 12 % entre le scénario sans mesure et le PNLCC, il existe un potentiel d'effet-rebond sur le kilométrage de

l'ordre de 6 %. Cet effet-rebond équivaut à 4,2 MtCO₂, ce qui limiterait la baisse d'ensemble des émissions de CO₂ à 28 MtCO₂.

Comparées aux chiffres avancés dans les documents de la MIES, les estimations d'économies de CO₂-énergie de la 3^e communication nationale conduisent aux commentaires suivants, relatifs à l'année 2010 :

- la somme des impacts des mesures anciennes et nouvelles, tels qu'estimés antérieurement par la MIES, est supérieure de 10,4 MtCO₂ aux économies de CO₂-énergie du scénario PNLCC (par rapport au « sans mesure ») calculées lors de la préparation de la 3^e communication nationale, avant prise en compte de l'éventuel effet-rebond. Il faut cependant noter que le niveau des émissions de CO₂ des transports en 2010 est presque identique dans le scénario PNLCC de la 3^e communication nationale d'une part, et dans l'estimation MIES du Programme national de janvier 2000 d'autre part ;
- cet écart est deux fois plus important que le seul impact des mesures fiscales tel qu'estimé par la MIES ;
- la valeur prise par le coefficient budgétaire du transport dans le scénario PNLCC de la 3^e communication nationale, est inférieure à celle prise dans le scénario « sans mesure » **malgré la prise en compte de toutes les mesures fiscales** : l'agrégation des impacts des mesures anciennes et nouvelles n'est donc pas légitime et conduit nécessairement à des doubles comptes.

Les principales conclusions pouvant être tirées de l'analyse séparée des paquets de mesures sont les suivantes :

a) Mis à part dans l'automobile, les réductions d'émissions de CO₂ du fait des réglementations et les accords volontaires, telles que calculées par MEDEE-ME, devraient effectivement se traduire dans les faits **si les instruments économiques sont bien mis en œuvre simultanément**. En revanche, il ne faut pas escompter d'économies supplémentaires du fait de ces derniers. La non-mise en œuvre des instruments économiques pourrait toutefois être à l'origine d'effets-rebond dans certains secteurs et certaines branches de l'économie : ceci limiterait dans les faits l'impact des mesures réglementaires et incitatives par rapport à ce que calcule MEDEE-ME.

b) Dans le cas de l'automobile, il y a tout lieu de penser que la retombée de l'accord ACEA sur les consommations spécifiques sera telle qu'elle rendra inefficaces toutes les mesures visant à limiter l'usage de la voiture, voire la montée en gamme. Ceci reste vrai même en mettant en

place les instruments fiscaux. On remarquera toutefois que cette conclusion n'est valable que pour autant que les projections de l'usage de la voiture « sans mesure » établies par le METL (scénario A) sont acceptées. Or ces projections pourraient être mises en question par l'apparition à brève échéance d'un phénomène de saturation sur le kilométrage moyen des voitures. Si tel était le cas, la circulation des voitures dans le scénario sans mesure serait alors plus basse, l'effet de l'accord volontaire moins prononcé et les effets-rebond quasiment inexistant.

c) Les impacts escomptés des autres mesures ne relevant pas des instruments économiques sont en général l'expression de dires d'experts, émis au sein des équipes sectorielles (bâtiment, transports) ou résultant d'études spécifiques (CEREN). Faute d'indications précises sur les coûts de ces mesures, il est difficile de se prononcer sur le sens précis à attribuer à la baisse des charges énergétiques qui en résulte pour les consommateurs : équilibreront-elles les charges additionnelles en capital en 2010 ? Vont-elles au-delà ? Une chose paraît cependant sûre : l'instauration des instruments économiques est de nature à neutraliser l'impact de ces mesures sur les dépenses énergétiques des consommateurs, ce qui peut avoir deux conséquences : l'absence d'effet-rebond et une plus grande probabilité d'occurrence de l'impact attendu sur les émissions de CO₂.

d) Du fait des dires d'experts exprimés dans les équipes sectorielles, le scénario sans mesure conduit souvent à des inflexions (à la baisse) des coefficients budgétaires par rapport aux tendances historiques (a fortiori le scénario « avec mesures existantes »). Compte tenu des mesures déjà prises, la seule instauration additionnelle des instruments économiques prévus au PNLCC, est de nature à « ramener » l'évolution de ces coefficients budgétaires dans le droit fil de la tendance historique. Cette observation conduit à deux conclusions spécifiques :

- il n'est pas exclu que les avis d'experts sous-estiment certains phénomènes de comportement dans le scénario sans mesure ou dans l'impact des mesures déjà prises ;
- si tel était le cas, l'effet escompté des instruments économiques pourrait être du même ordre de grandeur que cette sous-estimation :

l’instauration des instruments économiques (ou toute autre cause d’accroissement des prix des énergies aux consommateurs finals) deviendrait alors une condition nécessaire pour que les émissions futures de CO₂ soient en phase avec les projections du scénario « avec mesures existantes ».

Analyse critique de la méthode MEDEE-ME

L’étude des paquets de mesures à l’aide de MEDEE-ME repose d’abord sur le formalisme technico-économique du modèle, puis sur l’analyse des évolutions induites des coefficients budgétaires comparées aux évolutions historiques.

Pour ce qui est du formalisme technico-économique, bien adapté aux mesures ne relevant pas des instruments économiques, il n’y a pas de problème particulier quant à la pertinence des résultats obtenus. Ils reflètent bien les avis d’experts en les résitant dans le contexte économique d’ensemble. On peut s’interroger à ce stade sur la capacité des experts à prendre en compte ex-ante les possibles interactions entre mesures dans la formulation des avis. Ils ne considèrent en effet que le « potentiel » de réduction et non la capacité de réduction effective qui dépend des interactions entre les mesures.

L’analyse des coefficients budgétaires, menée hors modèle, est une étape importante pour ajuster les résultats du modèle en y intégrant, soit d’éventuels effets-rebond, soit d’éventuels impacts additionnels dus aux prix des énergies consécutifs à la prise en compte des instruments économiques.

Les résultats de cette analyse hors modèle ont fait l’objet de critiques plus fondamentales au sein du groupe. Les premières critiques portent sur la cohérence entre l’approche par les coefficients budgétaires et l’approche par la théorie du consommateur ou du producteur. Peut-on admettre que les trajectoires tendancielles des coefficients budgétaires représentent le sentier de développement « optimal » de la fonction de consommation des ménages, ou de la fonction de production des entreprises ? Ou au contraire, faut-il assimiler toute variation des dépenses énergétiques comme une variation symétrique et d’égale

importance du revenu, redistribuée entre les biens, services et facteurs de production en fonction des utilités marginales ou des élasticités à la valeur ajoutée ?

Au stade actuel, il faut reconnaître que la méthode MEDEE-ME manque encore, tant de fondements théoriques que de validations empiriques solides.

Mais les modèles qui fondent la mesure des impacts sur l'analyse économétrique des consommations passées et l'usage d'élasticités-prix rencontrent en vérité le même type de difficulté. Pour être estimées, ces élasticités sont supposées constantes dans le temps, ce qui n'est également, ni fondé théoriquement ni vérifié empiriquement. De la même façon, quand l'évaluation des impacts est faite à l'aide de modèles macro-économiques d'équilibre général, malgré leurs fondements théoriques pertinents, elle bute sur le choix des élasticités-prix et des élasticités de substitutions. Toutes ces élasticités sont en effet « calibrées » et non estimées économétriquement, ce qui laisse beaucoup de place pour l'arbitraire.

Le débat sur les comportements des acteurs face à la modification de leurs dépenses énergétiques (qu'elles viennent des prix ou des quantités) reste donc ouvert.

Pour éclairer ce débat théorique, il s'agira d'approfondir l'étude économétrique des coefficients budgétaires sur des séries longues et tenter de formaliser plus systématiquement leur prise en compte⁶⁰.

Les secondes critiques portent sur la non-prise en compte des rétroactions macro-économiques des mesures et de leurs impacts : par exemple (cf. infra, chapitre III étude Charles Rivers Associates) l'accord ACEA devrait rendre les voitures neuves plus onéreuses et donc réduire la demande de voitures neuves, voire les taux de motorisation. Autre exemple, les modalités de recyclage de la TGAP auront certainement un impact tant sur l'efficacité réelle des mesures (par exemple si l'on affecte

(60) Voir une première analyse dans ce sens présentée dans le volume complémentaire du CGP, document I.

le produit de la taxe aux investissements d'efficacité énergétique), que sur la structure de coût des facteurs de production (par exemple si on baisse parallèlement les charges patronales sur le travail). L'analyse des coefficients budgétaires ne répond pas à ces questions.

Pour évaluer l'ampleur des biais pouvant résulter de l'absence de ces « effets en retour sur l'économie », il s'agira d'approfondir la cohérence entre le compte central de DIVA dont sont issues toutes les hypothèses macro-économiques et sectorielles retenues dans tous les exercices prospectifs, et les résultats sectoriels issus tant de MEDEE-ME que de l'analyse des coefficients budgétaires.

Conclusions sur le chiffrage du PNLCC

L'évaluation des mesures dites de première catégorie est d'ordre technico-économique : on mesure sur les modules appropriés de consommation et d'émission de CO₂ les conséquences d'une réduction des consommations/émissions unitaires du fait des mesures envisagées. L'évaluation du recours aux instruments économiques relève d'autres méthodes.

L'agrégation simple de ces deux évaluations établies selon des principes théoriques et méthodologiques différents, suscite des interrogations sur la signification à attribuer à l'évaluation globale des réductions des émissions de CO₂, et sur le crédit à accorder à cette agrégation. On risque en particulier un double comptage des effets d'un « paquet » de mesures comprenant des mesures appartenant aux deux catégories, ce qui pourrait mettre en cause la validité du résultat global.

De nombreuses controverses se sont donc développées quant à l'impact à attendre de différents jeux de mesures publiques en termes de consommation d'énergie et donc d'émissions de gaz à effet de serre, et l'étude de ENERDATA a illustré quelques-uns de ces problèmes.

Au stade actuel, il faut donc reconnaître que l'évaluation de l'impact des politiques et mesures du PNLCC est en vérité très fragile. Cela rend d'autant plus nécessaire un suivi régulier et précis de l'effet réel de

paquets de mesures, qui devrait accompagner la révision périodique du scénario de référence qui a été proposée.

Par ailleurs, il ne suffit pas de proposer des mesures, encore faut-il s'intéresser à leur mise en œuvre et aux délais nécessaires pour que leur impact soit perceptible.

Dans le même cadre, les exercices réguliers de construction d'un scénario tendanciel (pour préparer chaque communication nationale), il serait donc utile d'évaluer régulièrement le degré de mise en œuvre des mesures et leur impact direct⁶¹.

De plus, la non-évaluation des coûts des différentes mesures ne permet pas de hiérarchiser les mesures et d'optimiser leur mise en place, en construisant une courbe coût/efficacité pour chaque « paquet de mesures ». La méthode actuelle qui n'évalue pas le coût des mesures ne prépare pas l'économie française à utiliser – si nécessaire – les mécanismes de flexibilité proposés dans le protocole de Kyoto, dans le cas où ceux-ci permettraient de satisfaire nos engagements internationaux à un coût moindre pour la collectivité nationale.

Enfin, les perspectives de consommations d'énergie et donc d'émissions de CO₂-énergie reposent sur un certain corps d'hypothèses concernant notamment le rythme de la croissance économique et son contenu sectoriel sans qu'on puisse évaluer l'impact d'évolutions différencierées de ces paramètres.

Deux principales conclusions se dégagent :

L'évaluation des mesures du PNLCC réalisée par ENERDATA est basée, d'abord, sur l'impact attendu des mesures techniques et réglementaires. Mais elle prend en compte aussi les possibles effets secondaires et/ou additionnels liés aux instruments économiques via les coefficients budgétaires. Ceci indique l'importance prise par ce concept dans le processus d'évaluation.

(61) Ceci est réalisé aux Pays-Bas au cours des révisions régulières du scénario de référence.

Il faudrait donc poursuivre et généraliser les travaux économétriques afin de mieux apprécier les réactions des agents économiques aux modifications de leurs dépenses énergétiques, qu'elles viennent des prix ou des quantités. Pour les ménages, le recours à la méthode des coefficients budgétaires permet de réaliser que ces agents optimisent probablement des demandes de services (transport, chauffage, etc.) en fonction de leurs coûts respectifs et non pas directement une consommation d'énergie. En revanche la transposition au secteur industriel, notamment aux IGCE, de ce formalisme semble moins évidente car la relation au volume de production reste très forte, et ce volume de production dépend d'abord de l'activité économique et des éventuelles substitutions sur les produits.

Pour se préparer à une utilisation éventuelle des mécanismes de flexibilité, il faudrait : évaluer le coût de chacune des mesures ou paquet de mesures et son efficacité afin de les hiérarchiser ; préparer les éléments qui seront nécessaires pour proposer le partage optimal entre un effort national et des mécanismes de flexibilité ; évaluer les impacts macro-économiques des différentes mesures en couplant l'utilisation d'un modèle technico-économique avec celle d'un modèle d'équilibre général.

CHAPITRE III

L'apport des autres modèles

D'autres modèles ont été développés, souvent au niveau européen, sur la France. Ils tentent, à partir d'autres méthodes de modélisation, d'évaluer le résultat de politiques et mesures visant à réduire les émissions de GES. Après en avoir présenté quelques-uns en section 1, nous illustrerons en section 2 à quel point ces modèles peuvent apporter des éclairages différents sur les mêmes politiques, à l'aide de trois exemples.

Exercices sur la France réalisés à l'aide d'autres modèles

En dehors des exercices réalisés directement pour les instances administratives françaises, on peut citer les modèles proposant des projections pour la France élaborés en dehors de l'administration française et dont la diversité nous permet d'enrichir l'analyse de l'évaluation d'un programme de lutte contre l'effet de serre même si cette diversité peut en accroître la complexité.

On citera par exemple les modèles : PRIMES, GEM-E3, POLES, GEMINI-E3, EPPA.

Le modèle PRIMES

PRIMES est un modèle d'équilibre partiel du secteur énergétique européen développé par l'université d'Athènes. Il résulte d'un programme de recherche financé par le programme JOULE de la DG Recherche de la Commission européenne et sa construction a débuté en 1993 : il avait pour objectif de modéliser les effets des mécanismes de marché sur les évolutions de l'offre et de la demande énergétique dans un contexte d'évolutions technologiques et de libéralisation des marchés de l'électricité. PRIMES est le premier outil européen décrivant de manière

endogène les prix énergétiques, comme résultant de la confrontation entre l'offre et la demande de chaque forme d'énergie.

La première version du modèle a été utilisée en 1997 pour évaluer les effets des politiques et mesures envisagées par l'Union européenne dans la négociation du protocole de Kyoto. Les résultats du modèle ont ainsi servi aussi bien de référence en matière de prospective énergétique européenne pour la préparation de la position communautaire à Kyoto que d'outil d'aide à la décision pour la suite du processus de négociation.

La version actuelle du modèle couvre l'ensemble des 15 États membres⁶², et se base sur des données EUROSTAT. L'année de référence est 1995, et il propose des pas de 5 ans jusqu'à l'horizon 2030. Il décrit 24 types de combustibles. Du côté de la demande, on distingue le résidentiel, le commerce (lui-même désagrégé en sous-secteurs), l'industrie (en 9 branches et 30 sous-secteurs) et les transports (distinguant transports de passagers et de biens). L'offre d'énergie est scindée entre la production d'électricité, les raffineries, le gaz naturel et le charbon. Le modèle détaille les choix technologiques, tient explicitement compte des équipements en place et détermine les prix des énergies qui équilibrivent les offres et les demandes.

PRIMES est organisé en modules : les modules électricité et gaz naturel fonctionnent sur une échelle européenne, alors que les productions de charbon, les raffineries et les demandes d'énergies sont détaillées à un niveau national.

Le scénario de référence de PRIMES pour 2010 a été élaboré au cours du projet « *Shared Analysis* » sous la responsabilité des Directions générales du transport et de l'énergie de la Commission européenne en 1999. Ce projet avait pour objet d'élaborer des scénarios européens du secteur énergétique. Il inclut donc les politiques et mesures en place à la fin de l'année 1997, auxquelles on a ajouté l'effet de l'accord volontaire des

(62) Le débat sur le choix d'un scénario se retrouve ici « à la puissance quinze » puisqu'il s'agit pour chaque pays de comparer des évaluations de politiques nationales de lutte contre l'effet de serre par rapport à des scénarios nationaux de référence.

constructeurs automobiles, ACEA⁶³, visant à réduire les émissions des véhicules à 140 gCO₂/km.

Contribution de PRIMES à l'étude de la Commission sur l'évaluation économique des réductions d'émissions

Ce modèle a été utilisé par la Commission⁶⁴ pour réaliser une évaluation économique des réductions d'émissions de CO₂. Pour les autres gaz à effet de serre, d'autres sources ont été mobilisées, à savoir des études *bottom-up* réalisées et collectées par ECOFYS et AEA Technology.

Les deux types d'informations ont été combinés pour rechercher la répartition optimale par secteur et par État membre qui permet d'atteindre l'objectif de réduction des émissions européennes de 8 %. Le coût relativement faible des mesures de réduction des autres gaz permet de conclure par exemple que les engagements de Kyoto peuvent être atteints pour l'UE par une réduction de 271 Mt de CO₂ et de 112 MteqCO₂⁶⁵ pour les autres gaz. Si les mesures les moins coûteuses sont entreprises en priorité, le coût marginal de la réduction s'établit à 20,3 € 99/teqCO₂ (31,6 si l'accord ACEA n'est pas appliqué), ce qui porte le coût du respect de réduction de 8 % des émissions européennes de gaz à effet de serre sur le seul sol européen à 3,7 G€/an (soit 0,06 % du PIB européen).

Une des principales conclusions de l'étude est qu'une répartition efficace des efforts de réduction des émissions de CO₂ imposerait au niveau européen une grande différenciation des objectifs sectoriels. En particulier dans le cas de la France, la réduction de ses émissions de GES pourrait atteindre 5,6 % (par stabilisation des émissions de CO₂ et réduction de 16 % de ses émissions d'autres gaz) en cas d'optimisation des efforts à l'échelle européenne et seulement 0,4 % (par augmentation

(63) Sans l'accord ACEA, les émissions de CO₂ augmenteraient de 6,7 % en 2010 par rapport à 1990 à comparer avec une croissance limitée à 4,1 % par an avec l'accord.

(64) L'ensemble des études utilisées par la Commission est disponible sur : http://europa.eu.int/comm/environment/enveco/climate_change/comparison_report.pdf

(65) teq CO₂ = tonne équivalent CO₂.

de ses émissions de CO₂ et réduction de 13,8 % de ses émissions d'autres gaz) en l'absence d'une telle optimisation.

Autrement dit, si la France « seule » répartit efficacement ses émissions, elle compense une augmentation de ses émissions de CO₂ par un recours à des mesures moins coûteuses de réduction des autres gaz. Si l'Europe répartit efficacement ses émissions, les efforts de la France vont plus loin que ses engagements de réduction, et la France se retrouve vendeuse nette de permis.

L'utilisation de PRIMES, modèle très désagrégé, est cependant handicapée par l'absence de données fiables : son alimentation se fait à partir de la base de données ODYSSEE dont le degré de détail peut apparaître à ce jour comme le plus fin compatible avec les statistiques publiques des pays de l'Union européenne. La nomenclature ODYSSEE reste cependant insuffisante pour alimenter un modèle aussi désagrégé que PRIMES, que ce soit dans le secteur industriel, dans le secteur bâtiment (la typologie du parc de logement est correcte mais le croisement usage énergétique/type de logement est insuffisant) ou dans le secteur tertiaire. Par ailleurs, ODYSSEE ne désagrège pas les consommations des sous-secteurs par usage, contrairement à PRIMES.

Utilisation de PRIMES pour la France

Nous disposons pour la France d'une comparaison entre les résultats du scénario de base de PRIMES et ceux des trois scénarios (S1, S2, S3) de « Energie 2010-2020 » du Plan. S'agissant des hypothèses retenues sur l'évolution des indicateurs macro-économiques et sectoriels : la croissance du PNB est plus haute dans PRIMES jusqu'en 2010 mais plus basse entre 2010 et 2020 (1,76 % par an contre 2,3 %) ; les chiffres sur la population sont différents et la différence s'accentue lorsqu'il s'agit de comparer le nombre de logements, etc.

Ces différences sur les indicateurs de base expliquent sans doute une partie des différences sur les résultats de la consommation énergétique finale en 2010 et 2020.

Tableau 3
Consommation finale⁶⁶ d'énergie

	S1		S2		S3		PRIMES	
	2010	2020	2010	2020	2010	2020	2010	2020
Industrie	42,7	47,4	42,1	45,2	37,6	38,4	40,3	42,0
Tertiaire + Agriculture	28,6	31,7	27,3	29,4	25,8	25,8	22,9	24,1
Résidentiel	49,9	53,2	47,2	48,2	44,3	42,9	39,9	39,4
Transport	63,2	76,9	59,3	69,0	52,5	56,1	50,6	50,0
Sous-total	184,4	209,3	175,9	191,8	160,2	163,1	153,7	155,5
Consomm. finale non énergétique	17,7	20,3	18,6	22,1	17,0	18,2	19,4	20,6
Total	202,1	229,6	194,5	213,9	177,2	181,3	173,1	176,1

Source : « Shared Analysis » Working Document – Comparison of Primes' Results for Baseline Scenario with Official French Energy Forecasts

Mais celles-ci sont largement accentuées par des hypothèses sectorielles différentes : par exemple, la demande est très basse dans PRIMES pour le transport et le secteur résidentiel/tertiaire ; PRIMES sous-estime la progression de la production d'électricité réalisée à partir de centrales thermiques classiques et surestime l'apport de la cogénération, etc.

Ici encore, les résultats de PRIMES supposent la fourniture de données détaillées souvent inexistantes (tout au moins dans le système statistique français considéré pourtant comme l'un des meilleurs systèmes européens).

Le modèle GEM-E3

Le modèle GEM-E3 est un modèle d'équilibre général calculable élaboré par un réseau européen avec un financement de la DG Recherche de la Commission européenne. Initialement coordonné par l'université technique d'Athènes (*Pr. Capros*) le réseau comporte aujourd'hui de

(66) Les chiffres de consommation estimés dans S1, S2, S3 sont différents de ceux apparaissant dans les tableaux précédents repris dans le chapitre II du rapport. Ils ont été recalculés en prenant les mêmes coefficients d'équivalence pour l'électricité que ceux utilisés dans PRIMES.

PRIMES : en équivalence à la consommation 1 000 kWh = 0,086 tep.

Travaux français OE : en équivalence à la production 1 000 kWh = 0,222 tep.

nombreuses équipes de l'Union européenne : KUL (Louvain), l'université de Mannheim, ERASME pour la France, etc. et même certaines appartenant à des pays hors Union européenne tels que la Suisse ou à des pays en accession tels la Hongrie.

Le modèle donne un éclairage sectoriel détaillé des politiques de l'environnement :

- Le modèle est un modèle E3 « Economie-Energie-Environnement ».
- L'énergie est détaillée en quatre produits : électricité, pétrole et produits pétroliers, gaz, charbon.
- L'environnement apparaît avec les matrices d'émissions de différents gaz.

C'est un modèle d'équilibre général en 18 secteurs dont les quatre secteurs énergétiques, l'agriculture, la métallurgie, la chimie, les autres industries énergies intensives, équipement électrique, équipement de transport, autre équipement, consommation, construction, télécom, transport, crédit, autres services, etc. La consommation est éclatée en 13 postes. Ce modèle permet d'analyser les conséquences de l'introduction d'un progrès technique endogène dans l'évaluation des politiques de lutte contre les émissions de gaz à effet de serre⁶⁷.

Il permet aussi de calculer les variations d'utilité⁶⁸ (de surplus ou de bien-être) qui résultent à la fois de la mise en œuvre des politiques de l'environnement et des politiques de lutte contre les émissions de CO₂. A noter que, de ce point de vue, les résultats des études de la Commission sur les coûts externes des polluants (ExternE) ont été incorporés dans le modèle qui peut donc calculer les variations de bien-être économique comme les variations de bien-être environnemental.

Le modèle POLES

(67) Voir en section 2.3 une comparaison des résultats d'évaluations de politiques de lutte contre les gaz à effet de serre avec et sans progrès technique endogène.

(68) En dehors des politiques de l'environnement, le modèle décrit l'emploi, l'investissement, les prix ainsi que les autres variables sectorielles traditionnelles et toutes les variables macro-économiques (solde extérieur, solde des administrations, etc.).

L’IEPE (Institut économique et de politique de l’énergie) de Grenoble a développé le modèle POLES et une maquette périphérique, ASPEN, qui est un logiciel dédié à l’analyse des systèmes de permis d’émission.

Le modèle POLES est un modèle de simulation du système énergétique mondial à l’horizon 2030 :

- les évolutions démographiques et économiques, pour chacun des grands pays ou régions du monde sont considérées comme exogènes et incorporées sous forme de scénarios ;
- en revanche, les évolutions de l’ensemble des variables caractérisant la consommation, la transformation, la production et les prix de l’énergie par grande région du monde sont endogènes au modèle.

Les principales utilisations du modèle relèvent de trois grands types d’exercices :

- ***Une prospective détaillée du système énergétique mondial***, par grand pays ou régions (38 actuellement).
- ***Une analyse des impacts des contraintes d’environnement global***, exprimées dans les accords internationaux sur la limitation des gaz à effet de serre, avec un calcul des coûts marginaux de réduction par pays et par secteur et une utilisation du logiciel spécialisé ASPEN (Analyse des systèmes de permis d’émission négociables) pour la simulation de « marchés de droits d’émission ».
- ***Une analyse du progrès technique du secteur de l’énergie*** avec la simulation de scénarios de « percée technologique » et une endogénération de l’impact de la R & D sur les performances et la diffusion des nouvelles technologies.

C’est un modèle de simulation récursive en pas annuel : la dynamique est donnée, à partir du point initial puis d’année en année, par les ajustements progressifs des variables d’offre et de demande d’une part et des prix d’autre part.

L’horizon prospectif a été volontairement limité à une trentaine d’années, dans le souci de traiter des technologies « explicites » et non « génériques » : on fait

ici aussi l'hypothèse que les technologies qui pourront avoir un impact quantitatif significatif en 2030 doivent être au moins identifiées aujourd'hui.

Structure du modèle

Le modèle est construit selon une structure hiérarchisée de modules, interconnectés au niveau national, régional et mondial :

- le plan national intègre pour chaque région 15 modules de consommation avec des équations de demande de type économétrique, 10 technologies nouvelles pour l'offre d'énergie avec modélisation du processus de diffusion, 12 technologies de production d'électricité en compétition au sein d'un module électrique avec courbe de charge et des modules de production d'énergies fossiles ;
- les plans régionaux ou mondiaux intègrent les flux d'échanges énergétiques et les modules de prix internationaux, pour les trois grandes énergies faisant l'objet d'un large commerce international : pétrole, gaz naturel et charbon.

Dans sa désagrégation géographique actuelle, le modèle distingue 38 régions. Au sein de chacune d'elle les plus grands pays - ceux du G7, de l'UE et les cinq grandes économies en développement rapide : Chine, Inde, Corée, Brésil et Mexique - sont identifiés et traités par des modèles détaillés. Cette caractéristique est particulièrement importante pour l'étude des coûts des stratégies de réduction des émissions de GES et des enjeux de la négociation climat.

Développement des énergies fossiles et marchés internationaux de l'énergie

Outre cette structure de modules, le modèle représente le processus de découverte et de mise en production des énergies fossiles tenant compte à la fois des contraintes de ressource sur le développement à long terme du pétrole et du gaz et de la contribution du progrès technique à la reconstitution de la base de ressources.

L'endogénéisation des prix de l'énergie repose sur la prise en compte des variations du ratio réserves sur production comme indicateur des tendances relatives des fondamentaux de l'offre et de la demande de pétrole et de gaz. Pour le pétrole un marché mondial unique est considéré alors que trois grands marchés régionaux sont identifiés pour le gaz naturel.

Analyse économique des politiques de réduction des émissions de CO₂ dans le système POLES-ASPEN

A partir de la projection de référence « sans Kyoto », l'introduction - ou l'internalisation - d'une « valeur du carbone » dans les différents modules permet de construire pour chaque région des courbes de coûts marginaux de réduction (CMR) en 2010 ou en 2030. Ces courbes reflètent la réponse du modèle - en termes de réduction du niveau des émissions - à l'introduction d'une pénalité carbone.

Pour les modules de demande, cette pénalité croissante se traduit par une réduction des consommations et donc des émissions, soit par changement de comportement soit par investissement dans des technologies efficaces, sans que toutefois celles-ci ne soient explicitées. Pour les modules « énergies nouvelles » et « production d'électricité », les impacts découlent des modifications de compétitivité relative de 22 technologies dont les coûts et performances sont explicités.

Le logiciel ASPEN permet le traitement de ces courbes de CMR nationales ou sectorielles, selon une logique micro-économique simple mais rigoureuse. Il permet de calculer : le coût marginal de réduction à l'objectif ; les échanges de permis en volume et valeur pour différentes configurations de marché ; le coût total pour chaque partie ou entité, avec ou sans échange de permis ; enfin le taux d'effort ou rapport du coût total au PIB de chaque pays.

Le modèle POLES et différentes versions du logiciel ASPEN ont ainsi été utilisés pour préparer les évaluations économiques correspondant à des enjeux de la négociation climat⁶⁹.

Les modèles GEMINI-E3

Le système de modèles d'équilibre général GEMINI-E3 constitue une famille de modèles élaborés et gérés dans le cadre d'une collaboration entre le ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement (METL) et le Commissariat à l'énergie atomique (CEA), afin de procéder à l'évaluation économique dans un cadre de cohérence globale des politiques énergétiques en relation avec leurs

(69) On trouvera ci-dessous en 2.2 quelques résultats du modèle POLES pour la France, comparés à ceux de GEMINI-E3.

impacts environnementaux et en particulier ceux liés à l'effet de serre.

Outre une version spécifiquement nationale (GEMINI-E3 XL-France), cette famille comporte un modèle mondial (*GemWTraP*) dans lequel la nomenclature sectorielle est en huit branches (agriculture, charbon, gaz naturel, pétrole brut, produits pétroliers, électricité, industries intensives en énergie, autres secteurs de l'économie) et la ventilation du monde en sept zones (France, Union européenne sans la France, États-Unis, Japon, ex-Union soviétique, pays exportateurs d'énergie et reste du monde). Ce découpage a permis au modèle de traiter un ensemble large de problèmes liés à l'effet de serre⁷⁰.

La structure du modèle est comparable à celle des autres principaux modèles d'équilibre général mondiaux mais elle a pour spécificité d'accorder une place prédominante à la mesure du coût macro-économique des politiques du changement climatique et à l'analyse de ses facteurs explicatifs : coût en termes de bien-être exprimé par le surplus (ou variation compensatrice du revenu) ; ventilation entre la composante externe (pertes ou gains liés aux termes de l'échange) et la composante interne (coût de distorsion fiscale ou de « charge morte de la fiscalité »). De même le modèle calcule explicitement les coûts marginaux de réduction, lesquels diffèrent en général des prix du carbone (taxe ou prix d'équilibre d'un marché de permis négociables), eux aussi calculés par le modèle. Cette analyse est particulièrement pertinente dans le cas de la France du fait d'une représentation très détaillée de la fiscalité.

Le modèle couvre la période 2000-2040, le scénario de référence s'appuyant en particulier sur les projections de *l'Energy Information Administration du DOE (International Energy Outlook)*. Pour la France, le scénario suppose une croissance annuelle du PIB de 2,2 % sur la période 2000-2010, et de 2,1 % sur la période 2010-2040. Les émissions de carbone liées à la combustion d'énergie fossile s'établiraient en 2010 à 121 MtC en 2010, à 134 en 2020, 145 en 2030 et à 157 en 2040. Le modèle ne traite pas des autres gaz à effet de serre ni des puits de carbone.

Sur cette base, la baisse des émissions de carbone que devrait réaliser la France en 2010 serait de 16 % par rapport au scénario de référence soit 19 millions de tonnes de carbone. Sans recours aux permis négociables, la taxe sur le

(70) *La mise en œuvre du protocole de Kyoto avec ou sans permis négociables, l'impact de la non-ratification du protocole par les Etats-Unis, la mise en place de mesures d'accompagnement pour les industries intensives en énergie, l'impact du programme électronucléaire français dans le cadre du protocole, l'importance du leakage. Voir en particulier les références dans le dernier rapport du GOEC etc.*

carbone⁷¹ en France s'éleverait en 2010 à 189 € (valeur de 2000) et la perte de bien-être est évaluée à 5,9 millions d'euros (de l'année 2000) soit une perte de moins de 0,01 % de la consommation finale des ménages.

La décomposition de cette perte en termes de bien-être fait ressortir que la mise en œuvre du protocole de Kyoto, en induisant une baisse de la consommation d'énergie fossile dans les pays de l'Annexe B et par suite une baisse des prix internationaux de l'énergie, généreraient des gains des termes de l'échange pour les pays de l'OCDE. Ces gains sont évalués pour la France à 2,56 milliards d'euros 2000. Le coût pur de la taxation est de 2,62 milliards d'euros 2000 soit 0,24 % de la consommation finale des ménages. Le solde n'est donc qu'une perte nette de 5,9 millions d'euros, comme indiqué ci-dessus.

Dans le cas de la mise en place d'un marché de permis négociables au sein des pays de l'OCDE et en utilisant l'air chaud de l'ex-Union soviétique⁷² le prix du permis s'établirait à 73,3 € de 2000. La France étant acheteuse de 8 millions de tonnes de permis, la perte de bien-être pour la France serait proche de 0,55 milliard d'euros 2000, sensiblement supérieure à celle enregistrée sans marché de permis, ceci s'expliquant par une réduction sensible des gains des termes de l'échange⁷³. Cet exemple montre que le prix du carbone n'est pas toujours un bon indicateur du coût macro-économique supporté par le pays.

Si les permis négociables étaient instaurés au sein des pays de l'Annexe B, le prix du permis s'établirait à 38 € de 2000, et la perte de bien-être serait proche de zéro. La France achèterait 13 Mt de permis d'émissions de carbone.

GEMINI-E3 XL France

Le modèle GEMINI-E3 XL France est une adaptation nationale du modèle mondial GEMINI-E3. Le compte de référence s'appuie principalement sur le

(71) Dans tous les résultats présentés ci-après les recettes fiscales sont redistribuées de la manière la plus efficace possible ; pour la France cela revient à utiliser les recettes pour baisser la TVA.

(72) Dans cette configuration, l'ex-URSS vend son *aAir cChaud* mais ne met pas en place un prix du carbone au sein de son économie.

(73) Cependant les résultats du modèle GEMINI-E3 montrent que le coût interne croît de façon quadratique avec *l'abattement la réduction* alors que les gains liés aux termes de l'échange évoluent de façon linéaire. Par la suite, pour des *abattements réductions* plus importantes, la mise en place d'un marché de permis négociables dans les configurations présentées ci-dessus est bien plus *profitable avantageuse* qu'un scénario de taxe nationale sans permis.

scénario S2 « Etat industriel » du rapport « Energie 2010-2020 » développé par le Commissariat général du Plan. La plupart des hypothèses sont donc tirées de ce scénario, avec quelques ajustements nécessaires pour parvenir à la cohérence imposée par la modélisation en équilibre général : on suppose une croissance de 2,3 % sur la période 1990-2010, à comparer à la croissance effective de 1,7 % sur la période 1990-1997, l'évolution de l'environnement international est calée à partir des scénarios réalisés avec le modèle DIVA (scénario « Europe » présenté au point 3 du chapitre Premier) pour les travaux du Commissariat général du Plan.

Le prix du baril de pétrole (brent) atteindrait 24 \$ (prix de 1995) en 2010, le prix du gaz naturel serait de 3,3 \$/MbtU à cette même date. Quant au charbon, son prix corrigé avec le prix à la consommation serait égal à 40 \$/t. Enfin, le cours du dollar serait de 0,78 €.

La production nationale de charbon, de gaz et de pétrole brut est supposée nulle en 2010, ce qui suppose que toutes les énergies fossiles sont importées à cette date.

Les hypothèses sur les coûts de production de l'électricité reprennent les évaluations de l'exercice⁷⁴ DIGEC (1997) qui s'appuyaient sur un taux d'actualisation de 8 %. Concernant le coût du combustible nucléaire, c'est le scénario haut de cet exercice qui a été retenu. La durée de vie des équipements nucléaires retenue est de 40 ans. Enfin, les exportations nettes d'électricité sont fixées à 70 TWh en 2010. La production d'électricité de 582 TWh en 2010 est répartie dans le compte de référence entre : 431 TWh en nucléaire, 34 en charbon, 44 en gaz et 74 en hydraulique.

Les consommations finales d'énergie sont de 7 Mtep en charbon, 31 Mtep en gaz (dont 16 pour le résidentiel et 10 pour l'industrie), 85 Mtep en produits raffinés (dont, aux arrondis près, 54 pour les transports, 13 pour le résidentiel, 9 pour le tertiaire, 7 pour l'industrie et 3 pour l'agriculture) et enfin 98 Mtep en électricité (dont 34 pour l'industrie, 33 pour le résidentiel et 26 pour le tertiaire).

Les évolutions sectorielles en France sont calées⁷⁵ à partir des scénarios réalisés

(74) Le coût de référence de la production d'électricité.

(75) Des niveaux de taux de croissance annuel moyen ont été calculés sur la période 1990-2010 (en intégrant jusqu'à 1994 les évolutions réelles) pour la consommation des ménages, les exportations, les importations et la production en 36 branches. Puis, pour la consommation et les échanges extérieurs, ces évolutions ont été calées pour chacune des branches en S du modèle GEMINI-E3 XL France en fonction de son appartenance à

avec le modèle DIVA pour les travaux du Plan, relatives à la période 1994-2015, et en nomenclature T (36 branches), (alors que le modèle GEMINI-E3 XL France est plus détaillé, puisqu'il est en nomenclature S - 88 branches).

Dans le scénario de référence, les émissions de CO₂ augmentent de 0,65 % par an de 1990 à 2010, alors que le PIB progresse sur la même période de 2,28 %.

Ce scénario fournit un éclairage sectoriel détaillé des politiques de changement climatique.

Le scénario examiné est l'application par la France isolée d'une taxe uniforme sur le carbone de 91,5 € valeur 2000/tC (500 F valeur de 1990), dont les recettes sont redistribuées sous forme forfaitaire afin de maintenir constant le solde budgétaire du gouvernement. Il est supposé que cette politique modifierait peu l'environnement international.

Les émissions de carbone seraient réduites de 10,1 % soit de 11,8 MtC, alors que le PIB baisserait de 0,08 %, les importations de 0,15 %, les investissements de 0,01 % et les exportations de 0,46 %.

Le détail sectoriel montre que les 3,28 G € (valeur de 2000) (17,9 G F valeur de 1990) de recettes de la taxe pèseraient de façon différenciée sur les secteurs selon leur dépendance énergétique. Les secteurs pour lesquels la taxe rapportée à la valeur ajoutée excéderait 3 % seraient : les transports maritimes et navigations côtières (11,2 %), les produits pétroliers raffinés (10,7 %), les produits de la sidérurgie (8,7 %), les transports aériens (5,7 %), les transports de marchandises (4,7 %) et la chimie minérale (3,6 %).

La production d'électricité serait ramenée à 563 TWh dont 424 TWh en nucléaire, 11 en charbon, 54 en gaz et 74 en hydraulique.

Le modèle EPPA

une branche en T. Seule donc l'évolution de la production est légèrement différentiée dans la nomenclature S par rapport à la nomenclature T. Puis l'évolution de la production en T a été calculée et comparée à celle donnée par DIVA, et en cas d'écart significatif, les coefficients de la matrice des consommations intermédiaires et de la matrice de la formation brute de capital fixe (FBCF) ont été amendés afin de se rapprocher des résultats de DIVA. Le compte de référence détaille donc les évolutions en production, exportation, importation, consommation finale, investissement et consommation intermédiaire des 88 branches de la nomenclature sectorielle en S.

Le MIT (Massachusetts Institute of Technology) de Boston (Etats-Unis), a développé le modèle EPPA⁷⁶ (Emissions Prediction and Policy Analysis).

Le modèle *EPPA* est une des composantes du modèle intégré *Integrated Global Simulation Model (IGSM)* qui simule les émissions anthropiques de gaz à effet de serre à partir des activités. Ces scénarios d'émissions ainsi que des simulations d'émissions d'origine naturelle sont injectés dans un modèle couplé chimico-climatique, et servent ainsi à produire des scénarios d'évolution du climat.

EPPA était initialement fondé sur le modèle *GREEN (GeneRal Equilibrium EnviroNment)* développé par l'OCDE, mais a évolué depuis. *EPPA* est un modèle mondial d'équilibre général récursif dynamique et multi-zones à horizon long (2100) et multi-gaz. Il couvre 12 régions et 10 secteurs économiques. Le modèle est construit sur la base de données énergie-économie GTAP⁷⁷-E et donne une représentation des marchés énergétiques en unités physiques ainsi qu'une comptabilité détaillée des productions régionales et des échanges commerciaux bilatéraux. Cette base de données couvre 45 pays ou régions, 50 secteurs économiques et 5 facteurs de production regroupés en 12 régions, 8 secteurs et 3 facteurs. Les 12 régions du monde représentées sont, pour les pays de l'Annexe B, les Etats-Unis, le Japon, l'Union européenne, le reste de l'OCDE, l'ex-URSS et les PECO, et hors Annexe B, le Brésil, la Chine, l'Inde, les pays exportateurs d'énergie, les pays asiatiques dynamiques et le reste du monde. Les 8 secteurs sont, pour les secteurs non énergétiques l'agriculture, les industries intensives en énergie, les autres biens et services et pour les secteurs de l'énergie le pétrole brut, le gaz naturel, les carburants, le charbon et l'électricité. Les 3 facteurs de production retenus sont le travail, le capital et des facteurs fixes.

Schématiquement, le consommateur décide à chaque période de son épargne et de sa dépense en biens de consommation, qu'il répartit entre les 8 biens décrits, puis pour chaque consommation de bien, il a encore le choix entre acheter « national » ou « étranger ». De façon très schématique également, les secteurs de l'industrie gros consommateurs d'énergie et les autres biens et services ont une fonction de production où l'ensemble énergie-travail-capital se décompose

(76) Dans ce modèle, Les fonctions de production et les fonctions d'utilité sont de la forme CES (Constant Elasticity Substitution) et les élasticités de substitution sont explicitées dans Babiker et alii (2001).

(77) Global Trade Analysis Project.

en agrégat énergétique et valeur ajoutée (travail et capital). L'agrégat énergétique est éclaté entre consommation électrique et non électrique, et enfin le secteur non électrique se décompose en charbon, gaz et produits pétroliers.

EPPA permet d'évaluer l'activité économique, les consommations d'énergie et les émissions des gaz à effet de serre (CO_2 , CH_4 , N_2O , PFC, HFC, SF_6 , et aussi SO_2 , CO et composés organiques volatils) pour chacune des 12 régions. Il permet aussi d'analyser les effets économiques des politiques de réduction des émissions de gaz à effet de serre, en distinguant le coût total national, les coûts sectoriels, mais aussi les effets sur la compétitivité internationale des entreprises.

Le module européen

Un module européen a été développé récemment⁷⁸ et permet de détailler, au sein de l'Union européenne (UE), les échanges entre 9 États membres (Allemagne, Danemark, Espagne, Finlande, France, Italie, Pays-Bas, Royaume-Uni, Suède) et le reste de l'UE. Le module européen introduit également le secteur des transports en distinguant les transports de l'industrie et les transports des ménages. L'année de base est toujours 1995, et le modèle est résolu de façon récursive sur des intervalles de 5 ans.

Dans le scénario de référence, le taux de croissance annuel moyen de la période 1995-2010 est pris à 2,6 % pour la France (respectivement 2,8 pour l'UE) et pour la période 2010-2020 à 2,6 % (respectivement 2,9). L'évolution annuelle moyenne du prix réel pour la France sur la période 1995-2010 du charbon, du gaz et du pétrole est pris à 2,0, 2,8 et 3,7 %, et pour la période 2010-2020 à 1,3, 2,5 et 3,0 %. La production nucléaire annuelle moyenne en France est supposée progresser de 1,73 % sur la période 1995-2000, 0,79 % sur la période 2000-2005, 0,21 % sur la période 2005-2010, 0,79 % sur la période 2010-2015 et 0,20 % sur la période 2015-2020.

Sans mesure, les émissions françaises (respectivement européennes) augmentent de 19,1 % (respectivement 14,3 %) en 2010 par rapport à 1990, alors que l'engagement de réduction est de 0 % (respectivement - 8 %). Elles atteignent pour l'ensemble de l'Europe 3,8 Gt CO_2 en 2010, et 4,1 en 2020, du fait d'une augmentation de 1,07 % par an de 1995 à 2010, réduite à 0,64 % par an de 2010 à 2020. Les émissions françaises (respectivement européennes) de CO_2 progressent par an pendant la période 1995-2010 de 1,17 %

(78) Cf. Viguer et alii, 2001.

(respectivement 1,07 %), puis pour la période 2010-2020 de 0,67 % (respectivement 0,64 %).

Sans échanges, le coût marginal de réduction des émissions en France (respectivement en Europe) est de 136 \$ par tonne de carbone (en valeur de 1995) (respectivement 159), et le bien-être diminuerait de 0,67 %, alors que le PNB diminuerait de 1,11 %. Les auteurs de ce module prennent le soin de comparer leur scénario de référence et leurs courbes de coûts avec ceux qui proviennent d'autres modèles. En ce qui concerne la France, ils signalent que la réduction d'émissions nécessaire par rapport au scénario de référence est plus importante, mais que la courbe de coût marginal de réduction des émissions d'EPPA (modèle d'équilibre général récursif dynamique) est légèrement plus basse que celle obtenue dans les modèles d'équilibre partiel POLES et PRIMES qui, par définition, ne peuvent incorporer l'ensemble des effets de bouclage macro-économique.

L'existence de ces différents exercices accroît la difficulté de l'analyse, tout en l'enrichissant. Les différences proviennent d'abord, en amont, des différences conceptuelles entre les modèles utilisés et des données exogènes intégrées dans les modèles, la plupart d'entre elles se fondant sur des dires d'experts souvent différents.

Quelques éléments de comparaison

Afin d'illustrer la diversité des modèles, leur spécificité et l'intérêt d'utiliser plusieurs modèles apportant des éclairages différents sur une même question, nous présentons dans cette section :

- une comparaison de l'évaluation d'un accord type ACEA par MEDEE-ME d'une part, par un modèle d'équilibre général d'autre part ;
- une comparaison de l'analyse du coût d'une politique par les modèles POLES et GEMINI-E3 ;
- les conséquences de l'introduction d'un progrès technique endogène dans un modèle tel que GEM-E3.

Evaluation des accords volontaires des constructeurs européens d'automobiles

On a tenté de comparer les résultats de MEDEE-ME et du modèle d'équilibre général calculable (MEGC) développé par Charles River Associates⁷⁹ pour évaluer une mesure de type « accords volontaires des constructeurs automobiles ».

Pour évaluer ce même type de mesures, ces deux modèles ont des objectifs différents (1), ils utilisent une méthodologie différente (2) et aboutissent à des résultats apparemment opposés (3).

Deux objectifs différents...

L'étude de Charles River Associates est fondée sur des hypothèses théoriques

L'objectif de l'article de Charles River Associates est, de façon générale, de présenter une évaluation de l'impact de l'adoption de mesures hybrides dans le cas d'une limitation des émissions de CO₂ aux Etats-Unis. Les auteurs évaluent ainsi de façon comparative, d'une part l'effet d'une combinaison de comportements des usagers de l'automobile, de normes d'efficacité énergétique pour les nouveaux véhicules automobiles particuliers et de la création d'un marché de permis négociables pour les autres sources d'émission et, d'autre part, l'impact d'une politique limitée à l'adoption d'un marché de permis négociables s'appliquant à tous les usages énergétiques (y compris le transport automobile des ménages). En outre, les auteurs souhaitent évaluer l'impact que peut avoir l'adoption de normes d'efficacité sur les autres secteurs de l'économie et sur le bien-être général.

MEDEE-ME évalue une situation concrète

L'objectif de MEDEE-ME est d'évaluer l'impact, en termes de réduction des émissions de CO₂ dans le secteur des transports français, de l'accord volontaire signé entre les constructeurs automobiles européens et la Commission européenne (accord ACEA) en 1998. Cet accord prévoit une baisse des consommations spécifiques des voitures neuves de 25 % en moyenne sur 1995-2008. Il est exprimé en quantité de CO₂ par véhicule-km : 140 g/km en moyenne

(79) « *Analysis of the Reduction of Carbon Emissions through Tradable Permits or the Technology Standard in a CGE Framework* », E.J. Balisteri, P.M. Bernstein, W.D. Montgomery, A.E. Smith, G. Yong, Charles River Associates, 18-20 juillet 1999.

pour les immatriculations neuves en 2008, tous types de voitures confondus, seuil devant être abaissé à 120 g/km en 2020⁸⁰.

Une méthodologie différente...

L'étude de Charles River Associates utilise une méthodologie pertinente mais complexe dans sa mise en œuvre

Pour réaliser leurs évaluations, les auteurs élaborent dans un premier temps une version modifiée du modèle d'équilibre général calculable (MEGC) MS-MRT, leur objectif étant alors de représenter de la façon la plus pertinente possible le comportement des ménages en matière d'usage de l'automobile.

Pour ce faire un module spécifique de consommation de transport routier des ménages est construit et couplé au modèle d'équilibre général calculable. Les principales caractéristiques de ce module sont les suivantes :

- utilisation de fonctions décrivant explicitement les caractéristiques de différentes générations de véhicules ;
- description de deux classes d'automobiles (petites et grandes) ;
- évaluation précise des coûts d'acquisition et d'usage de ces véhicules à travers trois postes (investissement, carburant et autres coûts).

Autrement dit, ce modèle prédit les comportements des ménages en matière de renouvellement de leur automobile et de nombre de miles parcourus en fonction des déterminants de ces comportements (données techniques sur les performances des véhicules et coûts divers liés à l'usage de l'automobile).

Les auteurs évaluent les effets de l'adoption de quatre normes d'efficacité énergétique pour les véhicules particuliers⁸¹ par rapport à une simulation où les véhicules ne feraient l'objet d'aucune norme, mais où les ménages devraient

(80) *Le surcroît de consommation spécifique et d'émissions de CO₂ du fait du fonctionnement de certains équipements additionnels embarqués, notamment la climatisation, ne sont pas inclus dans l'accord.*

(81) *Les normes d'efficacité énergétique sont les suivantes :*

CAFE27_1 27 mpg (miles per gallon) en 2010 augmentant de 1 mpg tous les 5 ans ;

CAFE30_1.5 30 mpg augmentant de 1,5 mpg tous les 5 ans ;

CAFE33_1.5 33 mpg augmentant de 1,5 mpg tous les 5 ans ;

CAFE33_3 33 mpg augmentant de 3 mpg tous les 5 ans ;

s'acquitter d'un prix du carbone pour la consommation de carburant automobile, autrement dit où l'essence et le gazole feraient l'objet d'une taxe.

MEDEE-ME traduit en termes d'émissions de GES évitées les « dires d'experts » sur les gains d'efficacité énergétique des véhicules.

Selon les experts réunis au sein de l'équipe⁸² transport du groupe, les accords ACEA, s'ils étaient strictement respectés par les constructeurs automobiles, permettraient d'obtenir une baisse moyenne européenne des consommations spécifiques de 15 à 20 % sur les voitures neuves à moteur à combustion interne, soit sur le marché français (sur lequel les voitures sont plus petites) une baisse de 10 à 15 %. Ces « dires d'experts » aboutissent aux hypothèses suivantes :

Tableau 4
Hypothèses tendancielles sur les consommations spécifiques
des voitures neuves et des camions, 1997-2020
(indice 1997 = 100)

1997	Tendance		Variante	
	2010	2020	2010	2020
Voitures essence	100	91	90	80
Voitures gazole	100	96	95	85
Camions	100	100	100	100

Le modèle MEDEE-ME traduit ces hypothèses technologiques en émissions de CO₂ évitées.

Des résultats apparemment opposés...

L'étude de Charles River Associates permet d'obtenir des résultats non seulement sur les émissions de CO₂ évitées, mais aussi en termes de bien-être social

Les résultats auxquels ces auteurs parviennent sont les suivants :

(82) Une synthèse des travaux de cette équipe est fournie dans l'annexe VI de ce rapport.

- une norme d'efficacité énergétique de type ACEA ne donne aucune incitation à conduire moins, le coût du carburant n'étant pas affecté ;
- au contraire elle incite à utiliser davantage sa voiture pour deux raisons : d'une part, toutes les autres consommations font en moyenne l'objet d'une augmentation relative de leur prix (suite à l'adoption d'une taxe sur le carbone), les ménages opèrent alors une substitution en faveur de l'automobile ; d'autre part, la baisse de la consommation énergétique conduit à une baisse des prix internationaux de l'énergie et donc du prix du carburant automobile ;
- en même temps, une norme d'efficacité énergétique peut augmenter pour un même individu la consommation unitaire par kilomètre parcouru car elle réduit l'incitation à acheter des véhicules plus économiques pour trois raisons : les nouveaux véhicules, plus économiques, devenant plus chers, cela réduit la demande pour ces nouveaux véhicules ; l'augmentation du coût des autres biens et services (suite à l'adoption d'une taxe sur le carbone) réduit, par un effet revenu, la demande pour de nouveaux véhicules ; enfin, la baisse du prix des carburants (suite à la baisse du prix international du pétrole brut) réduit l'incitation à acheter des véhicules plus efficaces.

L'évaluation des baisses d'émissions de carbone liées à l'utilisation des véhicules automobiles particuliers est alors la suivante dans les cinq scénarios :

Emissions de carbone liées à l'usage des véhicules automobiles particuliers

Scénario	2010	2020
Taxe sur le carbone pour tous	- 18,7 %	- 23,6 %
CAFE27_1	- 4,7 %	- 3,0 %
CAFE30_1,5	- 12,7 %	- 16,0 %
CAFE33_1,5	- 18,9 %	- 22,6 %
CAFE33_3	- 18,8 %	- 34,7 %

En % par rapport au compte de référence (pour lequel aucune politique n'est mise en œuvre)

En termes de bien-être, l'adoption de normes d'efficacité énergétique concernant les véhicules particuliers se traduit toujours par un coût de mise en œuvre de l'objectif de réduction des émissions plus élevé qu'une politique ne recourant qu'à la mise en place d'une taxe sur le carbone. Le surcoût est évalué à plus de 50 % de la perte initiale de bien-être dans le cas le plus favorable et à plus de 155 % dans le cas le plus défavorable. Si néanmoins l'on souhaite privilégier l'adoption de normes de mesure d'efficacité énergétique le choix du niveau de ces normes n'est pas évident.

L'évaluation par MEDEE-ME de l'impact des accords ACEA en termes de réduction des émissions françaises aboutit à des conclusions plus confuses

En considérant les coefficients budgétaires, MEDEE-ME retient (cf. chapitre 2.4) que face à une baisse de la consommation unitaire des véhicules combinée à un prix stable des carburants, le consommateur tend à accroître l'usage de son véhicule ou à monter vers des gammes dont la consommation est plus forte.

Au regard des impacts attendus sur les économies d'énergie et les émissions de CO₂, l'effet des accords ACEA en France est de loin le plus important, relativement aux autres mesures de réduction dans les transports : 1,4 Mtep et 4,4 MtCO₂ d'économies par rapport au scénario « sans mesure » en 2010 pour les passagers, 1,3 Mtep et 3,9 MtCO₂ pour les marchandises, soit 2,7 Mtep et 8,3 MtCO₂ pour l'ensemble des transports (87 % des économies totales d'énergie attendues de l'ensemble des mesures en 2010, 57 % des réductions totales d'émissions de CO₂).

Dans le rapport d'évaluation⁸³ des mesures du PNLLCC réalisé par ENERDATA à l'aide du modèle MEDEE-ME, ENERDATA précise que la retombée de l'accord ACEA sur les consommations spécifiques sera telle qu'elle rendra inefficaces toutes les mesures visant à limiter l'usage de la voiture, voire la montée en gamme. Ceci reste vrai même en mettant en place les instruments fiscaux prévus dans le programme national. On remarquera toutefois que cette conclusion n'est valable que pour autant que les projections de l'usage de la voiture « sans mesure » établies par le METL (scénario A) sont acceptées⁸⁴.

Les conclusions des modèles MEDEE-ME et Charles River Associates se rejoignent tout de même sur un point : le constat général selon lequel l'introduction d'une norme d'efficacité, parce qu'elle ne donne aucun signal-prix aux usagers, mais au contraire relâche leur contrainte budgétaire, diminue le coût d'usage de l'automobile et crée ainsi des

(83) Voir en annexe IV.

(84) On rappellera comme dans le chapitre II que ces projections pourraient être mises en question par l'apparition d'un phénomène de saturation sur le kilométrage moyen des voitures à brève échéance. Si tel était le cas, la circulation des voitures dans le scénario sans mesure serait alors plus basse, l'effet de l'accord volontaire moins prononcé et les effets-rebond quasiment inexistant.

conditions d'apparition d'effets-rebond, peut avoir des effets moindres sur des réductions d'émissions que ceux escomptés.

Le concept de coût d'une mesure : comparaison POLES et GEMINI⁸⁵

De nombreuses études ont été réalisées dans l'objectif d'évaluer le niveau de taxe requise sur le carbone afin d'atteindre les objectifs du protocole de Kyoto. Il peut être intéressant d'analyser les résultats auxquels aboutissent deux modèles de structure différente dans le cas français. A cette fin, nous présentons ici une comparaison des résultats obtenus à partir des modèles POLES et GEMINI-E3 dans le cadre d'un scénario où la France mettrait en œuvre une taxe sur le carbone mais sans recours aux permis négociables. Ces deux modèles sont des modèles mondiaux qui ont pour caractéristique commune de décrire isolément la France.

Le premier élément de comparaison entre les deux modèles concerne la baisse d'émissions nécessaire pour respecter les engagements français contractés à Kyoto et à son corollaire, le montant de la taxe sur le carbone. Les baisses d'émissions sont comparables en pourcentage, 14,4 % pour POLES et 15,8 % pour GEMINI-E3. Mais surtout les niveaux de taxe sur le carbone sont eux aussi, très proches. Il est difficile d'interpréter cette proximité des résultats. On peut simplement observer qu'à court terme les élasticités prises en compte par les deux modèles, pourtant construites à partir de protocoles différents (estimations économétriques pour POLES et calibrage pour GEMINI-E3) aboutissent à cette proximité des résultats. Il serait toutefois intéressant de poursuivre cette comparaison pour des horizons plus lointains, les spécifications différentes des deux modèles pouvant alors faire diverger les résultats.

(85) Voir pour une présentation plus détaillée, le volume complémentaire publié au Plan, document VI.

Tableau 5
Taxe et baisse des émissions de CO₂ en 2010

	POLES	GEMINI-E3
Baisse des émissions de CO ₂ en Mt carbone	17,5	19,2
Baisse des émissions de CO ₂ en %	- 14,4 %	- 15,8 %
Taxe sur le carbone francs 90	1 058	1 033

Au niveau sectoriel, la convergence des résultats est moindre ⁸⁶, en particulier pour le secteur électrique.

Si nous examinons maintenant les courbes reliant le niveau de réduction et la taxe sur le carbone, on constate que la taxe évaluée par GEMINI-E3 est systématiquement au-dessous de celle de POLES mais avec des écarts qui restent raisonnables.

Concernant le coût de mise en œuvre des politiques, POLES estime celui-ci en calculant l'intégrale de la courbe de coût marginal de réduction, jusqu'à l'objectif de réduction, pour un pays ou pour un secteur : ce coût représente le coût total de l'ensemble des actions (réduction de la demande, substitutions entre énergies, changements de technologies) qui ont dû être mises en œuvre afin d'atteindre l'objectif. L'évaluation du coût de mise en œuvre des politiques de réduction des émissions de gaz à effet de serre fait l'objet d'un traitement spécifique dans le modèle GEMINI-E3, la mesure retenue étant le surplus du consommateur.

Le coût total de mise en œuvre du protocole de Kyoto est estimé par le modèle GEMINI-E3 à 54,9 millions d'euros 2000 pour l'année 2010. La mise en place du protocole ⁸⁷ générera des gains importants pour la France issus des termes de l'échange, lesquels sont évalués à 2,56

(86) On se reportera au document qui détaille cette comparaison, notamment au niveau de l'allocation sectorielle des efforts de réduction.

(87) Il est important de noter que le scénario présenté ici suppose la mise en œuvre du protocole de Kyoto par l'ensemble des pays de l'Annexe B, les gains des termes de l'échange importants pour la France venant ainsi de la baisse de consommation d'énergie de ces pays et non pas seulement de la baisse de consommation d'énergie de la France.

milliards d'euros 2000 et viendraient ainsi contrebalancer le coût interne lié à la mise en œuvre de la taxation. Pour POLES ce coût interne pour le secteur énergétique est évalué à 1,57 milliard d'euros 2000.

Le coût calculé par POLES serait comparable à celui calculé par GEMINI-E3 en l'absence de distorsions fiscales⁸⁸ et dans le cas d'une économie fermée. On peut tenter d'évaluer par GEMINI-E3 le coût qui prévaudrait dans ce cas, on obtient alors les chiffres présentés dans le tableau ci-après :

Milliards d'euros 2000	POLES	GEMINI-E3
Coût interne en l'absence de distorsions	- 1,57	- 1,28
Coût interne y compris distorsions fiscales	n.d.	- 2,62
Gain des termes de l'échange	n.d.	+ 2,56
Surplus	n.d.	- 0,06

Les deux coûts internes en l'absence de distorsions fiscales sont donc très comparables, mais la prise en compte des distorsions et des termes de l'échange modifie de façon très importante les résultats.

En conclusion, l'examen des résultats des modèles POLES et GEMINI-E3 dans le cas d'un scénario de mise en œuvre du protocole de Kyoto, au moyen d'une taxe sur le carbone sans recours aux mécanismes de flexibilité, fait apparaître des concordances remarquables. Les niveaux de taxe sur le carbone calculés par les deux modèles sont en effet identiques pour des réductions d'émissions en pourcentage très proches. *Ceci met en lumière le fait que les deux modèles prennent en compte des élasticités-prix de la demande nette globale d'énergie fossile très proches.*

Au niveau de la répartition des efforts par secteur on trouve aussi des similitudes, même si pour certains secteurs existent des différences fortes (en particulier pour le secteur électrique).

(88) Comme dans la majorité des MEGC, GEMINI-E3 suppose que l'ensemble de la fiscalité est une fiscalité pure. Il ne retranche pas par exemple dans le secteur des transports la part de la fiscalité correspondant au coût des infrastructures et à la prise en compte des externalités.

L'évaluation du coût de mise en œuvre de cette taxation est comparable si on utilise une mesure commune, c'est-à-dire le coût interne sans prise en compte des distorsions fiscales existantes. Reste que dans GEMINI-E3, le seul indicateur pertinent est le surplus qui diffère beaucoup de ce coût interne.

Il est certain que l'amplitude limitée de l'effort analysé ici (- 15 %) et l'horizon proche de la simulation (2010) conduit à gommer en partie les différences entre les deux modèles.

Pour des réductions d'émissions plus importantes et des horizons de simulation plus lointains (2030-2040), les spécifications et surtout le traitement différencié des substitutions aboutiraient certainement à des résultats plus contrastés.

L'endogénéisation du progrès technique dans GEM-E3

Dans la quasi-totalité des modèles économiques appliqués, le progrès technique est exogène à taux constant et ne dépend pas des conditions économiques qui prévalent ; dans un tel contexte, les réponses des entreprises à une hausse des prix de l'énergie qui suit la mise en œuvre d'instruments économiques de lutte contre les gaz à effet de serre (taxation, permis d'émissions négociables...) sont limitées à des substitutions de facteurs qui diminuent la consommation d'énergie.

L'endogénéisation du progrès technique élargit les réponses possibles de l'entreprise à un choix de R & D qui est susceptible d'alléger ses coûts en augmentant la productivité des facteurs en particulier celle de l'énergie, ou en accroissant la « qualité » des produits ce qui revient à diminuer la consommation des matières premières utilisées dans les processus de production : en principe le coût des politiques devrait en être allégé.

Pourtant, certains auteurs ne partagent pas ce point de vue : *Nordhaus* par exemple en utilisant le modèle *R. Dice* pense que l'effet de substitution est bien supérieur à l'effet de progrès technique qui peut donc être négligé ; d'autres chercheurs mettent en avant que l'effet d'éviction de la R & D générale par la R & D qui économise l'énergie va peser à terme

sur la croissance économique et donc sur le coût des politiques de lutte contre les émissions de gaz à effet de serre.

Cela étant, les progrès de la théorie de la croissance se sont appuyés au cours des dix dernières années sur un modèle de « croissance endogène » dans lequel l'endogénéisation du progrès technique peut⁸⁹ jouer un rôle prépondérant. Il est indispensable d'incorporer ces nouveaux mécanismes, si l'on veut que les modèles appliqués restent en adéquation avec les modèles théoriques.

Ceci a été réalisé par l'équipe ERASME dans le modèle d'équilibre général GEM-E3 de la Commission européenne (cf. supra) en incorporant trois mécanismes qui sont au centre des nouvelles théories : la décision endogène de R & D, le lien entre la R & D et la productivité, le lien entre la R & D et la qualité des produits et les « externalités » tenant aux transferts de connaissances entre secteurs d'activité et entre régions.

Une fois le modèle construit, de nouvelles évaluations des politiques de lutte contre les émissions de gaz à effet de serre ont été conduites en comparant systématiquement les résultats avec ceux obtenus avec le modèle de progrès technique exogène. Les résultats, qualitativement conformes à ceux que suggère l'intuition, montrent en général un allégement du coût des politiques. Plus précisément :

- l'allégement du coût peut atteindre 50 % lorsque l'instrument fiscal est utilisé sans recyclage du produit de la taxe ;
- l'allégement relatif des coûts est d'autant plus important que les coûts initiaux sont élevés ;
- la redistribution du produit de la taxe sous la forme d'aide à la recherche développement générale (non spécifique de l'environnement et de l'énergie) permet d'obtenir un double dividende sous la forme d'un accroissement de bien-être ; c'est le seul cas de double dividende.

Certes, ces résultats sont encore quantitativement fragiles, dans la mesure où les principaux paramètres, moteurs de la croissance endogène, sont

(89) « *P*eut » seulement, car il existe des modèles de croissance endogène sans progrès technique endogène.

« calibrés » et non estimés ; ils appellent, de plus, des travaux complémentaires pour relier l’endogénéisation du progrès technique à des travaux beaucoup plus micro-économiques réalisés à partir de l’incorporation des nouvelles technologies dans les entreprises (approche *bottom-up*) ; ils ont cependant le mérite de donner un éclairage qualitatif sur ce qu’apportent les nouvelles théories de la croissance à l’évaluation des politiques de lutte contre les gaz à effet de serre.

En conclusion

Nous avons constaté en présentant les différents modèles que chacun d’entre eux était adapté à des analyses différentes, parfois complémentaires. En ce sens, il serait important d’encourager l’utilisation en parallèle de modèles différents pour analyser une même politique visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre.

Certes, cela a déjà souvent été réalisé, que ce soit dans la préparation des scénarios pour la France dans « Energie 2010-2020 » (les modèles MEDEE-ME et MIDAS avaient été utilisés pour estimer les émissions de gaz à effet de serre, et leurs résultats avaient été comparés) ou dans les travaux de la MIES pour préparer le PNLC.

Mais il faudrait aller plus loin et systématiser l’usage de différents modèles afin de comparer les résultats et d’analyser les différences constatées. Or, les modèles existants, qui constituent en vérité un ensemble assez complet, ont été construits pour des besoins spécifiques.

Si l’on veut pouvoir comparer leurs résultats et les faire « dialoguer », un gros travail de mise en cohérence reste à faire : compréhension identique du concept de scénario de référence, utilisation des mêmes bases de données, calibrage sur des références identiques, horizons de projection identiques, clarification des concepts de coût utilisés, nomenclature identique de présentation des résultats, etc.

Enfin, comme il a été dit à propos de MEDEE-ME, la même exigence de transparence doit s’appliquer à tous les modèles. Toute présentation de résultat doit s’accompagner de l’explicitation exhaustive des hypothèses

empiriques et méthodologiques adoptées et la mémoire doit en être conservée par des publications détaillées.

CHAPITRE IV

Méthodes utilisées par d'autres pays

La seconde mission du groupe impliquait l'analyse de ce que font les pays étrangers pour préparer leurs communications nationales, avec un double objectif :

- Situer la France parmi eux, en termes qualitatifs.
- Apprendre des expériences étrangères.

L'analyse systématique de ce qui se fait dans les autres pays s'est vite révélée hors d'atteinte, faute d'informations facilement disponibles. Elle a cependant permis d'identifier les Pays-Bas comme l'un des pays les plus avancés sur le plan des méthodes.

La section 1 se contente de reproduire l'évaluation faite par la Commission des informations fournies par les États membres. La section 2 présente les méthodes utilisées aux Pays-Bas. La section 3 en tire quelques leçons pour la France.

Qui fait quoi en Europe : une appréciation des informations fournies par les États membres à la Commission européenne

Le mécanisme de surveillance rassemble les informations des États membres

Un « mécanisme de surveillance » des émissions anthropiques de CO₂ et des autres gaz à effet de serre a été mis en place en juin 1993 pour suivre

de manière régulière les progrès réalisés par chaque État membre de l’Union européenne en matière de réduction des émissions. Cette décision a été révisée en avril 1999⁹⁰ afin de permettre l’actualisation du processus de surveillance en fonction des exigences en matière d’inventaires introduites dans le protocole de Kyoto (1997) à la convention-cadre des Nations Unies sur le changement climatique.

La Commission européenne rassemble donc pour tous les États membres leurs inventaires d’émissions les plus récents, leurs programmes nationaux et les mises à jour qu’ils lui communiquent dans le cadre des communications nationales. Les programmes nationaux comprennent à la fois des informations sur les progrès réellement accomplis, mais aussi des informations sur les progrès escomptés, ceux qui nous intéressent ici.

L’évaluation des progrès escomptés requiert des informations sur l’ensemble des politiques et mesures envisagées, ainsi que sur les projections des États membres en matière d’émissions. Les politiques et mesures examinées comprennent celles qui sont en vigueur, ou sur le point d’être mises en œuvre, pour le scénario dit **avec mesures**. Les politiques et mesures qui seront mises en œuvre ultérieurement sont qualifiées de **supplémentaires**.

Le premier rapport prenant en compte la révision d’avril 1999 a été publié à la fin de l’année 2000

La Commission a publié le 22 novembre 2000 le premier rapport⁹¹ dans lequel on trouve la synthèse des éléments ainsi rassemblés.

Si l’évaluation des progrès effectifs a pu être entreprise, puisque les principales données relatives aux émissions étaient disponibles pour les États membres, l’évaluation des progrès escomptés a été plus difficile, car les informations concernant la quantification des politiques et mesures, les méthodes utilisées et les hypothèses de base restent souvent

(90) Décision 99/296/CE du Conseil de l’Union européenne.

(91) Rapport au titre de la décision 1999/296/CE du Conseil relative à un mécanisme de surveillance des émissions de CO₂ et des autres gaz à effet de serre dans la Communauté, COM(2000) 749 final du 22.11.2000.

très imprécises et varient considérablement d'un État membre à l'autre. Plus de la moitié des États membres n'ont en particulier pas quantifié de manière adéquate les progrès escomptés. Il est de ce fait difficile de tirer des conclusions définitives quant au fait de savoir si les États membres séparément ou la Communauté dans son ensemble ont des chances de satisfaire leurs engagements pris à Kyoto.

La Commission note dans son résumé : « *Cependant, il reste encore beaucoup à faire pour améliorer l'exhaustivité, la fiabilité et la comparabilité des données, en particulier celles relatives aux progrès escomptés. Le comité de surveillance et ses deux sous-groupes ont entrepris de nouveaux travaux sur ces aspects, et des améliorations sont donc à attendre pour l'an prochain* ».

La France est plutôt un bon élève

C'est de ce rapport qu'est extrait le tableau ci-après sur le type et la qualité des informations fournies par les États membres à propos de leurs politiques et mesures et de leurs projections.

Il apparaît que si la France couvre l'ensemble des gaz à effet de serre dans son plan national, cinq États membres négligent les gaz fluorés, et que l'un ne traite que du CO₂. Cependant, si les politiques et mesures proposées sont qualifiées de bien détaillées, leurs effets ne sont que moyennement évalués quantitativement, et leurs interactions avec d'autres politiques et mesures faiblement renseignées.

Le constat du manque d'homogénéité des informations fournies par les États membres a amené la Commission à proposer également dans son rapport les résultats des projections réalisées à l'échelle de la Communauté ⁹².

(92) Ces études, financées par la Commission, ~~seront~~ ont été présentées au groupe lors de la séance du 26 octobre 2001 par Matti VAINIO (DG Environnement).

Tableau 6
Type et qualité des informations fournies par les États membres sur leurs politiques et mesures

État membre	Intitulé de la politique ou mesure et objectif	Gaz à effet de serre visés	Stade de mise en oeuvre	Eval. quantitative de la réduction	Interaction avec d'autres politiques et mesures	Informations complémentaires	Programmes nationaux et mises à jour
Allemagne	+	Tous	++	+	-	Aucune info. sur le coût des mesures	Communication spécifique en 1999 - Rapport intermédiaire sur stratégie climat, 2000
Autriche	++	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	+++	+++	++	Qqs infos. sur les coûts des mesures	Projet de rapport sur la stratégie climat, 2000
Belgique	+++	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	+++	+	-	Aucune info. sur incidence financière	Communication spécifique, juin 2000
Danemark	+++	Tous	++	+++	-	Peu ou pas d'info. sur les coûts	Stratégie climat 2012, mars 2000 - Révisions Energie 21, juin 1999
Espagne	+++	Tous	+	+	-	Aucune info. sur les coûts	2 ^e communication nationale
Finlande	+++	Tous	+++	+	-	Peu ou pas d'info. sur les coûts	Communication spécifique, avril 2000
France	+++	Tous	++	++	+	Coûts totaux d'investissement, mais non ventilés par mesures	Programme national sur l'évolution du climat, février 2000
Grèce	++	CO ₂	+++	-	-	Aucune info. sur le coût des mesures	Tableau établi par NOA, mai 1999
Irlande	++	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	++	-	-	Courbe permettant de calculer les coûts de réduction, mais toutes mesures confondues	2 ^e communication nationale et étude nationale
Italie	+++	Tous	++	++	+	Coûts globaux indiqués	2 ^e communication nationale
Luxembourg	+++	Tous	+	-	-	Aucune info. sur les coûts	Stratégie nationale, mai 2000
Pays-Bas	++	Tous	++	+++	-	Info. détaillée sur coût des mesures	Politique en matière de climat, juin 1999
Portugal	+++	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	+	-	-	Aucune info. sur les coûts	Projections portugaises pour les émissions de GES, avril 2000
Royaume-Uni	+++	Tous	+++	+++	+	Qqs infos. sur les coûts des mesures	Projet de stratégie climat, mars 2000
Suède	+++	Tous	+++	++	-	Informations satisfaisantes sur coût des mesures	Communication spécifique, mars 2000

+, ++, +++ : niveau d'information fourni par les États membres, d'autant plus élevé que le nombre de signes est important

- : aucune information disponible

Source : Rapport de la Commission COM(2000) 749 final

Analyse approfondie des Pays-Bas⁹³

Les Pays-Bas étant signalés comme l'État membre capable de fournir des informations détaillées sur le coût de chaque mesure (contrairement à la France qui ne détaillait pas ces coûts), les méthodes employées dans ce pays ont fait l'objet d'une exploration plus approfondie.

La conception du Programme national de lutte contre le changement climatique néerlandais : « National Environment Policy Plan » (NEPP) est le résultat d'une longue expérience dans les politiques de maîtrise des consommations nationales d'énergie. Ce thème occupe une place importante dans le débat public néerlandais et les Pays-Bas sont l'un des rares pays, sinon le seul, où le programme de lutte contre le changement climatique fait non seulement l'objet d'un débat public mais aussi d'un arbitrage parlementaire.

L'élaboration du scénario de référence

Le système de modèles utilisé pour préparer le NEPP traduit d'abord l'intérêt d'une coopération structurée entre différents organismes en charge de sa mise en œuvre. Par ailleurs, différents modèles *bottom-up* et *top down* sont articulés entre eux, les outputs des uns étant utilisés comme inputs des autres, des documents de référence complets étant édités pour chacun des modèles utilisés.

La construction du scénario de référence est pilotée par le ministère de l'Environnement néerlandais (VROM). En plus de ce ministère, trois organismes sont impliqués dans l'élaboration et la réalisation des projections : le Bureau du plan néerlandais (CPB), la Fondation néerlandaise de recherche sur l'énergie (ECN) et l'Institut national sur la santé publique et l'environnement (RIVM).

(93) Voir dans le document 4 du volume complémentaire du Plan une présentation complète de l'approche retenue par les Pays-Bas pour évaluer les programmes de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Les compétences des économistes présents au CPB et des ingénieurs (ECN et RIVM) sont ainsi mobilisées tout au long de la procédure de construction des projections : de la formulation des hypothèses relatives à l'environnement international à l'effort final de réduction des émissions, via l'usage combiné de modèles.

Définition des scénarios

Tout exercice de projection suppose la définition d'hypothèses concernant l'environnement international et les principales variables exogènes domestiques : prix du pétrole, développement du commerce mondial, taux d'intérêt mondiaux, taux de change, évolutions démographiques, etc. L'ensemble des organismes associés à la réalisation du scénario de référence participe à cette étape préalable, l'objectif étant, comme dans les autres pays, d'aboutir à une base de données cohérentes et consensuelles de « dires d'experts ».

Deux scénarios de référence⁹⁴ sont initialement élaborés dans le document présentant le plan néerlandais⁹⁵, et *font l'objet d'une révision complète tous les quatre ans*⁹⁶ :

- le premier est fondé sur un développement relativement concurrentiel de l'espace européen (*Global Competition, GC*) ;
- le deuxième est conçu à partir d'une coordination renforcée au niveau européen (*European Coordination, EC*).

Le scénario GC, sous l'effet du stimulant que constitue la concurrence, est caractérisé par un taux de croissance économique sensiblement plus élevé que dans le scénario EC et par un taux de croissance des émissions

(94) La définition de ces scénarios est très proche de celle des scénarios « Energie 2010-2020 » du Plan.

(95) « *The Netherlands' Climate Policy Implementation Plan, Part I Measures in the Netherlands* », ministère du Logement, de l'aménagement du Territoire et de l'Environnement (VROM), juin 1999.

(96) Nombre d'années correspondant à la durée d'une législature aux Pays-Bas.

de gaz à effet de serre plus élevé (15 % en 2010 par rapport à l'année de référence 1990 à comparer avec + 13 % pour le scénario EC).

Seul le scénario GC est retenu pour déterminer l'effort que devront mener les Pays-Bas afin de respecter les objectifs de Kyoto, constatant qu'il est plus facile d'adapter la politique face à une augmentation moins importante que prévue des émissions de CO₂, qu'à la situation contraire.

Lorsqu'un jeu d'hypothèses est finalement retenu, les diverses institutions utilisent cette même référence pour l'ensemble de leurs travaux.

Ces hypothèses concernant l'environnement international et l'évolution des principales variables exogènes sont **révisées tous les quatre ans**.

La formalisation du scénario combine les approches bottom-up et top-down

Elle se déroule selon trois étapes distinctes, chacune s'appuyant sur l'usage de modèles économiques ou technico-économiques.

La première étape, qui s'inscrit dans une démarche purement *top-down*, est relativement standard dans ce genre d'exercice de prévisions. Il s'agit de déterminer, à l'aide d'un MEGC dynamique : le taux de croissance économique, l'inflation, le niveau du chômage, l'évolution des finances publiques, etc.

Ces derniers constituent les inputs du modèle ATHENA - modèle d'équilibre général statique - qui désagrège en 15 secteurs la production, les demandes de facteurs (capital, travail, consommations intermédiaires et un agrégat énergie), les profits, etc.

La deuxième étape introduit les informations de type *bottom-up*. A partir des demandes de facteurs sectorielles calculées par ATHENA, le modèle NEMO (Netherlands Energy Demand Model⁹⁷⁾, combiné à un module

(97) Koopmans C.C., te Velde D.W., Groot W and Hendricks J.H.A « NEMO : Netherlands Energy Demand Model. A Top-Down Model based on Bottom-Up Information », Mémoire n° 155, CPB, juin 1999.

d'offre d'énergie, désagrège la demande énergétique à partir d'équations de comportements relativement standards⁹⁸.

Cette deuxième étape est caractérisée par un aller-retour entre les résultats du modèle NEMO combiné au modèle d'offre d'énergie et ceux d'ATHENA. La modification des prix de l'électricité et des combustibles, donc de l'agrégat énergie dans ATHENA va conduire à des substitutions entre les facteurs de production⁹⁹.

Ainsi, l'écart, généralement très important, entre les projections de ces deux types d'approches, se trouve sensiblement réduit dans la procédure mise en œuvre aux Pays-Bas. Elle permet de bénéficier des avantages respectifs des approches *bottom-up* et *top-down*, à savoir de la prise en compte des opportunités technologiques et des arbitrages économiques des agents.

La troisième et dernière étape consiste alors, comme le fait le modèle MEDEE-ME dans le cas de la France, à traduire ces projections de consommations énergétiques en projections d'émissions de gaz à effet de serre (CO₂-énergie).

On obtient ainsi, à la fin de ce long processus, combinant divers modèles et approches, la projection des émissions liées au scénario de référence jusqu'en 2010 et l'effort de réduction nécessaire pour atteindre à cette

(98) Dans NEMO, seul est modélisé le côté demande du marché de l'énergie. Pour chaque génération de capital, la fonction de production (KLEM) distingue deux inputs énergétiques : l'électricité (e) et les combustibles (f). L'investissement total (I) et le travail (L) sont désagrégés suivant qu'ils affectent l'utilisation de combustibles (I_f et L_f), celle d'électricité (I_e et L_e) ou qu'ils ne modifient pas la demande d'énergie (I_o et L_o). Conformément à une démarche « bottom-up », des substitutions directes entre le fuel et l'électricité ne sont pas possibles. Elles ne peuvent s'effectuer qu'une fois les investissements préalables réalisés. Les substitutions s'opèrent donc entre les agrégats (e, I_e, L_e) et (f, I_f, L_f). En outre, cette fonction de production est supposée « putty-semiputty » : les facteurs sont substituables à la fois ex-ante mais aussi ex-post, les possibilités de substitution ex-post étant plus faibles que les possibilités ex-ante.

(99) Il s'agit pour l'instant d'un simple tâtonnement des modélisateurs du CPB jusqu'à ce que les résultats obtenus dans ces deux modèles soient relativement cohérents. Le CPB a déjà toutefois lancé d'importants travaux de recherche en vue de coupler les deux modèles.

date les objectifs impartis, en d'autres termes l'ampleur de la politique à mettre en œuvre.

Selon cette projection le niveau d'émissions de gaz à effet de serre s'élèverait à environ 256 MtCO₂, en prenant en compte les effets de la première phase du plan de réduction, alors que l'objectif de 6 % de réduction (retenu dans le cadre de la « bulle » européenne) fixe une cible correspondant à 206 MtCO₂. L'effort de réduction de la politique à mettre en œuvre est donc évalué à environ 50 MtCO₂.

Ces projections des émissions de gaz à effet de serre sont réévaluées tous les deux ans, afin de prendre en compte les effets des mesures mises en œuvre au moment de l'évaluation.

La mise en œuvre des politiques de réduction

Une méthodologie cohérente et transparente

Une première phase de la procédure de mise en œuvre des politiques de réduction consiste à évaluer *ex-ante* systématiquement pour l'ensemble des mesures applicables (61 mesures au total) les coûts économiques de mise en œuvre de chacune et leur potentiel de réduction.

Ces mesures ¹⁰⁰ relèvent de six domaines : transport, économie d'énergie, énergies renouvelables, production d'électricité, gaz à effet de serre autres que le CO₂, puits de CO₂ dans les forêts et en stockage souterrain. Pour chacune de ces options un format commun décrit :

- le nom de l'option ;
- une brève description de la mesure ;
- le potentiel de réduction en 2010 ;
- les instruments nécessaires pour sa mise en œuvre ;
- sa dynamique temporelle de mise en œuvre ;
- son coût ;

(100) A ce stade, on ne prend en compte aucun a priori sur le choix des mesures notamment en ce qui concerne leur acceptabilité politique et sociale.

- son acceptabilité sociale ;
- sa sensibilité par rapport à un développement futur.

Chacune des caractéristiques de ces options, autre que leur coût, est arrêtée sur la base de « dires d’experts ». Le calcul du coût fait l’objet d’une procédure plus complexe.

Une évaluation systématique ex-ante des bilans coût-efficacité des mesures

Pour chaque mesure **deux coûts** différents sont évalués.

Le premier, qualifié de coût individuel ou coût pour les agents privés, a trait au coût supporté par l’agent qui mettrait en œuvre ou qui subirait la mesure envisagée.

*Le second coût, le coût social, est celui supporté *in fine* par la nation.*

La différence essentielle provient de la répercussion des taxes sur les prix de marché : les taxes représentent un coût pour les agents privés et sont donc prises en compte dans les prix au consommateur final (ménage ou entreprise), tandis qu’elles sont entièrement recyclées au niveau national.

L’avantage de cette double évaluation est que, tout en conservant une optique d’intérêt général (représentée par le coût supporté par la nation), on évalue les coûts auxquels feront face les agents directement concernés. En outre, pour chacune des mesures, il est possible d’évaluer, par un critère coût-efficacité, le coût par tonne de CO₂ évitée en divisant le coût total par le potentiel de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Le critère coût-efficacité n’est cependant pas le seul élément qui entre en considération pour le choix des mesures. On cherche aussi à satisfaire un critère d’équité entre les acteurs économiques et en particulier entre les secteurs économiques. Enfin, l’acceptabilité sociale des mesures est elle aussi prise en compte ; on rejette systématiquement toute mesure, quel

que soit son coût, qui pourrait générer une opposition sociale trop forte, donc nuisible à sa mise en œuvre¹⁰¹.

Une fois considérées comme acceptables socialement, les mesures domestiques à mettre en œuvre sont regroupées en trois catégories (ou paquets)¹⁰² dont l'utilisation est hiérarchisée et conditionnelle à l'efficacité de la (ou des) catégorie(s) de mesures précédente(s). La séquence de mise en œuvre des trois catégories de mesures est la suivante : on met tout d'abord en œuvre le premier ensemble de mesures, le *basic package* ; si celui-ci s'avérait insuffisant, on recourt au second ensemble de mesures, le *reserve package* ; jusqu'à l'utilisation de *l'innovation package*, en cas de besoin.

Cette procédure illustre la vision dynamique du programme néerlandais.

Les mesures de base (basic package)

Ce premier ensemble regroupe des mesures dont le coût est inférieur à 150 florins par tonne de CO₂¹⁰³, qui peuvent être mises en œuvre maintenant et dont le potentiel comporte peu d'incertitude. Il englobe un ensemble de mesures diversifiées - principalement des mesures incitatives ou accords volontaires privilégiant donc une politique de concertation entre le gouvernement et les acteurs économiques - concernant tous les acteurs économiques (industries, ménages, secteur énergétique, agriculture, etc).

La part des réductions des émissions de CO₂ (énergie) à laquelle conduirait l'application de ce paquet serait de 70 % des réductions globales. Le coût annuel de mise en œuvre de ces mesures est évalué de 1 à 1,5 milliard de florins (soit environ de 454 à 681 millions d'euros) en 2010 selon que l'on considère le coût privé ou le coût social.

(101) La prolongation de la durée de vie de la centrale nucléaire de Borssele est un exemple des mesures qui n'ont pas été retenues malgré un coût de mise en œuvre peu élevé.

(102) La terminologie néerlandaise retient le terme de *package*.

(103) Soit 68,07 €/t CO₂ (446,5 FF).

Les mesures supplémentaires (reserve package) : une gestion précautionneuse de la réduction des émissions

Dans le cas où les mesures de base seraient insuffisantes et ne permettraient pas d'obtenir les résultats escomptés en termes de baisse des émissions de gaz à effet de serre, viendrait s'ajouter un ensemble de mesures supplémentaires dites de réserves. Ces mesures jouent un rôle de sécurité en palliant éventuellement les défaillances des mesures de base. Elles sont définies de manière à pouvoir être mises en œuvre en 2002 et 2005¹⁰⁴, années pour lesquelles il sera fait un audit de l'efficacité des mesures de base.

Deux catégories de mesures sont proposées dans cet ensemble : des mesures fiscales recouvrant une taxe sur l'énergie et une augmentation des accises ; des options spécifiques en matière de baisse des émissions de N₂O au sein de l'industrie chimique et de mise en place de stockage souterrain du CO₂ provenant de sources d'émissions industrielles.

Les mesures nouvelles (innovation package) : une vision à très long terme

Le programme néerlandais a défini des objectifs à plus long terme qui visent à préparer des périodes d'engagement ultérieures. Ces mesures, décrites au sein de l'*innovation package*, visent principalement à préparer les technologies et les instruments économiques pour le long terme.

Concernant les technologies, le programme néerlandais met l'accent sur le stockage du CO₂ qui figure déjà à des niveaux modestes au sein des catégories précédentes. L'objectif est d'apprécier ici une mise en œuvre plus conséquente et à plus grande échelle de cette technologie. Les technologies de production d'énergie émettant peu ou pas de carbone sont aussi considérées et il est donc envisagé un développement soutenu de l'éolien, du solaire et de la biomasse.

Un recours explicite et conséquent aux mécanismes de flexibilité

(104) L'année 2005 est aussi une étape de la mise en œuvre du protocole de Kyoto, puisque les différents pays signataires devront faire la preuve des progrès accomplis en matière de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Les Pays-Bas ont décidé de recourir de façon importante aux mécanismes de flexibilité¹⁰⁵ pour profiter de réductions d'émission à moindres coûts.

Le programme néerlandais ne donne aucune information sur la répartition du recours à ces instruments. Néanmoins il a déjà mis en place des opérations pilotes en matière de mise en œuvre conjointe (MOC) et de mécanisme de développement propre (MDP) et rédigé un document¹⁰⁶ préfigurant les formes que pourraient prendre ces mécanismes.

Ces opérations pilotes se traduisent principalement par une coopération (dans le cadre des MOC) avec les pays d'Europe centrale et orientale (PECO). Ces projets permettent aux Pays-Bas d'acquérir une expérience dans l'usage de ce type d'instruments, mais aussi de profiter des premiers projets dont les coûts de mise en œuvre seront faibles, en particulier rapportés à la tonne de carbone évitée¹⁰⁷. Une première évaluation des MOC et MDP devrait être réalisée en 2002.

Une utilisation substantielle des permis d'émission négociables (PEN) sera inévitable compte tenu des volumes de réduction envisagés par les différents types de mesures pour l'ensemble des gaz à effet de serre (50 % des besoins) et le programme néerlandais suppose la promotion au sein des pays de l'Annexe 1 de l'utilisation de cet instrument.

(105) Le protocole autorise trois types de mécanismes de flexibilité : *Mise en œuvre conjointe (MOC), Mécanisme de développement propre (MDP), et Permis d'émission négociables (PEN)*.

(106) « *The Netherlands' Climate Policy Implementation Plan, Part II: Cooperation with Foreign Countries* », ministère du Logement, de l'aménagement du Territoire et de l'Environnement (VROM), mars 2000.

(107) Les coûts sont très variables d'un projet à un autre et s'établissent dans un intervalle allant de 1 \$ à 150 \$ par tonne de CO₂ évitée. Pour certains projets ce coût peut même être négatif.

Quelques leçons tirées de l'expérience des Pays-Bas

En analysant la situation néerlandaise, considérée par certains comme exemplaire, il s'agissait de mettre en avant ce qui pourrait améliorer la situation française en matière d'évaluation des émissions de gaz à effet de serre. Ceci dans le but d'améliorer l'efficacité des politiques et mesures mises en place pour réduire ces émissions et de permettre à la France en tant que de besoin, de recourir aux mécanismes de flexibilité dans la mesure où ce recours pourrait s'avérer plus économique pour la collectivité.

En fait, ce qui semble manquer en France est d'abord une coordination organisée entre les différentes institutions (administrations, organismes d'études et de recherches, etc.) qui participent à ces évaluations et alimentent les modèles français ou européens.

Sur la construction des scénarios de référence

En matière d'outils de projection

La France dispose d'outils équivalents à ceux utilisés aux Pays-Bas, mais leur utilisation n'est pas coordonnée. Au lendemain du second choc pétrolier¹⁰⁸, sous l'égide du Commissariat général du Plan, le Club Mini-DMS-énergie regroupait les compétences de l'AFME (aujourd'hui, ADEME), du CERE (aujourd'hui, CEREN)¹⁰⁹, d'EDF, de l'IFP et de l'INSEE, pour réaliser des prévisions et des études de politiques énergétiques à l'aide d'un modèle macro-énergétique construit par leurs soins. L'activité de modélisation française a évolué par la suite, chacun des modèles ayant tendance à s'éteindre dans les tiroirs de son auteur.

(108) Le projet Mini-DMS-énergie fut décid~~é~~e en 1979, cf. Brillet et alii, « Energie et économie : le modèle Mini-DMS-énergie », « Economie et Statistique », n° 146, juillet-août 1982.

(109) AFME : Agence ~~f~~rançaise de ~~m~~aitrise de l'~~é~~Energie, CERE : Centre d'~~é~~Etude et de ~~r~~escherche sur l'~~é~~Energie.

Les équipes, issues pour beaucoup de l'AFME, se sont en partie réparties plus tard au sein d'organismes de recherche, la plupart situés en dehors de l'administration économique (ENERDATA, IEPE, ERASME, etc.) et la coordination de leurs travaux restait centralisée au sein du CGP à l'occasion de la préparation des plans successifs.

Deux enseignements, qui peuvent être transposés au programme français, ressortent de l'expérience néerlandaise sur ce point :

- le fait d'intégrer les modèles pourrait conduire à une meilleure compréhension des phénomènes et permettre d'aboutir à une synthèse, sous forme d'un scénario de référence unique, permettant d'asseoir l'expertise française et d'unifier la position française dans les négociations internationales relatives aux engagements de réduction des émissions de GES ;
- la procédure néerlandaise consistant à réviser systématiquement tous les 4 ans le scénario de référence et tous les 2 ans les évaluations des impacts des mesures mises en œuvre, serait utilement reproduite en France, avec une périodicité à définir. Jusqu'à ce jour, les révisions sont faites au CGP tous les 5 ou 7 ans (« Energie 2010-2020 » en 1998, le rapport Pecqueur en 1991) et autour de ces travaux, d'autres exercices sont réalisés par exemple dans certains ministères spécialisés.

En matière de méthodologie d'évaluation

Le calcul systématique du coût des mesures, appliqué aux Pays-Bas, facilite leur choix et s'inscrit délibérément dans une démarche coût-efficacité. Celle-ci devrait être la règle compte tenu des enjeux économiques du protocole de Kyoto qui justifient de réduire au minimum le coût de mise en œuvre d'une politique de réduction de gaz à effet de serre à objectif quantitatif fixé.

Les méthodes néerlandaises d'évaluation des coûts ne sont pas novatrices, elles rejoignent en partie les méthodes employées en France par divers organismes¹¹⁰. Nous dirons que le NEPP néerlandais systématisé cette évaluation, alors que la pratique française est plus réticente. Pourtant ce manque d'évaluation est dommageable car au-delà de la nécessaire estimation du coût

(110) Cf. par exemple [en annexe VII](#) la présentation faite au groupe par François Moisan (ADEME) le 3 mai 2001, « Méthodes d'évaluation ex-ante des politiques et mesures de réduction des émissions de CO₂ liées au secteur de production et de consommation d'énergie ».

des politiques de réduction des gaz à effet de serre, elle favorise des discours parfois partisans sur le coût ou le non-coût des mesures envisagées. Enfin, elle peut porter à croire que cette recherche de l'efficacité économique est accessoire.

Compte tenu des délais importants de mise en œuvre effective de certaines mesures de réduction des émissions de GES, il est indispensable qu'en France, comme c'est déjà le cas aux Pays-Bas avec les réflexions ayant abouti à la construction des « *reserve et innovation packages* », soit mise en place une procédure permettant de réagir à une éventuelle anticipation erronée des émissions de GES, étant données les incertitudes liées à ces évaluations¹¹¹ et de préparer un ensemble de mesures permettant de respecter les périodes d'engagement ultérieurs – post-Kyoto -, ou du moins, de maintenir les trajectoires d'émissions après les échéances liées aux engagements de Kyoto.

Sur le recours aux mécanismes de flexibilité

La France a choisi de ne pas recourir autant que faire se peut aux mécanismes de flexibilité. Cette intention traduit la volonté de ne pas se dédouaner des engagements contractés à Kyoto et d'assumer sa responsabilité vis-à-vis des émissions passées. Pour autant, ces intentions ne doivent pas faire oublier que ces mécanismes pourraient être utiles en particulier dans le cas où le PNLCC ne suffirait pas à remplir nos engagements.

Sans préjuger de la cause qui conduirait à cette situation, on peut s'interroger sur l'état d'impréparation actuel de la France concernant ces mécanismes, en particulier ceux liés aux Permis d'émission négociables (PEN) notamment au regard de l'avancement de ses partenaires européens. Cette constatation est corroborée par une étude récente du MATE¹¹² qui qualifie la situation française actuelle de « situation fragile » et souligne le manque de positionnement et de préparation sur ces instruments.

(111) *On peut penser à une mauvaise évaluation des potentialités de réduction de certaines mesures et/ou à une croissance des émissions plus soutenue que celle prévue.*

(112) « *Effet de serre : l'Union européenne et la France face à leurs engagements de Kyoto* », Note D4E-D2-01-55, MATE, septembre 2001.

En conclusion, la frilosité de la France vis-à-vis du recours aux mécanismes de flexibilité peut s'avérer extrêmement dommageable à l'avenir, car à force de ne pas s'intéresser à ces mécanismes, et aux MOC et MDP en particulier, la France ne pourra acquérir une expérience dans l'utilisation de ce type d'instrument que bien après les autres pays concernés ; avec comme risque supplémentaire celui de rater des opportunités d'investissement à moindre coût dans des pays stratégiques tels que les PEKO.

CHAPITRE V

Principales recommandations

Proposition 1 : La préparation des scénarios de référence périodiquement construits par la France doit être fortement perfectionnée, non seulement pour en améliorer la robustesse intrinsèque, mais aussi pour contribuer à l'harmonisation communautaire des principales hypothèses des modèles nationaux, demandée par l'Union européenne. Le scénario de référence devrait être actualisé selon un pas de temps permettant de tenir compte au plus près des modifications du contexte (nouvelles décisions nationales, directives et procédures communautaires, contexte international).

Dans le cadre de la révision du programme français de prévention du changement de climat ainsi que de la préparation de chaque communication nationale, à l'initiative de la MIES, le Commissariat général du Plan pourrait coordonner les travaux visant à améliorer le scénario de référence et l'analyse coût-efficacité des paquets de mesures envisagés. Les améliorations proposées, après validation par la MIES, seraient prises en compte dans l'actualisation du scénario de référence et du scénario « avec mesures supplémentaires ». Les modèles utilisés pour établir le scénario de référence seraient également employés pour effectuer les comparaisons globales requises.

Le suivi des résultats des mesures, dont la MIES est chargée notamment pour préparer la conférence annuelle de suivi du PNLCC, doit être techniquement renforcé. Le suivi jusqu'ici effectué consiste en un examen de la mise en œuvre de chaque mesure auprès des acteurs concernés. Il s'agit de compléter cette approche : d'une part en proposant une comparaison globale affinée entre les résultats attendus et les résultats effectifs du programme, en s'efforçant d'évaluer l'impact des différents paquets de mesures ; d'autre part en conduisant une analyse coût/efficacité des paquets de mesures techniques ou économiques envisagés, que ce soit à l'horizon 2010 ou au-delà. On pourra ainsi mieux évaluer l'intérêt de recourir éventuellement aux mécanismes de flexibilité.

Proposition 2 : Pour ce faire, les résultats des approches technico-économiques de type MEDEE-ME devront être systématiquement confrontés aux résultats d'autres approches traitant différemment l'évaluation des impacts combinés des instruments économiques et non économiques (modèles économétriques *top-down*, modèles d'équilibre général...). Cette confrontation souhaitable demandera une grande transparence sur les mécanismes mis en œuvre dans tous les modèles concernés, tant pour la prise en compte des instruments que pour la simulation de leurs impacts. Elle demandera également une mise en cohérence des différents modèles, de manière à ce qu'ils travaillent sur les mêmes bases de données, utilisent des concepts clairement définis, travaillent aux mêmes horizons et présentent leurs résultats dans la nomenclature de l'UNFCCC.

Par ailleurs, il faudra poursuivre et approfondir les recherches sur les comportements des acteurs (coefficients budgétaires et élasticités-prix) dès que l'on aura des séries plus longues.

Proposition 3 : Afin de promouvoir l'utilisation cohérente des modèles, ainsi que de tout autre outil nécessaire à l'évaluation économique des mesures et paquets de mesures, la MIES, maître d'ouvrage, lancera un appel d'offres pour une méthodologie de développement et de maintenance de l'ensemble des outils participant :

- au calcul des émissions de gaz à effet de serre ;
- à l'évaluation coûts/efficacité des paquets de mesures visant à réduire ces émissions, afin de hiérarchiser leur mise en place ;
- à l'évaluation des impacts de tous les instruments visant à réduire les émissions au sein de programmes cohérents sinon optimaux sur le plan macro-économique : politiques et mesures internes, instruments de flexibilité.

Proposition 4 : Il faudra développer les travaux sur les « autres gaz » à effet de serre pour que la fiabilité des données produites se rapproche de celle concernant le CO₂-énergie et s'associer dans ce but aux travaux européens réalisés sur ce thème. La mise en place d'un groupe technique concentré sur de tels travaux pourra y contribuer. En particulier la prise

en compte des émissions et absorptions provenant des secteurs agricole, forestier et des déchets, devra être mieux formalisée.

De nouveaux outils adaptés à ces secteurs devront être développés. Une large mission sur les statistiques agricoles (définitions, recueil et fiabilité) devra être lancée en priorité et permettra plus généralement une meilleure prise en compte du secteur agricole dans les bilans énergétiques.

Calendrier proposé :

- 2002 : mise en œuvre de la proposition 4 sur les autres gaz à effet de serre, à l'initiative de la MIES et sous l'égide du Commissariat général du Plan.
- 2003 : appel d'offres (proposition 3) afin de disposer d'un ensemble cohérent et opérationnel de modèles et pour lancer des études complémentaires sur le comportement des acteurs.
- 2004 : mise en œuvre de la proposition 1 à l'aide de l'ensemble des instruments mis au point à l'issue des études préparatoires résultant de l'appel d'offres.
- 2005 : nouvelle communication nationale.

Lettre de mission

Premier Ministre
Française
Commissariat Général du Plan

République

Paris, le 22 février 2001

Le Commissaire

Réf. : NJF-EM-17-2001
Affaire suivie par : Nicole Jestin-Fleury

Monsieur le Directeur,

Dans le cadre du programme de travail que lui a assigné le Premier ministre le 27 novembre dernier, le Commissariat général du Plan met en place un groupe de travail consacré aux scénarios de prospective et à la prévision des émissions de gaz à effet de serre. Ce groupe vise à clarifier les débats autour de l'impact des actions gouvernementales sur les émissions et à faciliter le suivi du programme national. Pierre-Noël Giraud, directeur du Centre d'économie des ressources naturelles à l'Ecole des mines de Paris, a accepté de le présider.

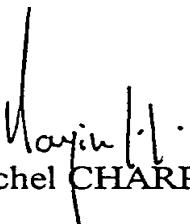
Je me propose d'installer ce groupe :

**le vendredi 30 mars 2001 à 9 h 30 - Salle n° 1
au Commissariat général du Plan
18, rue de Martignac – 75007 Paris**

Au cours de cette première séance, Pierre-Noël Giraud présentera la problématique du groupe et l'organisation de son travail. Le rapport devrait être remis en fin d'année.

Je suis heureux de vous inviter à participer aux travaux de ce groupe. Vous trouverez ci-joint une note de présentation qui pourrait guider ses travaux ainsi qu'une liste de ses membres. Vous remarquerez que l'effectif est volontairement limité afin de permettre une meilleure efficacité.

Dans l'attente de notre prochaine rencontre, je vous prie d'agréer,
Monsieur, l'expression de ma considération distinguée.


Jean-Michel CHARPIN

Monsieur Pierre-Noël GIRAUD
Directeur du CERNA
60, boulevard St-Michel
75006 PARIS

**Propositions pour un groupe technique de travail
sur « Scénarios de prospective et prévision des émissions de gaz
à effet de serre »**

1 – Eléments de problématique

La préparation du Programme national de lutte contre le changement climatique (PNLCC) et celle des schémas de services collectifs ont mis en avant les difficultés liées à l'évaluation de l'impact des actions publiques sur la consommation d'énergie et sur les émissions de CO₂. Une partie de ces difficultés est à mettre en relation avec une mauvaise connaissance des scénarios de prospective qui sous-tendent les travaux.

La méthode utilisée par la « Mission interministérielle contre l'effet de serre » (MIES) différencie d'un côté les approches retenues pour l'évaluation des impacts des mesures décidées avant la conférence de Kyoto (novembre 1997), ces impacts étant (en principe) pris en compte dans le scénario de référence et de l'autre les mesures additionnelles proposées dans le PNLCC, les mesures dites « de première catégorie » d'une part et le recours aux instruments économiques d'autre part :

- les nouvelles mesures de « première catégorie » sont très proches par leur nature de celles qui avaient été retenues dans les programmes préparés avant Kyoto : réglementations ; actions de maîtrise de l'énergie dans le bâtiment et dans les usages d'électricité spécifique ; actions d'amélioration de l'exploitation du système de transports ;
- le recours aux instruments économiques, par leurs effets sur les prix, permet d'aller plus loin dans la maîtrise des émissions en infléchissant directement les comportements de consommation et en incitant les producteurs à adapter leurs produits.

L'évaluation des mesures dites de première catégorie est d'ordre technico-économique : on mesure sur les modules appropriés de consommation et d'émission de CO₂ les conséquences d'une réduction des consommations / émissions unitaires du fait des mesures envisagées.

L'évaluation du recours aux instruments économiques est strictement économétrique à partir de fonctions de demande et d'élasticité-prix.

L'agrégation simple de ces deux évaluations établies selon des principes théoriques et méthodologiques différents, suscite des interrogations : sur la signification à attribuer à l'évaluation globale des réductions des émissions de CO₂ d'une part, sur le crédit à accorder à cette agrégation d'autre part. Ne risque-t-on pas en particulier un double comptage des effets de mesures appartenant à la fois aux deux catégories, ce qui pourrait mettre en cause la validité du résultat global ?

Il faudra donc analyser sur le plan théorique la compatibilité entre les résultats provenant de ces modélisations différentes et arrêter un jeu d'hypothèses communes permettant des évaluations cohérentes des deux catégories de mesures¹¹³.

1.1 La première étape du travail consistera à mettre en place le scénario de référence qui constituera le point d'appui commun à l'évaluation des effets des politiques et mesures proposées dans le cadre du nouveau Programme national de lutte contre le changement climatique. Ce scénario devra prendre en compte l'effet anticipé des mesures mises en place avant Kyoto. Toutes les étapes de la construction de ce scénario devront être explicitées... en particulier les mesures prévues, les mesures adoptées, les effets anticipés et les effets effectifs de ces mesures.

Le groupe pourrait être amené à construire deux scénarios de référence : l'un basé sur les effets anticipés des mesures décidées avant Kyoto et l'autre basé sur les mesures effectivement mises en place et leurs effets effectivement constatés. Ce dernier scénario pourrait être considéré comme un scénario de référence « au fil de l'eau ».

(113) Rappelons que les émissions sont estimées pour 1990 à 144 MteC ; que la projection de référence apparaissant dans le programme national s'élève à 160 MteC pour 2010 (incluant donc les effets anticipés des mesures prises avant Kyoto) ; que les nouvelles mesures de première catégorie prises dans le cadre de ce programme devraient permettre une réduction des émissions de 7 MteC en 2010 et qu'il resterait donc à réduire les émissions de 9 MteC supplémentaires par un recours à des instruments économiques.

La mise en place de ce scénario pourra se référer aux travaux réalisés dans le cadre du groupe « Energie 2010-2020 ». Les données de base ainsi que les hypothèses retenues pour « Energie 2010-2020 » devront être revues en fonction des évolutions récentes. En particulier, on devra analyser l'incidence de l'ouverture d'un marché européen de l'électricité sur les émissions nationales.

1.2 En agrégeant les impacts des « instruments économiques » à ceux des mesures déjà prises dans le scénario de référence et ceux des nouvelles mesures de première catégorie, le programme actuel suppose implicitement que l'on peut mesurer des élasticités-prix de façon sélective, « hors impacts de mesures prises par ailleurs ». Le groupe devra expliciter et argumenter les choix techniques retenus ou proposer une méthode alternative.

Le groupe de travail devra analyser les controverses qui subsistent quant à l'impact à attendre de différents jeux de mesures publiques en termes de consommation d'énergie et donc d'émissions de gaz à effet de serre :

- la préparation du nouveau programme ayant montré, en particulier, que peu de personnes, dans chaque secteur, connaissaient entièrement les hypothèses des simulations effectuées et leurs limites de validité.

Par ailleurs, les perspectives de consommations d'énergie et donc d'émissions reposent sur un corps d'hypothèses concernant notamment le rythme de la croissance économique et son contenu sectoriel. Le groupe devra évaluer l'impact d'évolutions différencierées de ces hypothèses.

1.3 Le secteur des transports supposera un traitement particulier car il s'agit du secteur qui est appelé à contribuer le plus à l'augmentation des consommations d'énergie. Les pouvoirs publics sont confrontés en particulier dans ce secteur à une situation difficile où les mesures de réduction théoriquement les plus efficaces sont souvent les moins facilement acceptables. Une équipe renforcée devra être mise en place pour, en particulier :

- mieux apprécier et suivre l'effet potentiel de divers types d'actions (sur les prix, sur le stationnement, sur la motorisation, etc.) et en tirer des conséquences concernant la contribution du transport à l'effet de serre additionnel ;
- clarifier le débat récemment engagé autour de l'impact d'une limitation de l'offre de l'infrastructure routière ;
- analyser les écarts déjà perceptibles entre les émissions prévues dans les scénarios conformes aux engagements internationaux de réduction des émissions de gaz à effet de serre et les émissions réellement constatées.

Ce travail pourra, par ailleurs, constituer un accompagnement stratégique au suivi des schémas de services collectifs de transport.

2 - Pour éclairer l'ensemble de ces questions, un travail en deux étapes est souhaitable

Dans une *première étape*, il conviendra de rapprocher les producteurs et les utilisateurs des principaux modèles et scénarios couramment utilisés pour expliciter complètement les hypothèses sous-jacentes et faire apparaître les différences et les incertitudes. Cette première étape devra déboucher sur un référentiel commun pour les projections ultérieures permettant « sans risques » d'agrégier l'effet des mesures de première catégorie et du recours aux instruments économiques. Le référentiel devra être utilisé tout au long des travaux.

Dans une *seconde étape*, il s'agira d'approfondir les connaissances du groupe sur l'impact des différentes politiques et mesures sur les consommations d'énergie et par contrecoup sur les émissions de gaz à effet de serre. Le secteur des transports fera l'objet d'une attention particulière.

3 - Mise en place du groupe

Le groupe devra comprendre :

- des économistes (macro et micro-économistes français et si possible étrangers) qui seront susceptibles de clarifier les questions de prospective en termes d'outils techniques. Ils devront en particulier débattre : sur l'intérêt respectif de modèles technico-économiques et économétriques et sur leur utilisation complémentaire dans le domaine de l'énergie ; sur la capacité de mettre les résultats en cohérence ; sur la meilleure façon d'optimiser les mesures en fonction de leur coût et de leur efficacité (à travers des courbes marginales de réduction) ; sur la possibilité d'agréger les résultats de différentes mesures en évitant les doubles emplois, etc. Ces économistes devront être choisis en fonction de leur expérience dans la formalisation des modèles et dans leur utilisation ;
- quelques spécialistes sectoriels, sensibles à la consommation d'énergie dans leur secteur, particulièrement dans les domaines du transport et du logement ;
- et quelques décideurs publics, choisis dans les principales administrations concernées en fonction de leur capacité à réagir sur des études économétriques.

Par ailleurs, au cours de ses travaux, le groupe devra auditionner :

- des représentants des grandes entreprises de production et de distribution de l'énergie ;
- des représentants des consommateurs individuels et des industriels, ainsi que des entreprises concernées par les politiques de maîtrise de l'énergie (construction automobile, transport routier et transport public, bâtiment, etc.).

ANNEXE I

TYPOLOGIE DES MODÈLES

Alain Ayong Le Kama

Procéder à une projection des émissions de gaz à effet de serre nécessite de décrire, d'une part l'évolution spontanée des émissions - **le scénario de référence**, pour les économistes, **le scénario sans mesure** pour les négociateurs de l'effet de serre - et, d'autre part, les répercussions sur les émissions des politiques et mesures adoptées, qu'elles l'aient été spécifiquement pour l'effet de serre, ou qu'elles aient été prises pour d'autres raisons. Cette analyse chiffrée requiert l'usage de modèles.

De nombreux modèles¹¹⁴ sont disponibles. Ils se distinguent par leur approche plus ou moins globale de l'économie, par leur champ d'application (couverture géographique nationale ou plus étendue), par l'horizon temporel des projections (court, moyen, long ou très long terme), par la méthode de traitement des technologies (existence ou non de technologies alternatives).

En outre, de nombreuses nomenclatures et appellations sont proposées pour caractériser les modèles qui sont qualifiés de techniques, économiques ou technico-économiques selon l'accent mis sur les déterminants des comportements des agents.

(114) *Bibliographie indicative :*

CGP : « L'économie face à l'écologie », La Découverte La Documentation française, et en particulier « L'apport des modèles à l'évaluation économique des politiques d'environnement : le cas de la limitation des émissions de CO₂ », ZAGAME (PAUL), 1993, p. 179-192.

GIEC : Projet de 3^e rapport du 3^e groupe, et en particulier son chapitre 7 « Costing Methodologies », sous la direction de MARKANDY (Avril) et HALSNAES (Kirsten), 2001.

Nous proposons ici une présentation synthétique d'une typologie des modèles disponibles, par grande catégorie, centrée sur l'analyse des mécanismes qui les régissent et leurs principales utilisations.

Les modèles technico-économiques

Ces modèles s'attachent à prévoir des quantités et peuvent schématiquement être rattachés à trois familles.

- Les modèles *input-output* décrivent les interrelations entre secteurs économiques à partir d'équations linéaires. Les coefficients techniques de ces équations sont supposés fixes au cours d'une année et basés sur les évolutions passées, ce qui signifie que les substitutions entre facteurs « inputs » et les changements technologiques comme les modifications de comportement des agents ne peuvent être incorporés en première analyse. Les modèles *input-output* considèrent que la demande finale est donnée, et fournissent une répartition très détaillée de cette demande entre les secteurs d'activité. Le couplage de matrices d'émissions polluantes à la matrice de coefficients techniques permet de saisir les répercussions intersectorielles de scénarios de maîtrise des quantités émises. Cependant leur horizon de prévision est limité à un horizon technologique proche (5 à 15 ans).
- Les *modèles de demande* (ou modèles *end-use*) s'attachent à prévoir les demandes de certains agents à partir de variables explicatives considérées comme pertinentes. Le modèle MEDEE-ME est de ce type : il simule l'évolution de la demande finale énergétique française sur une base fortement désagrégée.
- Les modèles *d'équilibre partiel* décrivent l'équilibre sur un marché après en avoir analysé de façon précise les déterminants de l'offre et de la demande et permettent d'établir des courbes de coûts marginaux. PRIMES et POLES en font partie. Les modèles d'équilibre partiel permettent la description précise de scénarios énergétiques associés à un scénario macro-économique fourni par ailleurs. Ils évaluent les coûts d'adaptation du système énergétique à une contrainte sur les émissions. Ils permettent ainsi de déterminer une allocation optimale des efforts de réduction des émissions de gaz

à effet de serre (au moindre coût). Ces modèles ne comportent cependant pas de bouclage économique formalisé, et ne peuvent donc tenir compte, par exemple, de l'utilisation des recettes des taxes. De manière générale, ils ne peuvent pas fournir une évaluation du coût économique d'ensemble d'une politique climatique. Leur horizon temporel est celui d'une prévision raisonnable de l'échéancier de mise en œuvre des technologies utilisables, à savoir environ 30 ans.

Les modèles macro-économiques

Ces modèles fournissent un cadre de cohérence global macro-sectoriel et peuvent être rattachés à deux familles.

Les modèles macro-économétriques

Ils s'appuient sur un schéma néo-keynésien d'ajustement à court terme par les quantités, et prolongent les comportements passés¹¹⁵. La demande finale de biens est le principal déterminant du fonctionnement de l'économie. Du fait des délais d'ajustement des quantités, ces modèles admettent des déséquilibres temporaires : sous-utilisation des capacités de production, chômage involontaire.

Ces modèles (par exemple HERMES, E3ME, NEMESIS pour l'effet de serre) dont l'horizon temporel est de court et moyen termes (entre 5 et 20 ans), ont parfois été développés pour examiner d'autres types de politiques, en particulier budgétaires. Ils ont une vocation globalisante et peuvent cependant s'adapter à l'examen de politiques d'environnement d'ampleur modérée et à faible impact sur les processus de production. Plus le découpage sectoriel du modèle macro-économétrique est détaillé,

(115) Les équations de comportement estimées économétriquement portent essentiellement sur les différentes composantes de la demande de biens : consommation des ménages et investissement des entreprises. C'est la demande de biens qui détermine la quantité de biens à produire, donc les quantités de travail et de capital utilisées par les entreprises, donc le taux de chômage et le taux d'utilisation des capacités de production. Les équilibres en volume étant acquis, les évolutions des prix et les équilibres en valeurs proviennent de la confrontation des coûts de production et des indicateurs de tension sur les marchés du travail et du capital.

plus, en général, sa pertinence est forte pour la prévision des émissions de gaz à effet de serre. Outre les variables macro-économiques habituelles (croissance, emploi, prix, coûts), ces modèles déduisent des activités sectorielles décrites les émissions de gaz à effet de serre. Les modèles macro-économétriques, enracinés dans l'analyse économétrique de séries chronologiques longues sont les plus adaptés à la description de scénarios prospectifs en général en tirant sur le long terme l'horizon de simulation.

Les modèles d'équilibre général calculables (MEGC) ou appliqués (MEGA)

Ces modèles sont les plus utilisés de part le monde pour l'analyse prospective des émissions de GES et l'évaluation des politiques et mesures mises en œuvre pour limiter ces émissions. Ils s'appuient sur une représentation walrasienne de l'économie, et donc sur un schéma néoclassique d'ajustement par les prix. Ils décrivent explicitement les préférences des consommateurs¹¹⁶ et les possibilités techniques des entreprises¹¹⁷. Une fois le mode de formation des anticipations de ces agents décrit, ils optimisent leur utilité et leur profit, ce qui permet d'en déduire les offres et les demandes. Dans un cadre d'équilibre général¹¹⁸, ces modèles permettent d'intégrer les substitutions de facteurs du système productif et le comportement intertemporel¹¹⁹ des ménages. Du fait qu'ils s'appuient sur des marchés considérés en équilibre, ils décrivent le plus souvent le chômage comme volontaire.

Parmi les modèles qui ont été bâtis pour l'effet de serre, on peut citer DICE, GREEN, EPPA, GEM E3 et GEMINI E3. Ces modèles décrivent

(116) *Les consommateurs sont supposés maximiser leur utilité à prix donnés, et dans un cadre intertemporel. La fonction d'utilité est généralement spécifiée sous forme CES « Constant Elasticity Substitution », qui englobe donc la forme Cobb-Douglas lorsque l'élasticité de substitution vaut 1, et qui présente l'avantage de donner des demandes en biens dont on peut expliciter le calcul.*

(117) *Les entrepreneurs sont supposés maximiser leurs profits à prix donnés.*

(118) *Sur chaque marché, ou pour chaque bien considéré, tout ce qui est produit est consommé, et donc les offres et les demandes s'équilibrivent.*

(119) *Certains modèles sont dynamiques récursifs, les agents y sont myopes lorsqu'ils prennent leurs décisions (EPPA par exemple), et d'autres sont dynamiques intertemporels (DICE, par exemple).*

tout d'abord un compte central tendanciel et sont tout particulièrement adaptés à l'étude des mesures fiscales, car ils rendent compte des modifications de comportement des agents individuels en fonction des signaux de prix et des modifications consécutives de revenu. Ils adoptent une perspective de long terme, et permettent d'évaluer les surplus. Même s'il existe un modèle d'équilibre général économétrique (Jorgenson-Wilcoxon), la plupart d'entre eux sont calibrés, c'est-à-dire que les paramètres des fonctions d'utilité et de production, et particulièrement les élasticités de substitution, sont choisis, et le comportement des agents à l'avenir inféré à partir de leur comportement sur une année de référence.

Outre les variables macro-économiques habituelles (croissance, emploi, prix, coûts) et les émissions de gaz à effet de serre, les modèles d'équilibre général fournissent aussi les variations de bien-être économique des consommateurs. Ils n'ont généralement pas vocation globalisante, mais sont plutôt construits pour traiter une question spécifique.

Chaque modèle est construit pour répondre à un certain nombre de questions bien précises (le tableau 1 récapitule les principales utilisations des différents modèles). Face à l'absence d'un modèle général et complet permettant de répondre à toutes les questions que nous nous posons, il est important d'utiliser une « chaîne » de modèles de plusieurs types, d'autant que les modèles peuvent et doivent s'informer les uns les autres ou, en d'autres termes, sur la base d'une référence commune, les « outputs » des uns peuvent et doivent servir d'« inputs » pour les autres.

Outre cette nécessaire intégration des modèles technico-économiques et macro-économiques, il faut souligner aussi qu'en matière d'évaluation de l'impact des émissions de gaz à effet de serre ce sont d'abord les modèles climatologiques qui donnent des éléments sur l'ampleur du réchauffement global et de ses conséquences régionales. Il faut par conséquent faire « dialoguer » les modèles climatiques et les modèles économiques, ce qui est fait au sein de certaines équipes de recherche. L'institut néerlandais *RIVM*, ou l'équipe du *MIT* aux Etats-Unis travaillent par exemple dans cette direction.

L'outil « optimal » de projection des émissions de GES et d'évaluation des effets des politiques et mesures mises en œuvre pour limiter ces émissions serait alors une chaîne de modèles, combinant des modèles

macro-économiques

- permettant d'avoir un cadre de cohérence global et facilitant la prise en compte des effets en retour des politiques et mesures de réductions des émissions de GES sur l'économie dans son ensemble - , des modèles technico-économiques - permettant de prendre en compte le très fin niveau de détail sectoriel qu'intègrent les politiques et mesures - et des modèles climatologiques permettant de traduire les évolutions de la demande d'énergie en émissions de GES et fournissant les pouvoirs de réchauffement global de chacun des gaz concernés.

Tableau 1
Les familles de modèles et leurs utilisations

Type de modèle	Les résultats fournis	Variantes préférentielles	Horizon préférentiel	Exemples décrits
Modèles input-output *	Données sectorielles		5 à 15 ans	DIVA
Modèles de demande *	Activité Données d'émission	Réglementation	Horizon de prévision fiable des technologies, généralement 30 ans.	MEDEE-ME
Modèles en équilibre partiel *	Prix et quantités concernant les acteurs du marché considéré Données d'émissions	Mesures réglementaires et fiscales	Horizon de prévision fiable des technologies, généralement 30 ans	ASPEN (carbone) POLES (énergie) PRIMES (énergie)
Modèles macro-économétriques **	Grandeurs macro-économiques (PIB, inflation, emploi, prix, etc.) Données d'émission	Fiscalité	Court et moyen termes (5-10 ans, éventuellement 20)	HERMES NEMESIS
Modèles d'équilibre général calculables **	Grandeurs macro-économiques (PIB, inflation, emploi, prix, etc) Variations de bien-être Données d'émission	Fiscalité et introduction de marchés de permis	Long terme	EPPA-EU GEMINI-E3 XL France GEM-E3

* Modèles technico-économiques

** Modèles macro-économiques

ANNEXE II

SYNTHÈSE DES ÉTUDES PROSPECTIVES SUR LA FRANCE

ENERDATA

Cette note détaille les hypothèses adoptées pour cinq exercices prospectifs énergétiques à l'aide du modèle MEDEE-ME d'ENERDATA entre 1997 et 1999.

Les rapports des exercices¹²⁰ prospectifs récents

a) Impacts sur l'énergie et le CO₂, en 2000, 2010 et 2020, du « Programme national de prévention du changement de climat »
Rapport final, 10 juin 1997, MIES ;

Ce rapport décrit deux scénarios, SM (sans mesure) et AM (avec mesures).

b) Etude des conséquences énergétiques probables du programme de lutte contre le changement climatique
Rapport final, janvier 1998, MIES ;

Ce rapport décrit une actualisation du scénario AM dite probable.

(120) *Les rapports a et b ont été utilisés par la MIES pour préparer la seconde communication nationale.*

c) Energie 2010-2020

Rapport final, décembre 1997, CGP ;

d) Scénario énergétique tendanciel pour la France

Rapport final, 10 décembre 1999, DGEMP.

Les grands corps d'hypothèses

Démog.	Economie	IGCE	Efficacité énergétique			PM*	
			Res-ter	Indus.	Transp.		
S1 ♦	M	E94	IG1	R1	I1	T1	P
S2 ♦	M	E94	IG2	R2	I2	T2	P
S3 ♦	M	E94	IG3	R3	I3	T3	P
SM ♦♦	M	E94	IG2	R1	I1	T1	P
AM ♦♦	M	E94	IG2	PL3C1	PLSC1	PL3C1	PL3C1
P ♦♦	M	E94,1997	IG2,1997	PL3C2	PL3C2	PL3C2	PL3C2
TEND ▲	M	E87,1998	IG1,1998	R1'	I1	T1'	P'

♦ scénarios CGP

♦♦ scénario MIES

▲ scénario DGEMP

* PM : parts de marché

M : hypothèse médiane de l'INSEE ;

E94 : DIVA, 1994, scénario Europe ;

E94, 1997 : DIVA, 1994, scénario Europe, avec prise en compte des évolutions réelles 1992-1997 et prévisions 2000 ;

E97, 1998 : DIVA, 1997, scénario Europe, avec prise en compte des évolutions réelles 1992-1998 ;

IG1,2,3 : hypothèses différencierées selon les scénarios CGP, avec prise en compte des évolutions réelles 1992-1997 et 1992-1998 le cas échéant (voir tableau de comparaison des hypothèses) ;

R1,2,3 ; R1' : hypothèses différencierées selon les scénarios CGP, sur la technologie et les comportements ; hypothèses dérivées de R1 pour DGEMP (électricité spécifique tertiaire) ; (voir tableau de comparaison des hypothèses) ;

I1,2,3 : hypothèses différencierées selon les scénarios CGP, sur la technologie et les comportements ; source : enquête « gisement » du CEREN (voir tableau de comparaison des hypothèses) ;

T1,2,3 ; T1' : hypothèses différencierées selon les scénarios CGP, sur la technologie et les comportements ; hypothèses dérivées de R1 pour DGEMP (voir tableau de comparaison des hypothèses) ;

PL3C1,2 : traduction du Programme national de lutte contre le changement climatique en hypothèses MEDEE-ME.

Rappel des principales hypothèses communes

Tableau 1

Hypothèses de croissance par secteur, scénario de référence (E94)

TCAM %/an	Agricul.	Industrie énergétique	Indus. non énergétique	BTP	Tertiaire	PIB	Consom. privée
1992-2000	1,5	1,9	1,6	0,2	2,8*	2,3*	2,3*
2000-2010	1,5	1,9	1,8	2,0	2,6*	2,3*	2,3*
2010-2020	1,5	1,9	1,9	2,0	2,6*	2,3*	2,3*

* marchand uniquement

Taux de croissance annuels moyens par branche industrielle (en %/an)

Ferreux	Non ferreux	Chimie	Verre, matériaux	IAA	Textile	Papier	Equipt	Divers
1975-1980	6,6	6,8	4,1	1,3	1,2	- 0,5	3,5	3,6
1980-1984	- 7,3	4,9	2,4	- 3,4	0,2	- 0,9	0,7	- 0,9
1984-1989	1,7	4,8	4,3	1,8	1,7	- 2,7	2,1	2,8
1989-1992	- 5,5	- 0,3	1,1	- 2,8	0,8	- 2,7	- 3,3	0,1
1992-2000	2,1	0,9	2,5	- 0,02	0,5	- 2,9	- 1,0	2,5
2000-2010	2,1	0,9	2,5	- 0,02	0,5	- 2,9	- 1,0	2,5
2010-2020	2,1	0,9	2,5	- 0,02	0,5	- 2,9	- 1,0	2,5

Tableau 2
Population (en millions) et nombre de personnes par ménage (M)

	1992	2000	2010	2020
Population	57,4	59,4	61,7	63,5
Pers./ménage	2,61	2,50	2,42	2,35

Tableau 3
Les hypothèses communes sur les prix des énergies primaires

	1995	2005	2020
Pétrole \$/baril	17	24 - 18	24 - 25
Gaz \$/Mbtu	2,5	3,3	3,3
Charbon \$/t	40 - 50	40 - 50	40 - 50

Tableau 4
Hypothèses de croissance par secteur, scénario tendanciel, E97

TCAM %/an	Agricul.	Industrie énergétique	Indus. non énergétique	BTP	Tertiaire	PIB	Consom. privée
1992-1997	- 0,7	1,2	2,5	- 2,8	1,6	1,5	1,2
1997-2020	1,2	1,6	2,1	1,0	2,7*	2,3*	2,3*

* marchand uniquement

Sources : 1992-1997 : INSEE Comptes de la nation

1997-2020 BIPE-Club DIVA – Actualisation des scénarios à l'horizon du 28/01/1999

Branches industrielles	1992-1997	1997-2020
Métaux ferreux	3,9 %	0,5 %
Métaux non ferreux	0,3 %	2,2 %
Chimie	3,5 %	3,7 %
Mat. de construction	- 0,5 %	0,9 %
Agro-alimentaire	3,1 %	1,4 %
Textiles	- 3,6 %	- 2,5 %
Pâtes et papiers	1,2 %	0,6 %
Equipement	3,3 %	2,3 %
Divers	1,3 %	1,6 %

Tableau 5
Structure de l'industrie dans MEDEE-ME et nomenclatures

Branches (BI)	IGCE (Y)	Autres industries (X)	Energie	Economie
Minerais et métaux ferreux	Acier brut	Reste de la branche	NCE 16	T07
Minerais et métaux non ferreux		Ensemble de la branche	NCE 18	T08
Chimie	Chlore Ammoniaque Ethylène	Reste de la branche	NCE 23, 24, 25, 27, 28, 36, 37	T11, T23, T12
Minerais non métalliques	Clinker	Reste de la branche	NCE 19, 20, 21, 22	T09, T10
Agro-alimentaire			NCE 12, 13, 14	U02
Textiles, cuir, habillement			NCE 34	T18, T19
Biens d'équipement			NCE 35	T21, T22
Papier-édition	Pâtes et papiers		NCE 17, 29, 30, 31, 32, 33	T13, U05
Divers			NCE 38	T20

Rappel des principales hypothèses spécifiques des scénarios

Tableau 6 – Politiques sectorielles

Question	CGP		
	S1 (Marché)	S2 (Politique industrielle)	S3 (Politique socio-env.)
Politique du logement			
Logts neufs/an 1995/2000	270 000	300 000	330 000
2000/2010	240 000	300 000	330 000
2010/2020	220 000	300 000	330 000
Politique de la ville () : valeur moyenne 1975/1992			
Part des MI dans la construction			
2000	(64 %)	(64 %)	(64 %)
2010	50 %	50 %	50 %
2020	60 %	50 %	40 %
Δ offre transport collectif	60 %	50 %	40 %
1995/2000	(7,6 km/hab./an)	(7,6 km/hab./an)	(7,6 km/hab./an)
2000/2010	0	3	8,4
2010/2020	0	3	8,4
Politique de ferrouillage du fret () : valeur moyenne 1975/1992			
offre de tkm fer (national, %/an)			
1995/2000	(- 1,1 %)	(- 1,1 %)	(- 1,1 %)
2000/2010	- 1,1 %	0 %	0,5 %
2010/2020	- 1,1 %	0 %	0,5 %
% de la route dans le transit de fret	- 1,1 %	0 %	0,5 %
2000	(80 %)	(80 %)	(80 %)
2010	83 %	80 %	80 %
2020	87 %	80 %	75 %
	90 %	80 %	70 %

Tableau 6 – Politique sectorielles (suite)

Question	MIES			DGEMP
	SM Scénario sans mesure	AM Scénario avec mesures	P Scénario probable avec mesures	
Politique du logement				
Logts neufs/an 1995/2000	270 000	270 000	270 000	275 000
2000/2010	240 000	240 000	240 000	240 000
2010/2020	220 000	220 000	220 000	220 000
Politique de la ville () : valeur moyenne 1975/1992				
Part des MI dans la construction				
2000	(64 %)	(64 %)	(64 %)	(64 %)
2010	50 %	50 %	50 %	53 %
2020	60 %	60 %	60 %	60 %
Δ offre transport collectif	(7,6 km/hab./an)	(7,6 km/hab./an)	(7,6 km/hab./an)	(7,6 km/hab./an)
1995/2000	0	8,4	8,4	0
2000/2010	0	8,4	8,4	0
2010/2020	0	8,4	8,4	0
Politique de ferrotage du fret () : valeur moyenne 1975/1992				
offre de tkm fer (national, %/an)				
1995/2000	(- 1,1 %)	(- 1,1 %)	(- 1,1 %)	(- 1,1 %)
2000/2010	- 1,1 %	0,5 %	0,5 %	- 1,1 %
2010/2020	- 1,1 %	0,5 %	0,5 %	- 1,1 %
% de la route dans le transit de fret	(80 %)	(80 %)	(80 %)	
2000	83 %	80 %	80 %	
2010	87 %	75 %	80 %	
2020	90 %	70 %	80 %	

Tableau 7 – Secteur résidentiel

Question	S1		S2		S3	
	LC	MI	LC	MI	LC	MI
Performance thermique des immeubles – Surface unitaire des logements neufs (m ²)						
1995/2000	74	110	74	110	74	110
2000/2010	74	110	74	110	74	110
2010/2020	74	110	74	110	74	110
Indice d'isolation/m ² (100 = 1995)	IC	MI				
Neuf 1995/2000	100	100	100		100	
2000/2010	95	105	95		90	
2010/2020	95	105	90		85	
Ancien 2000		100	100		100	
2010		98	95		90	
2020		95	90		80	
Indices de comport. de chauffage par m ² (100 = 1992)						
1995/2000		100	100		100	
2000/2010		105	103		100	
2010/2020		110	105		100	
Structure de la distribution énergétique locale-() valeur 1995 ou moyenne 1975/1992	LC %	MI %	LC %	MI %	LC %	MI %
Part gaz dans le neuf (chauffage)	(42)	(30)	(42)	(30)	(42)	(30)
2000	44	35	44	35	44	35
2010	46	38	46	38	46	38
2020	47	40	47	40	47	40
Part électr. dans le neuf (chauffage)	(52)	(41)	(52)	(41)	(52)	(41)
2000	51	40	51	40	51	40
2010	49	39	49	39	49	39
2020	49	39	49	39	49	39
Part chauf. urb. dans le neuf	(4)		(4)		(4)	
2000	4		4		4	
2010	4		4		4	
2020	4		4		4	

MI : maison individuelle

LC : logement collectif

Tableau 7 – Secteur résidentiel (suite)

Question	SM		AM		P		TEND	
	LC	MI	LC	MI	LC	MI	LC	MI
Performance thermique des immeubles – Surface unitaire des logements neufs (m ²)								
1995/2000	74	110	74	110	74	110	74	110
2000/2010	74	110	74	110	74	110	74	110
2010/2020	74	110	74	110	74	110	74	110
Indice d'isolation/m ² (100 = 1995)	IC	MI					IC	MI
Neuf 1995/2000	100	100					100	100
2000/2010	95	105					95	105
2010/2020	95	105					95	105
Ancien 2000	100		cf. rapport		cf. rapport		100	
2010	98						98	
2020	95						95	
Indices de comport. de chauffage par m ² (100 = 1992)							Hors CEI	CEI
1995/2000	100		100		100		100	100
2000/2010	105		103		103		105	115
2010/2020	110		105		105		110	130
Structure de la distribution énergétique locale(-) valeur 1995 ou moyenne 1975/1992	LC %	MI %	LC %	MI %	LC %	MI %	LC %	MI %
Part gaz dans le neuf (chauffage)	(42)	(30)	(42)	(30)	(42)	(30)	(42)	(30)
2000	44	35	44	35	44	35	44	35
2010	46	38	46	38	46	38	46	38
2020	47	40	47	40	47	40	47	40
Part électr. dans le neuf(chauffage)	(52)	(41)	(52)	(41)	(52)	(41)	(52)	(41)
2000	51	40	51	40	51	40	51	40
2010	49	39	49	39	49	39	49	39
2020	49	39	49	39	49	39	49	39
Part chauf. urb. dans le neuf	(4)		(4)		(4)		(4)	
2000	4		4		4		4	
2010	4		4		4		4	
2020	4		4		4		4	

Tableau 8 – Secteur industriel

Question	S1	S2	S3			
Production nationale indice 100 = 1995						
Acier brut 2010	100	100	100			
2020	70	100	70			
Ammoniaque 2010	85	85	79			
2020	75	75	70			
Chlore 2010	120	130	100			
2020	130	150	100			
Ethylène 2010	120	130	110			
2020	140	160	120			
Ciment 2010	90	95	95			
2020	90	100	100			
Papier 2010	150	150	150			
2020	200	200	200			
Technologie des IGCE et consommations spécifiques (indice 100 = 1995)	Comb.	Elec.	Comb.	Elec.	Comb.	Elec.
Acier brut/O2 (I)						
2010	100	100	94	99	90	99
2020	100	100	88	99	77	97
Ammoniaque *(yc mat. prem.)						
2010	100	100	96	100	92	100
2020	100	100	90	100	81	100
Chlore 2010	100	100	96	97	92	93
2020	100	100	92	93	83	85
Ciment (énergie conv.)						
2010	100	100	90	92	80	83
2020	100	100	70	83	43	66
Pâtes à papier (énergie conv.)						
2010	100	100	86	97	72	95
2020	100	100	70	93	42	90

* pour les productions IGCE, base 100 en 1997

(I) hauts fourneaux et aciéries oxygène

Tableau 8 – Secteur industriel (suite)

Question	SM	AM	P	TEND
Production nationale indice 100 = 1995				
Acier brut 2010	100	100	100	104
2020	100	100	100	73
Ammoniaque 2010	85	85	85	93
2020	75	75	75	80
Chlore 2010	130	130	130	113
2020	150	150	150	120
Ethylène 2010	130	130	130	119
2020	160	160	160	137
Ciment 2010	95	95	95	98
2020	100	100	100	98
Papier 2010	150	150	150	114
2020	200	200	200	158
Technologie des IGCE et consommations spécifiques (indice 100 = 1995)	Comb.	Elec.	Comb.	Elec.
Acier brut/O2			Comb.	Elec.
2010	100	100	90	95
2020	100	100	90	95
Ammoniaque *(yc mat. prem.)			Comb.	Elec.
2010	100	100	100	100
2020	100	100	100	100
Chlore 2010	100	100	100	97
2020	100	100	96	97
Ciment (énergie conv.)			Comb.	Elec.
2010	100	100	90	90
2020	100	100	90	90
Pâtes à papier (énergie conv.)			Comb.	Elec.
2010	100	100	100	97
2020	100	100	86	97

* pour les productions IGCE, base 100 en 1997

Tableau 9 – Secteur transport

Question	S1	S2	S3
Consommation spécifique moyenne véh. neufs au véh.-km (indice 100 = 1992)			
Voitures particulières, VUL			
2000	98	98	98
2010	97	93	84
2020	96	88	77
Camions			
2000	100	100	98
2010	100	95	92
2020	100	95	84
Ratio cons. réelle/cons. convent. (100 = 1995)			
2000	100	100	100
2010	95	90	80
2020	90	80	60
Part élec. dans voitures neuves	%	%	%
2000	0	0	0
2010	0	1	2
2020	0	2,5	5
Part gazole dans voit. neuves	%	%	%
2000	40	35	35
2010	45	35	20
2020	45	35	20
Part du gazole dans les VUL	%	%	%
2000	70	70	70
2010	80	80	80
2020	90	90	90

Tableau 9 – Secteur transport (suite)

Question	SM	AM	P	TEND
Consommation spécifique moyenne véh. neufs par véh.-km (indice 100 = 1992)				100 = 1997
Voitures particulières, VUL				essen. gazole
2000	98	98	98	
2010	97	84	84	91 96
2020	96	80	80	90 95
Camions				
2000	100	100	100	100
2010	100	95	95	100
2020	100	95	95	100
Ratio cons. réelle/cons. convent. (100 = 1995)				
2000	100	80	100	
2010	95	80	90	
2020	90	80	80	
Part élec. dans voitures neuves	%	%	%	%
2000	0	0,4	0,4	0
2010	0	2,0	2,0	0
2020	0	4,0	4,0	3
Part gazole dans voit. neuves	%	%	%	%
2000	40	40	40	43
2010	45	45	45	45
2020	45	45	45	45
Part du gazole dans les VUL	%	%	%	%
2000	70	70	70	70
2010	80	80	80	80
2020	90	90	90	90

Tableau 10 – Secteur tertiaire

Question	S1	S2	S3			
Indice d'isolation par m ² (100 = 1995)						
Ancien						
1995/2000	100	100	100			
2000/2010	100	100	90			
2010/2020	100	100	80			
Indice de consom. d'électricité spécifique par emploi (100 = extrapolation historique)						
2000	95	95	90			
2010	85	80	70			
2020	70	60	50			
Ind. de consom. usages thermiques hors chauf. et ECS par emploi (100 = extrapolation historique)						
2000	100	100	100			
2010	100	100	90			
2020	100	100	80			
Structure des énergies () valeur 1992	Gaz haut % (36)	Gaz bas % (36)	Gaz haut % (36)	Gaz bas % (36)	Gaz haut % (36)	Gaz bas % (36)
Part du gaz dans les surfaces chauffées						
2000	48	47	48	47	48	47
2010	59	57	59	57	59	57
2020	66	61	66	61	66	61
Part de l'élec. dans les surfaces chauffées	(23)	(23)	(23)	(23)	(23)	(23)
2000	25	26	25	26	25	26
2010	24	26	24	26	24	26
2020	24	28	24	28	24	28

Tableau 10 – Secteur tertiaire (suite)

Question	SM	AM	P	TEND
Indice d'isolation par m ² (100 = 1995)				
Ancien				
1995/2000	100	95	95	100
2000/2010	100	95	95	100
2010/2020	100	95	95	100
Indice de consom. d'électricité spécifique par emploi (100 = extrapolation historique)				base 100 = 1997
2000	100	100	100	98
2010	100	100	100	93
2020	100	100	100	88
Ind. de consom. usages thermiques hors chauf. et ECS par emploi (100 = extrapolation historique)				
2000	95	95	95	
2010	85	85	85	
2020	70	60	60	
Structure des énergies () valeur 1992	%	%	%	%
Part du gaz dans les surfaces chauffées	(36)	(36)	(36)	(36)
2000	48	48	48	48
2010	59	59	59	59
2020	66	66	66	66
Part de l'élec. dans les surfaces chauffées	(23)	(23)	(23)	(23)
2000	25	25	25	25
2010	24	24	24	24
2020	24	24	24	24

Tableau 11 – Prix et fiscalité

Question	S1	S2	S3
Fiscalité énergétique et différentiels entre prix des énergies au consommateur final			
Taxe carbone			
Accroissement/an moyen de la TIPP (F 80/hl)			
Essence	1992-2000 2,2	2,8	4,3
	2000-2010 - 0,9	0	2,8
	2010-2020 - 0,9	0	2,8
Gazole	1992-2000 2,3	3,0	4,3
	2000-2010 0	1,3	4,2
	2010-2020 0	1,3	4,2

Tableau 11 – Prix et fiscalité (suite)

Question	SM	AM	P	TEND
Fiscalité énergétique et différentiels entre prix des énergies au consommateur final				
Taxe carbone		450 F/t		
Accroissement/an moyen de la TIPP (F 80/hl)				cf. rapport
Essence	1992-2000 2,8			
	2000-2010 0			
	2010-2020 0			
Gazole	1992-2000 0,3			
	2000-2010 1,0			
	2010-2020 1,3			

ANNEXE IV

ÉVALUATION DES MESURES DU PNLCC

Enerdata

Contexte et objet

Cette étude fait suite aux travaux menés par la Mission interministérielle sur l'effet de serre (MIES) à l'occasion de la préparation de la 3^e communication nationale sur la lutte contre le changement climatique. Elle s'inscrit dans le contexte général de la réflexion sur la prospective des émissions de gaz à effet de serre menée à l'instigation du CGP.

Son objet est d'évaluer, à l'aide du modèle MEDEE-ME, les conséquences sur les émissions de CO₂-énergie de paquets de mesures choisis parmi le Programme national de lutte contre le changement climatique (PNLCC).

Rappel sur la 3^e communication nationale

Les projections d'émission de CO₂-énergie de la 3^e communication nationale ont été élaborées à partir de projections énergétiques : projection de demande par secteur/usage d'abord, projections du bilan énergétique ensuite.

Les projections de demande énergétique ont été construites à l'aide du modèle MEDEE-ME.

Trois scénarios ont été élaborés à l'occasion de la préparation de la 3^e communication nationale, tous trois s'inscrivent dans le cadre socio-économique général de la projection tendancielle de la DGEMP.

Le scénario « **sans mesure (SM)** » : il indique les trajectoires virtuelles qu'auraient eues la demande d'énergie et les émissions de CO₂-énergie si aucune mesure visant spécifiquement la réduction des émissions de gaz à effet de serre n'avait été décidée après 1990.

Le scénario « **avec mesures existantes au 31/12/1999 (AME)** » : il indique les trajectoires probables de la demande d'énergie et des émissions de CO₂-énergie que devraient induire les mesures décidées depuis 1990 et effectivement mises en œuvre avant le 31/12/1999.

Le scénario « **avec toutes les mesures inscrites dans le PNLCC** » : il indique les trajectoires de la demande d'énergie et des émissions de CO₂-énergie qui pourraient résulter de la mise en œuvre effective de toutes les mesures visant spécifiquement la réduction des émissions de gaz à effet de serre incluses dans le PNLCC.

Les principaux résultats de ces projections sont disponibles dans le rapport remis à la MIES en octobre 2001¹²¹.

Quelle évaluation ?

L'évaluation des impacts sur le CO₂-énergie de chaque mesure (du PNLCC) prise individuellement se heurte à deux obstacles :

- l'efficience d'une mesure, c'est-à-dire sa capacité à réduire les émissions de CO₂, dépend généralement des autres mesures prises simultanément : par exemple, l'efficience d'une mesure visant à limiter le recours à la voiture dépend étroitement de l'existence d'autres mesures visant à accroître les alternatives à la voiture ;

(121) Impact sur le CO₂-énergie, en 2010 et 2020, du « Programme national de lutte contre le changement climatique ».

- le « rendement » d'une mesure, c'est-à-dire la réduction effective des émissions de CO₂ pour une efficience donnée, dépend de l'ensemble des impacts des autres mesures : par exemple, la promotion du bois pour le chauffage des logements aura un impact sur le CO₂ d'autant plus faible que l'isolation des logements sera élevée.

Du fait de ces obstacles, l'évaluation individualisée des impacts des mesures sur le CO₂ présente un caractère arbitraire : quelle évaluation retenir dès lors que celle-ci change selon les autres mesures considérées. Elle peut même devenir aléatoire pour les mesures à caractère économique (tarification, fiscalité) quand celles-ci côtoient des mesures à caractère technique ou réglementaire : les élasticités-prix deviennent effectivement variables et non prédictibles.

Pour dépasser ces obstacles, il est nécessaire de regrouper en « paquets » toutes les mesures dont les effets sont fortement interdépendants, et de procéder à l'évaluation des impacts de l'ensemble du paquet.

En théorie, 3 critères devaient suffire à l'identification et la sélection des paquets de mesures :

- l'homogénéité du champ d'application des mesures : même secteur, même usage, même environnement technologique ;
- l'ancienneté et le statut des mesures : ancienneté au sens du PNLCC, statut au sens des mesures économiques versus les autres mesures ;
- la cohérence « push-pull » des mesures, c'est-à-dire leur complémentarité du point de vue de l'incitation et de la dissuasion.

Dans la pratique, un critère additionnel s'est révélé nécessaire : l'impossibilité d'opérer une discrimination entre des mesures affectant le même déterminant de base de la demande énergétique au niveau du champ d'application retenu. Par exemple, trois mesures du PNLCC se réfèrent spécifiquement à la mise en œuvre de l'accord des constructeurs automobiles européens (ACEA) : il s'est avéré impossible de les dissocier au regard de leurs impacts sur la consommation spécifique des voitures neuves en 2010 ; elles ont donc été mises dans le même paquet, combien même l'une est « ancienne » et les deux autres « nouvelles ».

Par ailleurs, le PNLCC fait une claire distinction entre les mesures techniques et réglementaires, les mesures économiques (en réalité fiscales), et les mesures visant les infrastructures. Du fait de la cohérence « push-pull » des paquets de mesures, il est légitime de regrouper dans chacun d'entre eux des mesures appartenant à ces trois catégories.

Prenons un exemple. Les Plans de déplacement urbains (PDU mesure réglementaire) auront d'autant plus de chance d'atteindre les objectifs fixés par la loi sur l'air en matière de circulation automobile (impact attendu) que les consommateurs bénéficieront d'une offre de transport alternative (mesure infrastructurelle) et qu'ils seront incités à y recourir (mesure fiscale sur les carburants).

L'évaluation menée dans cette étude vise à répondre aux trois questions suivantes :

- quel impact attendre d'un paquet de mesures pris isolément, sur les consommations énergétiques et les émissions de CO₂-énergie (au niveau du consommateur final), en 2010 et 2020 ?
- quelles conséquences sur les dépenses énergétiques et le coefficient budgétaire, des grandes catégories de consommateurs concernés ? avec quelles rétroactions possibles sur les consommations énergétiques et les émissions de CO₂ ?
- comment apprécier le rôle spécifique des mesures économiques par rapport aux autres types de mesures dans chaque « paquet » ? Comment apprécier le poids respectif de ces deux catégories de mesures dans les impacts d'ensemble du paquet de mesures ?

Méthode

Evaluation des paquets de mesures

L'évaluation des paquets de mesures - impacts physiques sur l'énergie et le CO₂, impacts économiques, éventuelles rétroactions (effets-rebond) - est menée **par rapport aux projections du scénario « sans mesure »** de la 3^e communication nationale, **toutes choses égales par ailleurs**.

Cette évaluation est établie, pour chaque paquet de mesures, en *trois* temps :

1 - « Traduction » dans les variables d'entrées correspondantes de MEDEE-ME des mesures techniques, réglementaires et infrastructurelles ; simulation et calcul des déviations enregistrées mécaniquement dans les résultats de MEDEE-ME par rapport au scénario « sans mesure » : énergie finale, émissions de CO₂ au niveau du consommateur final, coefficients budgétaires.

2 - « Traduction » dans les variables d'entrées correspondantes de MEDEE-ME des mesures économiques ; simulation et calcul des nouvelles déviations enregistrées mécaniquement dans les résultats de MEDEE-ME par rapport au scénario « sans mesure » et par rapport aux résultats précédents.

3 - Analyse des déviations des coefficients budgétaires par rapport aux tendances et aux marges de fluctuations historiques ; identification et appréciation quantitative¹²² d'éventuels « effets-rebond ».

Rappel sur MEDEE-ME

MEDEE-ME est un modèle de projection à long terme (30 ans maximum) de la demande énergétique, de type technico-économique, non déterministe¹²³.

C'est un modèle fortement désagrégé, où la demande énergétique est appréhendée au niveau des principaux usages et services de l'énergie, pour chacun des grands secteurs de consommation : l'industrie, les transports, le résidentiel et le tertiaire. Au niveau le plus fin de la

(122) *On rappelle que les rétroactions conduisant aux effets-rebond ne sont pas simulées par MEDEE-ME, mais « appréciées » hors modèle par référence aux évolutions historiques observées : trend, réactivité aux prix, marges de fluctuations. Ce point est développé dans le chapitre 2 du rapport.*

(123) *Pour en savoir plus sur le fondement systémique des modèles technico-économiques : B. Chateau, B. Lapillonne « La prévision à long terme de la demande d'énergie. Propositions méthodologiques », CNRS Collection « Energie et Société », 1977.*

désagrégation se trouvent les modules de demande d'énergie. Chaque module est une entité à part entière à laquelle correspond une formalisation spécifique : autant de modules, autant de sous-modèles interagissant au sein de MEDEE-ME.

Chaque module de demande est défini à partir de conditions strictes d'homogénéité : mêmes agents économiques, même expression des besoins, mêmes usages/services de l'énergie, même environnement technologique. Exemple de module : le *chauffage* des *logements individuels construits avant 1975*, dans lequel les *ménages* se chauffent avec une installation de *chauffage central*.

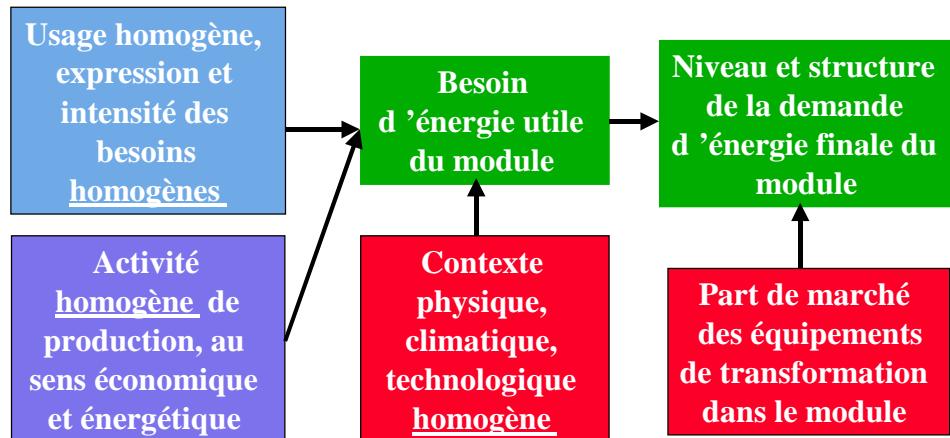
L'homogénéité est une condition nécessaire pour que les inévitables évolutions structurelles, sociales et économiques, au sein du module, n'affectent que marginalement l'évolution de la demande d'énergie du module. Dans l'exemple ci-dessus, un changement dans la structure des maisons (par catégorie de taille par exemple), aura un effet secondaire sur l'évolution de la demande d'énergie de chauffage par rapport au nombre de ménages ou au niveau d'isolation des maisons. En revanche, si le module incorporait toutes les maisons individuelles avec chauffage central (quelle que soit l'année de construction), l'évolution de la demande énergétique serait fortement affectée par la structure de ces maisons par classes d'âge (du fait des fortes différences de consommation unitaire entre les maisons neuves et les maisons anciennes).

A partir du moment où tous les modules de demande du modèle sont suffisamment homogènes, le risque de biais dans la simulation de la demande d'énergie devient faible. De plus, ces modules interagissent au sein du modèle : l'appréhension de la réalité socio-économique au travers de l'ensemble de ces modules permet donc de décrire explicitement les évolutions structurelles au sein de l'économie ayant un impact significatif sur la demande énergétique, et de quantifier cet impact.

Par exemple, on identifie deux modules dans le chauffage des maisons individuelles construites avant 1975 avec et sans chauffage central. La raison en est que la consommation unitaire des premières est en moyenne 2 à 3 fois plus élevée que celle des secondes. On peut ainsi décrire et

quantifier l'impact d'un changement dans la structure des systèmes de chauffage dans ce type d'habitat simplement en formalisant le processus de premier équipement en chauffage central. Il s'agit alors d'une interaction entre ces deux modules qui traduit le fait qu'une augmentation du nombre de maisons avec chauffage central correspond à une diminution du nombre de maisons sans chauffage central. Dans chacun des modules rien n'a changé, hormis le nombre de maisons ; l'évolution de la demande d'énergie de chacun des modules suit étroitement l'évolution du nombre de maisons. La demande d'énergie de toutes les maisons construites avant 1975 est la somme des demandes des deux modules, son évolution intègre donc pleinement l'impact du changement de structure des systèmes de chauffage, toutes choses égales par ailleurs.

Dans la mesure du possible, la demande d'énergie est associée, dans le modèle, à des déterminants socio-économiques et techniques exprimés par des indicateurs physiques, seuls à même d'être explicités de façon intelligible et interprétable sur le long terme. De fait, la représentation de la demande d'énergie dans MEDEE-ME est de nature explicative et non statistique, selon le schéma conceptuel ci-après relatif à un module homogène.



L'expression des besoins renvoie au fait qu'un même service énergétique peut s'exprimer de façon très différente, et induire des besoins unitaires d'énergie très différents. On vient d'en voir un exemple avec la façon de se chauffer : chauffage intégral d'un logement (système centralisé) ou chauffage localisé. Pour une part importante, les mesures considérées dans le PNLCC visent la technologie et les parts de marché, et s'inscrivent donc d'emblée dans ce schéma. Une autre part vise plutôt l'expression des besoins (en particulier dans les transports), et s'inscrit également directement dans ce schéma. Les mesures économiques se situent elles en amont des déterminants indiqués ci-dessus. Elles visent à les modifier, soit à court terme (intensité des besoins), soit à moyen-long terme (technologie, parts de marché).

Sauf pour les voitures particulières et les véhicules utilitaires légers¹²⁴, l'influence des prix des énergies sur les déterminants de la demande n'est pas formalisée dans la version de MEDEE-ME utilisée pour la 3^e communication nationale. Deux raisons principales à ce choix méthodologique : la variabilité historique des élasticités-prix auxquelles

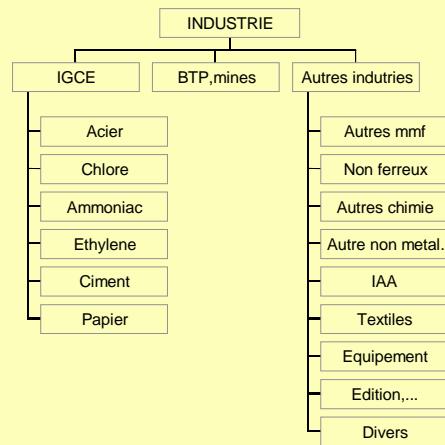
(124) Cette exception est due à la pression convergente des économistes des transports lors des travaux prospectifs du CGP (1997), et au consensus établi entre eux quant à la valeur des élasticités à retenir. On s'interrogera dans cette étude sur les apports et les limites qui en résultent, à la fois quant à la robustesse des projections et quant à l'évaluation des paquets de mesures.

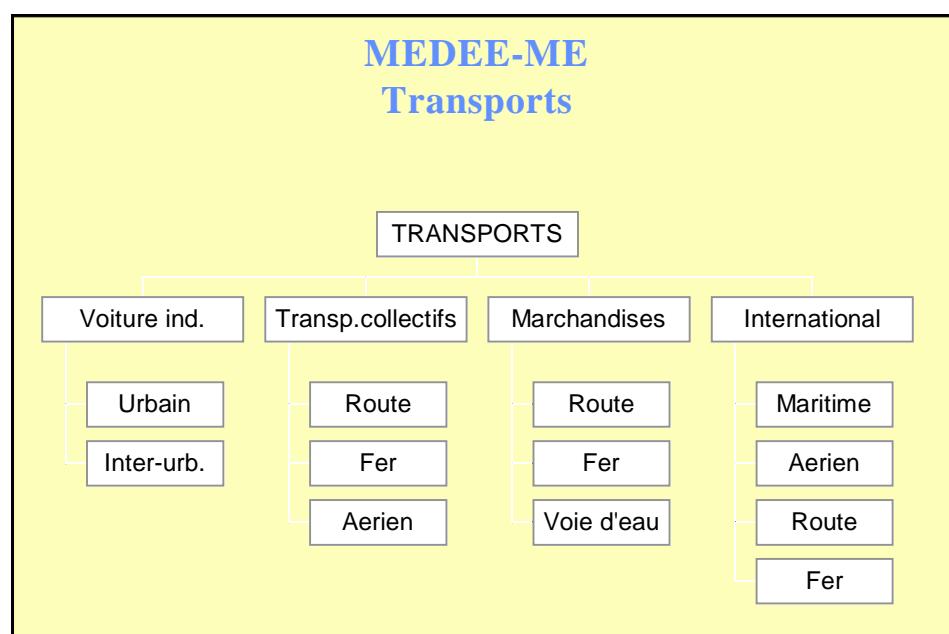
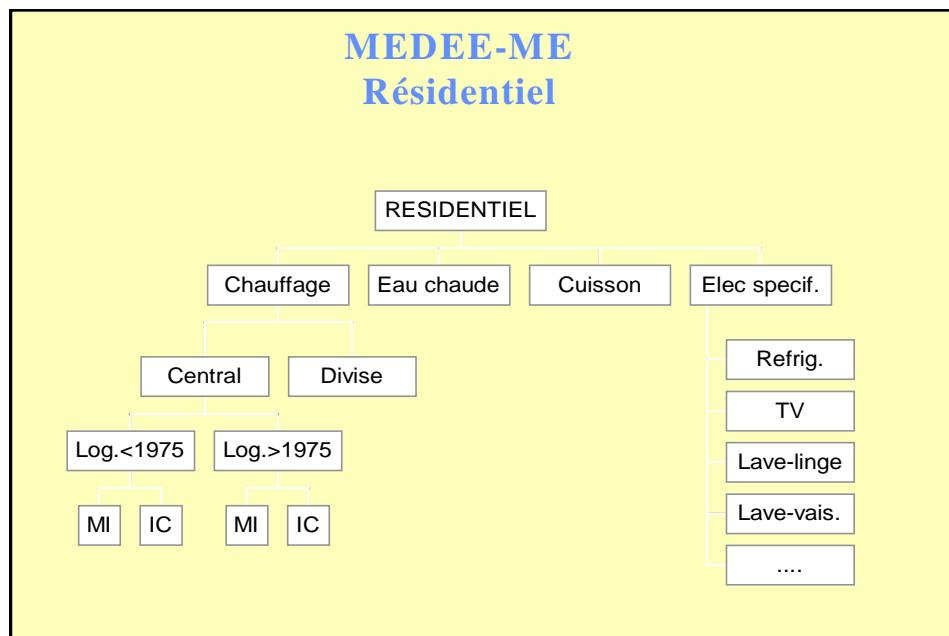
il faudrait recourir ; l'interdépendance entre ces élasticités, le contexte économique général et le contexte technologique. En d'autres termes, la connaissance des valeurs historiques de ces élasticités ne permet pas d'en déduire celle à retenir pour les prévisions.

Pour remédier à cette difficulté, on s'attache à mettre en cohérence ex ante les hypothèses de prix et les hypothèses de comportement et de technologie, au sein de chaque module de consommation, selon une démarche micro-économique. On vérifie ensuite la cohérence macro-économique ex-post de l'ensemble de ces hypothèses à partir des résultats sur les intensités énergétiques, sectorielles et globale, et sur les coefficients budgétaires sectoriels (ratios des dépenses énergétiques aux grandeurs macro-sectorielles).

La structure d'ensemble du modèle MEDEE-ME s'articule autour des quatre grands secteurs de consommation : l'industrie, le résidentiel, le tertiaire et les transports. Les schémas qui suivent montrent la structure interne de ces secteurs dans MEDEE-ME. Le tertiaire est traité plus simplement : quatre usages (les mêmes que dans le secteur résidentiel), trois branches (commerce, cafés, hôtels et restaurants ; transports et télécommunications ; reste).

MEDEE-ME Industrie





Analyse¹²⁵ des coefficients budgétaires

Problématique des effets-prix et des « effets-rebond »

Dans une large mesure, les consommateurs d'énergie se comportent en fonction des contraintes financières qu'ils subissent. Ainsi, on constate par exemple qu'un hiver doux se traduit de facto par des intensités de chauffage plus fortes (température plus élevée, période de chauffage plus longue, dont on détecte les effets grâce aux corrections climatiques). Les dépenses énergétiques et les coefficients budgétaires relatifs au chauffage ne suivent pas de façon proportionnelle les évolutions à la baisse des indices de rigueur climatique.

Aussi, lorsque les performances énergétiques des équipements, des procédés industriels ou des bâtiments s'améliorent, la contrainte économique se desserre, comme dans le cas d'un hiver doux ou d'une baisse de prix : de la même façon, ceci peut se traduire par des intensités d'usage plus fortes. L'analyse des progrès d'efficacité énergétique menée en France pour l'ADEME depuis de nombreuses années¹²⁶ montre clairement ce mécanisme à double détente : amélioration des performances énergétiques techniques d'un côté, comportements plus « gourmands » en énergie de l'autre. C'est ce que l'on appelle couramment « l'effet-rebond ».

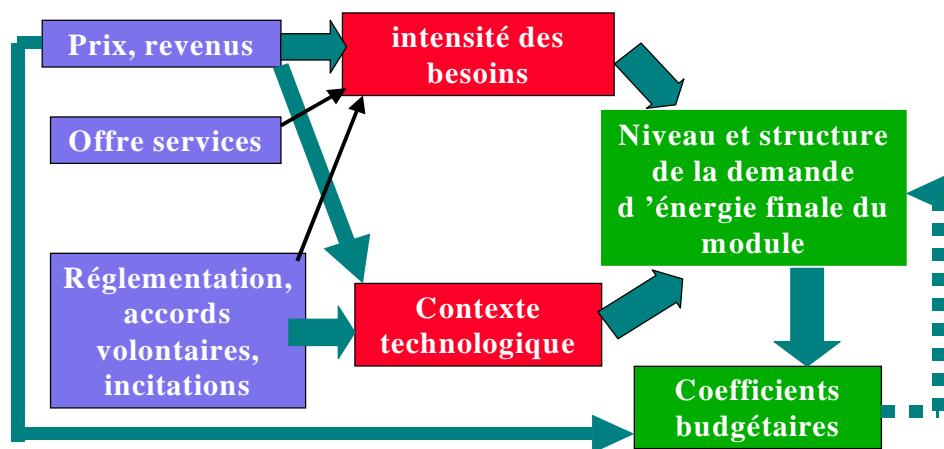
L'effet-rebond se manifeste pleinement à court et moyen terme. Il perd toutefois de son importance avec le temps : l'accroissement des revenus moyens aurait en effet produit un desserrement similaire de la contrainte financière en l'absence de progrès technique d'efficacité énergétique. Au fur et à mesure que la contrainte économique diminue, notamment du fait de la croissance, l'impact spécifique des gains d'efficacité d'origine technique est de moins en moins érodé par l'effet-rebond.

A une échéance de 10 ans (celle du Programme de lutte contre le changement climatique), l'effet-rebond peut encore fortement contrecarrer l'effet des mesures techniques et organisationnelles visant à

(125) Des graphiques explicatifs sont proposés dans le rapport.

(126) Rapports DATAMED à l'ADEME.

baisser les émissions de CO₂-énergie, toutes choses égales par ailleurs. A plus long terme (20 ans), l'effet-rebond devrait jouer de façon marginale. De nombreux seuils de saturation ou d'équilibre seront atteints en matière d'intensité d'usage de l'énergie (chauffage, électro-ménager, voiture...). Les niveaux de consommation d'énergie correspondants seront alors pleinement déterminés par les progrès techniques d'efficacité énergétique qui auront été réalisés entre-temps.



Analyse historique des coefficients budgétaires et appréciation des effets-prix et des effets-rebonds

L'analyse et l'estimation des impacts des mesures fiscales et des effets-rebond s'inscrivent dans la démarche de mise en cohérence *a posteriori* des résultats de MEDEE-ME. Elles reposent sur la confrontation des évolutions anticipées des coefficients budgétaires¹²⁷ avec leurs évolutions historiques.

Cette confrontation vise à apprécier les éléments suivants :

- Observe-t-on une tendance historique longue ? l'évolution anticipée s'inscrit-elle dans son prolongement ?

(127) Ratio des dépenses énergétiques à la consommation privée des ménages dans un cas, ratio des dépenses énergétiques à la valeur ajoutée dans l'autre cas.

- L’anticipation reste-t-elle confinée dans les marges de fluctuation à court terme observées historiquement ?
- Comment les coefficients budgétaires ont-ils réagi historiquement à la variation des revenus¹²⁸, à la variation des prix ? les anticipations montrent-elles des réactions analogues ?

La tendance historique qui nous intéresse est celle des coefficients budgétaires mesurés à prix courants, observée sur la période postérieure au contre-choc pétrolier de 1986 : c’est en effet une période sur laquelle les prix au consommateur sont restés relativement bas, et leurs fluctuations faibles (contexte de prix retenu dans le scénario « sans mesure »).

Les marges de fluctuations historiques à court terme sont celles, mesurées à prix courants, observées durant la période troublée du second choc pétrolier, jusqu’au contre-choc de 1986.

La relation historique des coefficients budgétaires aux revenus est appréciée graphiquement en rapportant les coefficients budgétaires mesurés à prix constants aux revenus à prix constants (prix de 1997 pour l’énergie ; prix de 1995 pour les valeurs ajoutées, le PIB et la consommation privée des ménages). De fait, les hypothèses sur la croissance des revenus sont toujours exprimées à prix constants dans les scénarios. L’intérêt de cette observation historique est double : elle renseigne sur le fondement macro-économique de la tendance historique ; elle indique dans quelle mesure cette relation est affectée par de fortes variations de prix (période des chocs pétroliers).

La relation historique des coefficients budgétaires aux prix est appréciée graphiquement en rapportant les coefficients budgétaires mesurés à prix courants aux prix de l’énergie. Ceci afin de mettre en évidence d’éventuelles plages de variation des prix dans lesquelles, historiquement, la relation est restée strictement linéaire (proportionnalité des évolutions des coefficients budgétaires et des prix).

(128) Revenus au sens large : valeur ajoutée, PIB, consommation privée des ménages.

Les jalons de l'analyse sectorielle des coefficients budgétaires

On considère deux coefficients budgétaires pour les *ménages* : celui des *carburants*, celui de *l'énergie consommée dans le logement*. Les jalons de l'analyse de ces coefficients budgétaires sont les suivants :

- a)** Les tendances historiques longues sont supposées se prolonger si les évolutions des prix des énergies restent à l'intérieur de leurs marges de variation historiques.
- b)** Le scénario « sans mesure » est supposé décrire comment la tendance devrait évoluer selon les dires d'experts, c'est-à-dire quel devrait être le nouveau sentier d'équilibre de la contrainte financière en fonction de la consommation privée. Si cette évolution est identique ou plus basse que la simple extrapolation de la tendance historique, on admet qu'elle indique un **plancher** tendanciel de variation des coefficients budgétaires. Supposons en effet que pour quelque raison, le coefficient budgétaire passe au-dessous de ce plancher, la baisse corrélative de la contrainte financière induirait alors une augmentation de l'intensité d'usage qui ramènerait le coefficient à la contrainte d'équilibre.
- c)** Si un scénario ou un jeu d'hypothèses variantielles conduit à une baisse prolongée des coefficients budgétaires en-deçà de la tendance, on pourrait en conclure un possible manque de cohérence d'ensemble entre les hypothèses sur les prix, les comportements et la technologie. Trois attitudes sont alors possibles devant un tel résultat :
 - soit accepter l'idée d'une possible accélération « naturelle » de la tendance du coefficient budgétaire, ce pourrait être par exemple le fruit d'une substitution massive et prolongée du capital à l'énergie (ce qui poserait alors le problème de la robustesse du cadre macro-économique de départ, DIVA en l'occurrence) ;
 - soit admettre une possible sous-estimation des projections de demande et en conclure sur la nécessité de prendre en compte un effet-rebond au-delà du résultat direct du modèle ;
 - soit reconsidérer l'une ou l'autre des hypothèses incriminées, par exemple considérer une hausse possible/nécessaire de la fiscalité.

d) Les variations historiques d'un coefficient budgétaire au-dessus de la tendance indique *l'ampleur maximale de variation à la hausse* de ce coefficient par rapport au plancher. Elles indiquent comment se résorbe cet écart à la tendance en fonction du temps. Si un scénario ou un jeu d'hypothèses variantielles conduit à une hausse des coefficients budgétaires par rapport à la tendance, deux cas se présentent :

- la hausse est à l'intérieur de la plage maximale de variation observée historiquement, on vérifie que la relation entre la hausse du coefficient budgétaire et celle des prix est conforme à la relation historique ; si oui, on en conclut à l'absence d'impact additionnel des prix des énergies sur la consommation, au-delà du résultat direct du modèle ;
- la hausse sort de cette plage maximale de variation, on vérifie que la relation entre la hausse du coefficient budgétaire et celle des prix est conforme à la relation historique ; si oui, on en conclut qu'il faut prendre en compte un impact additionnel des prix des énergies sur la consommation, au-delà du résultat direct du modèle.

Pour les *producteurs de biens et services*, on ne considère *qu'un seul coefficient budgétaire* pour toute l'énergie, par branche et par secteur d'activité. Les jalons de l'analyse sont les suivants :

a) Le scénario « sans mesure » indique la *variation tendancielle des coefficients budgétaires* selon les dires d'experts : cette variation tendancielle indique le sentier « optimal » des producteurs pour les combinaisons capital-énergie.

b) La variation historique d'un coefficient budgétaire indique *l'ampleur maximale des variations* à la hausse et à la baisse de ce coefficient par rapport à la tendance. Si un scénario ou un jeu d'hypothèses variantielles conduit à une baisse ou à une hausse prolongée de ce coefficient budgétaire, trois cas se présentent :

- la variation est à l'intérieur de la plage maximale de variation observée historiquement : on vérifie que la relation entre la hausse du coefficient budgétaire et celle des prix est conforme à la relation historique ; si oui, on en conclut à l'absence d'effet-rebond ou

- d'impact additionnel des prix des énergies sur la consommation, au-delà du résultat direct du modèle ;
- il y a hausse du coefficient budgétaire, et cette hausse sort de la plage maximale de variation : on vérifie que la relation entre la hausse du coefficient budgétaire et celle des prix est conforme à la relation historique ; si oui, on en conclut qu'il faut reconsidérer les hypothèses de croissance relatives à certaines branches ; il faut alors les identifier par une analyse spécifique par branche ;
- il y a baisse du coefficient budgétaire, et cette baisse sort de la plage maximale de variation : si la relation entre la baisse du coefficient budgétaire et celle des prix est bien conforme à la relation historique, on peut en conclure à l'occurrence probable d'effet-rebond au-delà des résultats directs du modèle ; ceci demande toutefois à être précisé par une analyse par branche.

Pour tous les agents économiques, *l'effet-rebond*, quand il est présumé, est estimé en bornant la variation à la baisse du coefficient budgétaire et en calculant la demande additionnelle d'énergie qui en résulte.

L'impact spécifique des hausses de prix des énergies sur la consommation et les émissions de CO₂, au-delà des résultats directs de MEDEE-ME, est estimé, s'il y a lieu, en bornant par le haut la variation de ces coefficients budgétaires et en calculant la baisse de demande d'énergie qui en résulte. Pour les producteurs de biens et services, on vérifie en outre la compatibilité de ce « bornage » avec les hypothèses de croissance de la valeur ajoutée.

Le secteur industriel

Les paquets de mesures

Deux paquets de mesures principaux sont considérés :

- les accords volontaires ;
- toutes les autres mesures, anciennes et nouvelles non fiscales.

Chacun de ces deux paquets est évalué en deux temps : sans les mesures fiscales et avec les mesures fiscales. L'absence de formalisation des effets-prix sur la demande énergétique et les émissions de CO₂ dans l'industrie rend en effet sans intérêt la prise en compte d'un paquet spécifique de mesures ne contenant que les mesures fiscales. En revanche, l'adjonction de mesures fiscales aux autres mesures permet de mieux cerner les questions suivantes :

- existe-t-il un risque d'effet-rebond du fait des mesures techniques en l'absence d'accompagnement par les prix ?
- les mesures fiscales sont-elles de nature à prévenir un éventuel effet-rebond, et pourraient-elles contribuer à des baisses de consommation d'énergie et d'émissions de CO₂ au-delà de l'effet des mesures techniques ?

Mesures	Etat	Paquet
M112 Engagements volontaires, IGCE	x	IGCE1
M114 Taxes sur l'énergie consommée par les IGCE	x	IGCE2
M111 Aides publiques en faveur de l'industrie	x	IL1
M121 Mesures d'aide à l'industrie		
M123 Labels, information et formation		
M114 Taxes sur l'énergie consommée par les entreprises		IL2

Accords volontaires

Les accords volontaires concernent principalement les industries grosses consommatrices d'énergie. Ce sont des mesures anciennes, déjà en application au 31/12/1999. Ces accords portent sur les réductions volontaires d'émission de CO₂ consenties par les industriels, du fait d'investissements d'efficacité énergétique. Leurs résultats devraient théoriquement être indépendants des évolutions de prix des énergies.

L'instauration de la TGAP devrait en principe épargner la plupart des industries concernées par ces accords volontaires. On s'est toutefois intéressé à l'impact qu'aurait cette TGAP au-delà des accords volontaires.

Autres mesures incitatives

Ces mesures, pour certaines anciennes, s’inscrivent aujourd’hui dans le nouveau cadre des interventions de l’ADEME (PNAEE). Elles visent à inciter les décideurs industriels à mettre en œuvre les mesures techniques d’efficacité énergétique et de substitution, telles qu’identifiées par le CEREN¹²⁹. L’impact de l’ensemble de ces mesures techniques (appelé « gisement ») a été évalué par le CEREN. Il a constitué le fondement des hypothèses techniques du scénario « PNLCC » de la 3^e communication nationale sur les intensités énergétiques des branches industrielles.

Il est toutefois peu probable que la capacité de ces mesures incitatives à atteindre l’objectif d’efficacité pris en compte dans le scénario PNLCC soit indépendante du contexte de prix. S’il en était ainsi, une partie significative de ce gisement serait déjà exploitée du fait de l’action de l’ADEME depuis 10 ans, ce qui ne semble pas être le cas. L’analyse des coefficients budgétaires par branche devrait donner deux éclairages sur cette question :

- en cas de baisse des coefficients budgétaires corrélative à l’absence de mesures fiscales, l’appréciation du risque d’une moindre efficience des mesures du fait de la possible occurrence d’effets-rebond (incitation économique trop faible) ;
- l’appréciation de l’atténuation ou de la disparition de ce risque si l’on met en œuvre les mesures fiscales.

(129) *Etude du gisement d’économies d’énergie dans l’industrie, CEREN, 1992.*

Résultats d'ensemble de la 3^e communication nationale

Tableau 1
Projections énergie finale et CO₂ de la 3^e CN, industrie

Mtep, MtCO ₂	1990	1997	Sans mesure		Avec mes. exist.		PNLCC	
	(AME)	2010	2020	2010	2020	2010	2020	
Pétrole	6,2	5,6	5,4	5,5	5,3	5,4	4,9	4,9
Gaz	10,8	11,7	14,3	15,8	13,7	15,2	12,7	13,7
Charbon	7,1	6,4	6,0	5,2	5,5	4,8	5,4	4,6
Electricité	25,7	28,5	35,5	43,5	35,0	42,9	33,7	40,4
Autres	3,7	3,2	3,6	4,2	3,4	4,0	3,4	4,0
Total Mtep	53,5	55,3	64,8	74,2	63,0	72,2	60,1	67,6
MtCO ₂	76,3	71,4	75,5	76,2	72,0	72,7	67,8	66,9

Tableau 2
Economies d'énergie finale et de CO₂ par rapport au scénario « sans mesure », 3^e CN, industrie

Mtep, MtCO ₂	Mesures exist.		PNLCC	
	2010	2020	2010	2020
Pétrole	0,1	0,1	0,6	0,7
Gaz	0,6	0,7	1,6	2,1
Charbon	0,5	0,4	0,6	0,5
Elec	0,4	0,6	1,8	3,0
Autres	0,2	0,3	0,2	0,3
Total Mtep	1,7	2,0	4,7	6,6
MtCO ₂	3,2	3,5	7,7	9,3

Tableau 3
Comparaison des économies d'émissions de CO₂-énergie 3^e CN et PNLCC

3 ^e CN		Mesures PNLCC **		
AME *	PNLCC *	Anciennes	Nouvelles	dont tgap
3,2	7,7	4,8	7,7	7,3

* scénarios « AME » et « PNLCC » de la 3^e communication nationale

** source : MIES-MATE - Programme national de lutte contre le changement climatique

Tableau 4
Coefficients budgétaires industrie, 3^e CN

%	1990	1997	Sans mesure	Avec mes. exist.	PNLCC		
	AME	2010	2020	2010	2020	2010	2020
Métaux ferreux	49,6	44,7	44,4	50,9	42,5	48,7	49,6
Métaux non ferreux	22,8	23,4	22,4	22,1	22,4	22,1	21,0
Chimie	16,7	14,9	11,8	10,5	11,6	10,4	11,6
Vente et mat. de const.	18,0	18,7	17,7	19,4	17,3	19,0	18,7
Agro-alimentaire	7,2	7,1	6,8	7,1	6,8	7,1	6,9
Textiles	5,1	5,9	8,0	9,7	8,0	9,7	7,9
Papiers et pâtes	35,4	41,0	39,1	50,7	35,7	46,1	37,6
Biens d'équipement	3,2	3,0	3,0	3,1	3,0	3,1	3,0
Divers	3,2	3,7	4,3	5,2	4,3	5,2	4,4
Total	6,0	5,9	5,6	5,8	5,5	5,7	5,6

Note : par souci de cohérence des évolutions dans le temps, les coefficients budgétaires présentés ici pour 1990 et 1997 sont ceux calculés par MEDEE-ME

En première analyse, l'ensemble des mesures techniques et réglementaires du PNLCC conduisent à des réductions d'émissions de CO₂ du secteur manufacturier de 7,7 MtCO₂ (hors électricité) en 2010, les mesures existantes, effectives au 31/12/1999 apportant à elles seules 4,3 MtCO₂.

Ces réductions d'émissions seraient obtenues sans modification corrélative du coefficient budgétaire de l'ensemble de l'industrie manufacturière (ratio dépenses énergétiques/valeur ajoutée) en 2010 malgré la mise en place généralisée de la TGAP. Toutefois, selon les branches, on constaterait des hausses (sidérurgie, minéraux non métalliques) ou des baisses des coefficients budgétaires des branches.

Comparées aux chiffres avancés dans les documents de la MIES¹³⁰, les estimations d'économies de CO₂-énergie de la 3^e communication nationale conduisent aux commentaires suivants, relatifs à l'année 2010 :

(130) MIES-MATE – Programme national de lutte contre le changement climatique 2000/2010 - Paris, 2000.

- l’agrégation stricte des impacts estimés par la MIES pour les mesures anciennes et nouvelles¹³¹ dépasse de 3,9 MtCO₂ les économies de CO₂-énergie du scénario PNLCC de la 3^e communication nationale ;
- cet écart est toutefois de moitié inférieur à l’estimation faite par la MIES du seul impact de la TGAP ;
- la valeur prise par le coefficient budgétaire de l’industrie dans le scénario PNLCC de la 3^e communication nationale, est légèrement inférieure à celle prise dans le scénario « sans mesure », ***malgré la prise en compte généralisée de la TGAP***. En conséquence, il n’est pas légitime d’agréger l’impact spécifique attribué à la TGAP avec ceux attribués par ailleurs aux autres mesures prises séparément (risque manifeste de double compte dans le document PNLCC de la MIES pour les mesures nouvelles).

L’évaluation des paquets de mesures

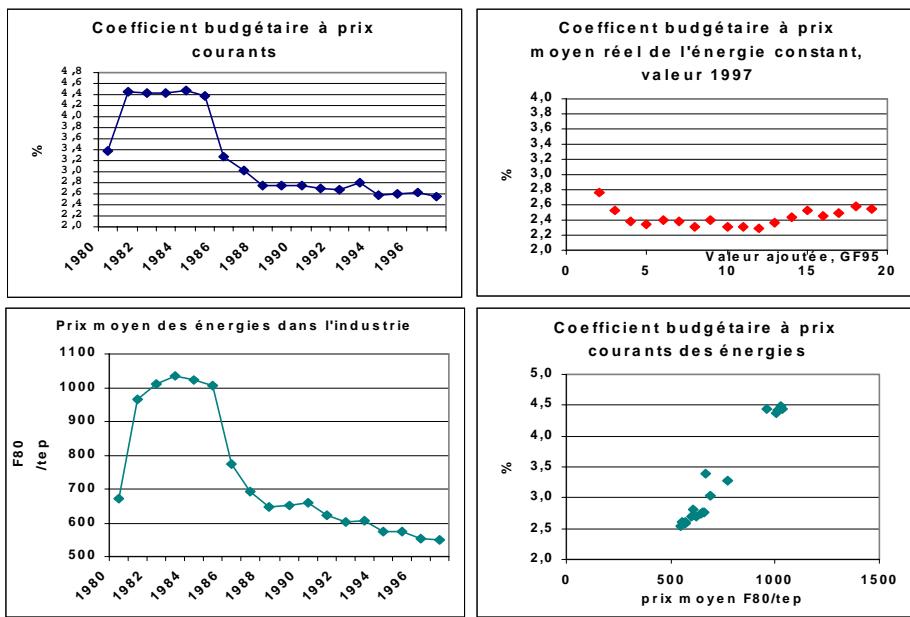
Analyse historique du coefficient budgétaire de l’industrie

L’analyse historique s’intéresse à la tendance, aux marges de fluctuations et aux relations entre l’évolution du coefficient budgétaire, celle de la valeur ajoutée industrielle et celle du prix moyen de l’énergie. Sauf pour la relation à la valeur ajoutée, le coefficient budgétaire est calculé à prix courants des énergies. Pour la relation à la valeur ajoutée, il est calculé à prix moyen constants des énergies (et valeur ajoutée à prix constants également).

L’analyse d’un coefficient budgétaire pour l’ensemble de l’industrie est rendue nécessaire par l’existence de transferts de valeur entre branches, lesquels ajoutent un élément de biais inévitable dans les analyses par branche.

(131) *Evaluations faites à l’occasion de la 2^e communication nationale pour les mesures anciennes, évaluations présentées dans le document PNLCC de la MIES pour les mesures nouvelles.*

Figure 1
Historique du coefficient budgétaire¹³² « industrie »



Les graphiques ci-dessus appellent les observations suivantes :

- a) Le coefficient budgétaire de l'industrie montre en général une forte sensibilité au prix moyen de l'énergie, la variation de l'un étant quasiment proportionnelle à la variation de l'autre. Cette forte élasticité du coefficient budgétaire révèle une faible réactivité de la consommation finale énergétique aux variations de prix en règle générale. Ce constat semble vérifié pour une large plage de variation des prix des énergies.

(132) *Le coefficient budgétaire de l'industrie est défini comme le rapport des dépenses énergétiques hors carburants de l'industrie à la valeur ajoutée de l'industrie. Sauf mention contraire, il est calculé à valeurs courantes. L'historique est basé sur les données économiques de l'INSEE, les données de consommation par énergie du CEREN et les données de prix moyens par énergie de l'AIE. Les projections sont calculées par MEDDEE-ME sur la base des consommations par énergie en Mtep, des prix moyens des énergies à l'industrie hors inflation et de la valeur ajoutée industrielle à prix constants.*

b) La période du second choc pétrolier (1979-1981) montre toutefois l'existence d'un seuil de résistance du coefficient budgétaire quand les prix de l'énergie deviennent très élevés (autour de 4,5 % de la valeur ajoutée industrielle avec les conventions de mesure retenues). Ce seuil révèle que des mécanismes d'ajustement de la consommation finale énergétique se sont mis en place lorsque les prix ont atteint ces niveaux élevés par la technologie, par les comportements ou par le niveau de production. Rien ne permet cependant de conclure sur les rôles respectifs des prix et des actions d'incitation à la maîtrise de l'énergie dans la mise en place de ces mécanismes.

c) A prix moyen constant de l'énergie, le coefficient budgétaire de l'industrie apparaît peu sensible à la valeur ajoutée (fluctuation de plus ou moins 10 % autour d'une constante depuis 1981). On pourrait toutefois interpréter l'évolution depuis 1981 comme la manifestation discrète des effets combinés des variations de prix et des incitations aux économies d'énergie : baisse lente du coefficient budgétaire jusque peu après le contre-choc pétrolier de 1986, remontée lente ensuite.

Ces observations historiques demandent à être confirmées et quantifiées par une analyse économétrique plus poussée. Elles donnent toutefois un double éclairage :

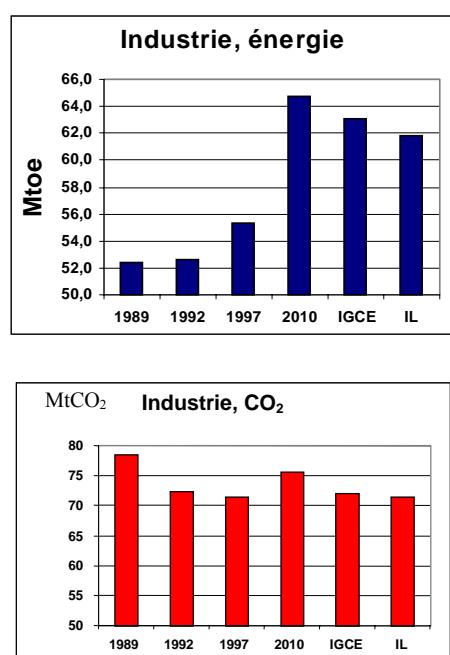
- sur la pertinence de la variation tendancielle future du coefficient budgétaire inscrite dans le scénario sans mesure ;
- sur l'impact spécifique que l'on peut attendre de la TGAP sur les consommations énergétiques et les émissions de CO₂, au-delà des impacts des paquets de mesures techniques.

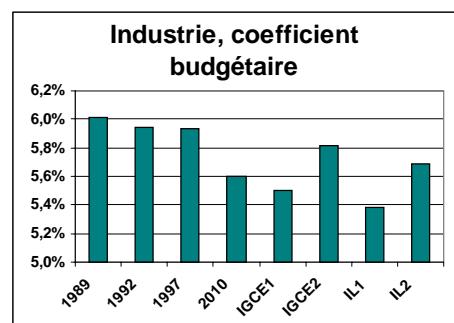
Analyse des paquets de mesures

Les graphiques ci-après synthétisent les résultats correspondant successivement à la seule mise en œuvre des accords volontaires (paquet « IGCE »), puis à la seule mise en œuvre des mesures incitatives non financières (paquet « IL »). Pour chacun de ces deux paquets, on indique leurs impacts sur les consommations énergétiques, sur les émissions de CO₂ et sur les coefficients budgétaires.

L'impact des prix des énergies sur la consommation industrielle n'est pas simulé de façon endogène dans MEDEE-ME, il n'y a donc pas d'effet mécanique à attendre de la prise en compte de la TGAP sur les consommations et les émissions calculées par MEDEE-ME. En revanche, la prise en compte de la TGAP modifie le calcul des coefficients budgétaires. La comparaison des impacts des deux paquets de mesures sur les coefficients budgétaires avec la tendance inscrite dans le scénario « sans mesure » est donc dédoublée. D'un côté, on n'intègre pas la TGAP dans le paquet de mesures (IGCE1, IL1), de l'autre on l'intègre (IGCE2, IL2).

Figure 2
Impacts des paquets de mesures « industrie » en 2010





Les résultats obtenus appellent les commentaires suivants :

- a)** Le paquet « accords volontaires » devrait conduire à des réductions de consommation énergétique d'un peu moins de 2 Mtep par rapport au « sans mesure » en 2010 (2,7 % de la consommation) et des réductions d'émissions de CO₂ de 3,5 MtCO₂ (4,7 % des émissions). Le paquet « mesures incitatives » pourrait avoir un impact plus marqué sur les consommations (3 Mtep), mais voisin sur le CO₂ (4,2 MtCO₂).
- b)** Hors TGAP, l'impact des paquets de mesures sur les coefficients budgétaires est un peu plus marqué pour les mesures incitatives que pour les accords volontaires. Dans le premier cas, le coefficient budgétaire baisse de 10 % entre 1997 et 2010, et se situe en 2010 à 3 % au-dessous du niveau atteint dans le « sans mesure ». Dans le second cas (accords volontaires), la baisse est de 8 % par rapport au niveau de 1997, le niveau 2010 est 2 % au-dessous du « sans mesure ».
- On constate que sans TGAP, la baisse du coefficient budgétaire reste à l'intérieur des marges de fluctuation historiques à prix de l'énergie constant¹³³, dans tous les cas : tant pour le scénario « sans mesure » que pour chacun des paquets de mesures pris séparément. Sous réserve que ces paquets de mesures soient effectivement mis en œuvre séparément, et obtiennent les effets escomptés sans l'aide de la TGAP, leurs impacts sur les coefficients budgétaires ne seraient vraisemblablement pas suffisants pour donner lieu à des effets-rebond significatifs.
- c)** Pour aucun des deux paquets de mesures, la pleine intégration de la TGAP n'amène en 2010 le coefficient budgétaire au-dessus de son niveau de 1997. La forte stabilité du coefficient budgétaire à prix de l'énergie constant et la forte élasticité de ce coefficient aux prix de l'énergie observés historiquement conduisent alors aux conclusions suivantes :
- pour chaque paquet de mesures, la mise en œuvre intégrale de la TGAP simultanément avec les autres mesures n'est pas de nature à déclencher d'autres baisses des consommations énergétiques et des

(133) *Du fait des hypothèses retenues sur l'évolution des prix dans le scénario sans mesure, le prix moyen des énergies dans l'industrie reste quasiment stable sur la période 1997-2010.*

émissions de CO₂ que celles calculées par le modèle (on reste très largement au-dessous des seuils de résistance observés historiquement) ;

- en revanche, la mise en œuvre de la TGAP, par son effet sur le coefficient budgétaire, est de nature à conforter l'hypothèse retenue par les experts quant à l'efficience des mesures incitatives.

d) Les accords volontaires sont aujourd’hui un fait acquis (contrairement aux impacts attendus des mesures incitatives, dont l’efficience n’est pas garantie) et leur impact à la baisse sur le coefficient budgétaire de l’industrie hautement probable. Dans ce contexte, l’impact à la hausse de la TGAP sur le coefficient budgétaire apparaît insuffisant pour enclencher des baisses supplémentaires de la consommation d’énergie et des émissions de CO₂ significatives au-delà de ce qui est calculé par MEDEE-ME (en tout cas certainement pas de l’ordre de grandeur estimé dans le PNLCC).

e) Du fait des cibles visées – IGCE pour les accords volontaires, autres industries pour les mesures incitatives – les deux paquets de mesures sont relativement indépendants l’un de l’autre : on peut donc agréger leurs impacts respectifs sans risque de double compte. Comme on l’a montré ci-dessus, il n’y a pas lieu d’ajouter un impact spécifique de la TGAP au plein effet des impacts de ces deux paquets de mesures (tel que calculé par MEDEE-ME). Le poids relatif de la TGAP dans l’obtention du plein effet des accords volontaires est négligeable. Il est en revanche certainement significatif dans l’obtention du plein effet des mesures incitatives, sans qu’on puisse pour autant l’évaluer avec certitude.

Tableau 5
Impact des paquets de mesures « industrie » récapitulatif

	3e CN					MIES		
	PNLCC	IGCE	dont TGAP	IL	dont TGAP	IGCE	IL	dont TGAP
MtCO ₂	7,7	3,5	~~	4,2	?	4,4	8,1	7,3

Analyse des impacts par branche industrielle

L'analyse des impacts au niveau des grandes branches industrielles est-elle de nature à infirmer ou conforter les conclusions ci-dessus relatives aux effets spécifiques de la TGAP et aux effets-rebond ?

Pour répondre à cette question, on s'intéressera plus spécifiquement aux impacts des paquets de mesures sur les coefficients budgétaires des branches.

L'examen de ces coefficients budgétaires¹³⁴ par branches de 1980 à 1998 montre deux phénomènes relativement communs à toutes les branches :

- une forte variabilité des coefficients budgétaires au cours du temps ;
- une forte élasticité de ces coefficients aux prix des énergies (voisine de 1).

On observe pour plusieurs branches une tendance à la baisse des coefficients budgétaires à prix constants de l'énergie, à mesure que la valeur ajoutée à prix constants augmente : métaux non ferreux, chimie, textiles, biens d'équipement. Pour les autres branches, on ne constate rien de tel, mais une dispersion erratique autour d'une valeur moyenne, cette dispersion étant toujours contenue dans une marge de plus ou moins 10 % autour de la valeur moyenne.

Les branches sont affectées de façon différente par les paquets de mesures. On peut néanmoins les rassembler en quatre groupes.

a) Celles pour lesquelles les paquets de mesures, concurremment à la TGAP, amènent les coefficients budgétaires en 2010 à des niveaux voisins ou inférieurs à ceux atteints dans le scénario « sans mesure », et inférieurs à tous les niveaux historiques observés : métaux non ferreux, chimie, agro-alimentaire, biens d'équipement. *Pour toutes ces branches, il ne peut pas y avoir un impact spécifique de la TGAP au-delà des impacts des mesures techniques calculés par MEDEE-ME.*

(134) Voir document 1 dans le volume complémentaire du CGP.

Agro-alimentaire mis à part, la tendance historique du coefficient budgétaire à prix constant est à la baisse dans ces branches : le scénario « sans mesure » s’inscrit bien dans cette tendance, et les *projections énergétiques afférentes apparaissent donc validées*.

Pour l’agro-alimentaire, aucune tendance historique significative ne se dessine, mais le coefficient budgétaire du scénario « sans mesure » reste en 2010 à l’intérieur des marges de variations historiques observées. Pour cette branche également, les *projections énergétiques « sans mesure » apparaissent bien validées*.

b) Les branches pour lesquelles les paquets de mesures, TGAP comprise, amènent les coefficients budgétaires à un niveau voisin sinon inférieur à celui atteint dans le scénario « sans mesure », mais *au dessus* de certains niveaux historiques observés (à prix constants de l’énergie) : textiles, papier et pâtes.

Dans la branche textiles, la tendance historique du coefficient budgétaire à prix constant est à la baisse. Or le scénario « sans mesure » s’inscrit à rebours de cette tendance, dans une proportion supérieure aux habituelles marges de variation autour de la tendance. *Ce constat pourrait conduire à considérer la projection énergétique de l’industrie textile comme trop élevée dans tous les scénarios. En revanche, il ne permet pas de conclure à une baisse supplémentaire de la consommation imputable à la seule TGAP, au-delà de la réduction associée par MEDEE-ME au paquet de mesures « incitatives ».*

La question ne se pose pas pour les papiers et pâtes : le coefficient budgétaire reste à l’intérieur des marges de variations historiques à prix de l’énergie constant : *ni surestimation des projections, ni baisse supplémentaire imputable spécifiquement à la TGAP.*

c) Les métaux ferreux constituent la seule branche pour laquelle le paquet de mesures « accords volontaires », concurremment avec la TGAP, amène le coefficient budgétaire à un niveau *supérieur* à celui atteint dans le scénario « sans mesure », mais *inférieur* à certains niveaux historiques observés depuis 1989 (à prix constants de l’énergie). L’analyse historique n’indique pas de tendance significative à la baisse du coefficient budgétaire de cette branche. On peut donc en conclure que le coefficient budgétaire reste en 2010 à l’intérieur des marges de variation historiques,

tant pour le scénario « sans mesure » que lorsqu'on prend en compte le paquet de mesures et la TGAP. *Les projections du « sans mesure » paraissent donc validées, et il n'y a pas lieu de considérer un possible impact spécifique de la TGAP au-delà des impacts des mesures techniques calculés par MEDEE-ME.*

d) Restent les branches pour lesquelles les paquets de mesures, concurremment avec la TGAP, amènent les coefficients budgétaires à des niveaux *supérieurs* à ceux atteints dans le scénario « sans mesure », et *supérieurs* également aux niveaux historiques observés (à prix constants de l'énergie) : minéraux non métalliques, industries diverses.

Les minéraux non métalliques sont de loin les plus importants au regard du CO₂. On n'observe aucune tendance historique significative à la hausse ou à la baisse du coefficient budgétaire de cette branche. Tant dans le scénario « sans mesure » que lorsqu'on prend en compte les paquets de mesures, concurremment avec la TGAP, le coefficient budgétaire est en 2010 nettement à l'intérieur des marges de variation observées historiquement (à prix constants de l'énergie). *Les projections du « sans mesure » paraissent donc validées, et il n'y a pas lieu de considérer un possible impact spécifique de la TGAP au-delà des impacts des mesures techniques calculés par MEDEE-ME.*

L'ensemble de ces constats relatifs aux branches poussent à considérer les gains d'émissions de CO₂ évalués plus haut pour l'ensemble de l'industrie (scénario « PNLCC ») comme des maxima.

Les branches industrielles relevant des groupes c) et d), sont les seules pour lesquelles pourrait se poser la question d'un impact spécifique de la TGAP au-delà de l'impact des paquets de mesures calculé par MEDEE-ME. Or on a vu que les variations historiques observées des coefficients budgétaires ne nous permettaient pas de conclure à la nécessité de prendre en compte un tel impact spécifique.

Pour les autres branches, relevant des groupes a) et b), le problème est inverse. Les fortes élasticités historiques des coefficients budgétaires aux prix de l'énergie devraient conduire à une hausse des coefficients

budgétaires par rapport à la tendance en cas d'application de la TGAP. Or on constate (dans les résultats du modèle) une baisse du coefficient budgétaire par rapport au scénario sans mesure en 2010 quand on prend en compte simultanément les paquets de mesures et la TGAP. On pourrait donc en déduire que les gains d'émission résultant des seules mesures techniques, tels qu'ils sont calculés, sont eux-mêmes surestimés.

Il faut toutefois garder à l'esprit que ces gains sont obtenus au prix d'investissements dont l'amortissement pourrait, dans certains cas, compenser encore en partie les réductions des dépenses énergétiques en 2010. Ceci pourrait justifier une stabilité sinon une baisse des coefficients budgétaires limitée à la seule énergie en cas d'application de la TGAP.

Un calcul rapide montre que la hausse relative du coefficient budgétaire de l'industrie consécutive à l'application de la TGAP devrait être de l'ordre de 4 %, toutes choses égales par ailleurs. Or les amortissements annuels des investissements correspondant aux mesures techniques pourraient représenter de l'ordre de 3 à 5 % des dépenses énergétiques. Ces amortissements étant du même ordre de grandeur que les économies réalisées annuellement sur les dépenses énergétiques, on voit que les impacts respectifs de la TGAP et des mesures techniques sur le coefficient budgétaire se compensent globalement.

Les bâtiments

Les paquets de mesures

On distingue les paquets de mesures selon qu'ils s'adressent au secteur résidentiel ou au secteur tertiaire.

Quatre paquets de mesures principaux sont considérés :

- réglementation thermique sur les bâtiments neufs (RTE2000 et suivantes) ;
- les mesures visant à renforcer l'utilisation directe du bois dans l'habitat ;
- les mesures visant à développer le recours au chauffage urbain et son alimentation par des énergies non émettrices de CO₂ ;
- les mesures visant à améliorer la thermique des bâtiments existants et à diminuer leurs consommations unitaires.

Comme pour l'industrie, et pour les mêmes raisons, chacun des paquets est évalué en deux temps : sans les mesures fiscales (taxe sur le gaz pour les ménages, TGAP dans le tertiaire) et avec les mesures fiscales.

Par construction (du modèle), la prise en compte des mesures fiscales n'affecte pas les consommations énergétiques et les émissions de CO₂ calculées par MEDEE-ME. En revanche, elle modifie les coefficients budgétaires des ménages et du tertiaire qui sont calculés, et indique par conséquent s'il y a lieu de considérer un impact spécifique de ces mesures fiscales au-delà de l'impact de la réglementation thermique.

Par ailleurs, la prise en compte des mesures fiscales en plus des mesures incitatives permet de montrer jusqu'à quel point la hausse des prix des énergies qui en résultera sera de nature à renforcer l'efficience des mesures incitatives, voire réglementaires.

Mesures	Etat	Paquet
M311 Réglementation thermique dans bâtiments neufs (tertiaire)		T1-1
M3211 Renforcement programme de la réglementation thermique pour les bâtiments		
M3212 Normalisation et réglementation technique des composants		
M3271 Ecotaxe (TGAP)		T1-2
M311 Réglementation thermique des bâtiments neufs (résidentiel)		R1-1
M3212 Normalisation et réglementation technique des composants		
M316 Effets de la politique en faveur du renouvellement du parc de logements	X	
M3271 Ecotaxe (fiscalité gaz domestique)		R1-2

Mesures	Etat	Paquet
M3241 Le bois-énergie		R2-1
M3271 Ecotaxe (fiscalité gaz domestique)		R2-2
M3243 Energie géothermique	RT3-1	
M3244 Réseaux de chaleur		
M313 Classement des réseaux de chaleur		
M3241 Le bois-énergie		
M3271 Ecotaxe (TGAP et fiscalité gaz domestique)		RT3-2

Mesures	Etat	Paquet
M314 Actions concernant les bâtiments de l'Etat	T4-1	
M3212 Normalisation et réglementation technique des composants		
M3231 Action sur les bâtiments de l'Etat		
M3232 Action sur des bâtiments de secteurs pilotes		
M3263 Création d'un système d'aide pour les bâtiments tertiaires		
M3271 Ecotaxe (TGAP)		T4-2
M312 Incitations aux travaux de maîtrise de l'énergie sur les bâtiments existants	R4-1	
M315 Actions d'information des usagers		
M3212 Normalisation et réglementation technique des composants		
M3232 Action sur des bâtiments de secteurs pilotes		
M3261 Opérations programmées d'amélioration thermique des bâtiments (OPATB)		
M3262 Condition d'octroi des aides à la pierre		
M3271 Ecotaxe (fiscalité gaz domestique)		R4-2

Réglementation thermique des bâtiments neufs

La réglementation thermique 2000 (RTE2000) est entrée en application après le 1/01/2000. Elle s'applique tant à l'habitat qu'aux bâtiments tertiaires. Cette réglementation est appelée à être renforcée régulièrement (tous les 5 ans en principe), le premier renforcement étant supposé mis en place en 2005. On tient compte des délais d'adaptation des professionnels et donc d'une montée en puissance progressive de l'efficience de la mesure. L'impact de cette mesure sur les consommations spécifiques d'énergie des bâtiments a été évalué par le groupe de travail « bâtiment ».

On considère par ailleurs que la bonne fin de cette mesure est étroitement dépendante de l'offre de matériaux et d'équipement adaptés, objet d'une autre mesure considérée dans ce paquet.

Incitations à l'utilisation du bois par les ménages

N'est considérée dans ce paquet que la mesure visant à renforcer l'utilisation directe du bois par les ménages. Cette mesure se décline de différentes façons dans les entrées de MEDEE-ME : part des logements neufs ayant des installations au bois comme principal mode de chauffage, conversion des chauffages divisés en chauffage central préservant le recours au bois comme énergie principale de chauffage, substitution vers le bois dans les chauffages centraux et divisés existants. Cette déclinaison a été établie sur la base du plan stratégique de l'ADEME concernant le bois, et a été avalisée par le groupe de travail « bâtiment ».

Incitations au recours au chauffage urbain et son alimentation par des énergies non émettrices de CO₂

Du point de vue de la réduction des émissions de CO₂, le chauffage urbain n'a d'intérêt que s'il permet de substituer des énergies émettrices nettes de gaz carbonique par des énergies qui ne le sont pas. De ce point de vue, les mesures visant spécifiquement à accroître le développement du chauffage urbain n'ont pas d'intérêt en soi, mais seulement combinées

aux mesures visant la promotion des énergies globalement neutres vis-à-vis du CO₂, telles que la géothermie, la biomasse ou les résidus urbains.

Ce paquet de mesures se décline donc de deux façons dans les entrées de MEDEE-ME, part des bâtiments neufs recourrant au chauffage urbain comme principal mode de chauffage, substitution vers les énergies neutres vis-à-vis du CO₂ dans l'alimentation des chauffages urbains. Cette déclinaison a été établie à partir des hypothèses retenues par le groupe de travail « bâtiment ».

Incitations à la baisse des consommations unitaires d'énergie des bâtiments existants

Ces mesures, pour certaines anciennes, s'inscrivent aujourd'hui dans le nouveau cadre des interventions de l'ADEME (PNAEE). Elles visent à inciter les décideurs privés et institutionnels à mettre en œuvre les mesures techniques d'efficacité énergétique, telles que répertoriées par l'ADEME. L'impact espéré de l'ensemble de ces mesures techniques (gisement) sur les consommations unitaires des bâtiments a constitué le fondement des hypothèses techniques du scénario « PNLCC » de la 3^e communication nationale.

Il est toutefois peu probable que la capacité de ces mesures incitatives à atteindre l'objectif d'efficacité pris en compte dans le scénario PNLCC soit indépendante du contexte de prix. S'il en était ainsi, une partie significative de ce gisement serait déjà exploitée du fait de l'action de l'ADEME depuis 10 ans, ce qui ne semble pas être le cas. L'analyse des coefficients budgétaires devrait donner deux éclairages sur cette question :

- en cas de baisse des coefficients budgétaires corrélative à l'absence de mesures fiscales, l'appréciation du risque d'une moindre efficience des mesures (incitation économique trop faible) et de la possible occurrence d'effets-rebond ;
- l'appréciation de l'atténuation ou de la disparition de ce risque si l'on met en œuvre les mesures fiscales.

On considère par ailleurs que la bonne fin de cette mesure est étroitement dépendante de l'offre de matériaux et d'équipement adaptés, objet d'une autre mesure considérée également dans ce paquet.

Les résultats d'ensemble de la 3^e communication nationale

Résultats d'ensemble du résidentiel

Tableau 6
Projections énergie finale et CO₂ de la 3^e CN, résidentiel

Mtep, MtCO ₂	1990	1997	Sans mesure		Avec mes. exist.		PNLCC	
	(AME)	2010	2020	2010	2020	2010	2020	
Fioul	9,8	9,5	9,0	8,7	8,0	7,4	7,5	6,5
Gaz	10,8	12,6	17,4	20,5	15,9	17,9	14,4	15,5
Charbon	1,6	1,2	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,4
GPL	1,6	1,6	1,6	1,5	1,6	1,5	1,5	1,4
Electricité	23,2	28,2	36,9	42,1	34,5	38,4	31,9	33,8
Autres	9,0	8,9	6,0	4,9	6,5	5,8	9,2	9,1
Total Mtep	56,0	62,0	71,8	78,5	67,2	71,7	65,2	66,7
MtCO ₂	67,9	69,6	78,3	84,0	71,2	73,1	65,2	63,2

Tableau 7
Economies d'énergie finale et de CO₂ par rapport au scénario « sans mesure », 3^e CN, résidentiel

Mtep, MtCO ₂	Mesures exist.		PNLCC	
	2010	2020	2010	2020
Fioul	1,0	1,3	1,5	2,2
Gaz	1,6	2,6	3,0	5,1
Charbon	0,1	0,1	0,3	0,4
GPL	0,0	0,0	0,0	0,1
Electricité	2,4	3,7	5,0	8,3
Autres	- 0,5	- 0,9	- 3,2	- 4,2
Total Mtep	4,6	6,8	6,6	11,8
MtCO ₂	7,2	10,8	13,1	20,8

Tableau 8
Coefficient budgétaire résidentiel, 3^e CN

%	1990	1997	Sans mesure		Avec mes. exist.		PNLCC	
	(AME)		2010	2020	2010	2020	2010	2020
Résidentiel	3,13	2,92	2,63	2,49	2,43	2,23	2,43	2,13

Note : par souci de cohérence des évolutions dans le temps, les coefficients budgétaires présentés ici pour 1990 et 1997 sont ceux calculés par MEDEE-ME

Les mesures mises en œuvre avant le 31/12/1999 devraient limiter l'accroissement des consommations énergétiques du résidentiel à 9,2 Mtep entre 1990 et 2010. Hors électricité, la consommation reviendrait en 2010 à son niveau de 1990. Cependant, les émissions de CO₂ continueraient à croître et s'établiraient en 2010 à 3,3 MtCO₂ au-dessus du niveau de 1990, essentiellement du fait de la substitution du bois de chauffage par le pétrole et le gaz.

Les autres mesures contenues dans le PNLCC devraient permettre d'obtenir des réductions supplémentaires des consommations énergétiques du résidentiel de 2 Mtep en 2010. Parallèlement, les émissions de CO₂ baisseraient en 2010 jusqu'à 2,7 MtCO₂ au-dessous du niveau de 1990, soit une économie de 13,1 MtCO₂ par rapport au « sans mesure ».

Résultats d'ensemble du tertiaire

Tableau 9
Projections énergie finale et CO₂ de la 3^e CN, tertiaire

Mtep, MtCO ₂	1990	1997	Sans mesure		Avec mes. exist.		PNLCC	
	(AME)		2010	2020	2010	2020	2010	2020
Pétrole	4,1	3,5	2,2	1,9	2,1	1,8	1,9	1,4
Gaz	4,8	5,0	8,4	10,5	8,3	10,3	8,0	9,7
Charbon	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,4
Électricité	17,8	19,3	30,7	38,4	28,9	32,6	26,8	27,1
Autres	0,7	0,6	0,5	0,3	0,5	0,3	1,0	1,2
Total Mtep	27,9	29,0	42,5	51,8	40,5	45,7	38,3	39,9
MtCO ₂	26,8	25,3	29,8	33,7	29,4	33,0	27,3	29,2

Tableau 10
Economies d'énergie finale et de CO₂ par rapport au scénario
« sans mesure », 3^e CN, tertiaire

Mtep, MtCO ₂	Mesures exist.		PNLCC	
	2010	2020	2010	2020
Fioul	0,0	0,0	0,3	0,5
Gaz	0,1	0,2	0,4	0,8
Charbon	0,0	0,0	0,2	0,3
Électricité	1,8	5,9	3,9	11,3
Autres	0,0	0,0	- 0,5	- 0,9
Total Mtep	2,0	6,1	4,2	12,0
MtCO ₂	0,5	0,6	2,5	4,5

Tableau 11
Coefficient budgétaire tertiaire, 3^e CN

%	1990	1997	Sans mesure	Avec mes. exist.	PNLCC			
	(AME)	2010	2020	2010	2020	2010	2020	
Tertiaire	1,55	1,41	1,35	1,32	1,28	1,14	1,26	1,02

Les mesures mises en œuvre avant le 31/12/1999 devraient économiser 2 Mtep en 2010, essentiellement dans les usages électriques. De ce fait, les économies de CO₂ (hors électricité) devraient se limiter à 0,4 MtCO₂ à cette date.

Les réductions supplémentaires des consommations énergétiques dues aux autres mesures du PNLCC pourraient atteindre 2,2 Mtep en 2010, dont la majeure partie dans les usages électriques. Les émissions de CO₂ pourraient toutefois presque retrouver en 2010 leur niveau de 1990 (+ 0,5 MtCO₂), soit une économie d'émissions de CO₂-énergie de 2,5 MtCO₂ par rapport au « sans mesure ».

Résultats d'ensemble du secteur des bâtiments

Tableau 12
**Comparaison des économies d'émissions de CO₂-énergie,
3^e CN et PNLCC**

3ème CN		Mesures PNLCC **		
AME *	PNLCC *	Anciennes	Nouvelles	dont TGAP
7,7	15,6	3,7	9,9	3,7

* scénarios « AME » et « PNLCC » de la 3^e communication nationale

** source : MIES-MATE – Programme national de lutte contre le changement climatique

En première analyse, les mesures techniques et réglementaires du PNLCC conduisent donc à des réductions d'émissions de CO₂ du secteur bâtiments de 13,1 MtCO₂ dans le résidentiel et 2,5 MtCO₂ dans le tertiaire en 2010 (hors électricité), soit globalement 15,6 MtCO₂, par rapport au « sans mesure ». Les mesures existantes en application au 31/12/1999 devraient quant à elles permettre d'économiser 7,5 MtCO₂.

Ces réductions d'émissions imputables à l'ensemble des mesures (y compris fiscales) seraient obtenues de façon concomitante à des diminutions des coefficients budgétaires des ménages (usages énergétiques dans les logements) et du tertiaire par rapport au scénario sans mesure. Dans le secteur résidentiel, le coefficient budgétaire baisserait ainsi à 2,39 % en 2010 contre 2,63 % en 1997. Dans le tertiaire, il baisserait à 1,20 % en 2010 contre 1,35 % en 1990. On peut donc considérer que ces réductions d'émissions sont en tout état de cause un maximum envisageable, sauf à remettre en question l'ensemble du système de préférences des ménages.

On peut considérer par contre qu'il ne faille pas nécessairement s'attendre à des réductions moindres des émissions au titre des effets-rebond, et ce pour deux raisons :

- une partie des réductions d'émissions sera obtenue grâce à des investissements additionnels de la part des ménages et du secteur tertiaire : les charges de remboursement compenseront en partie les

réductions de dépenses énergétiques qui sont à l'origine de la baisse relative des coefficients budgétaires ;

- on a retenu l'hypothèse d'une amélioration sensible du confort thermique des logements, dans tous les scénarios ; cette hypothèse ne permet pas d'envisager un effet comportemental significatif additionnel du fait de la baisse des coefficients budgétaires.

Comparées aux chiffres avancés dans les documents de la MIES¹³⁵, les estimations d'économies de CO₂-énergie de la 3^e communication nationale conduisent aux commentaires suivants, relatifs à l'année 2010 :

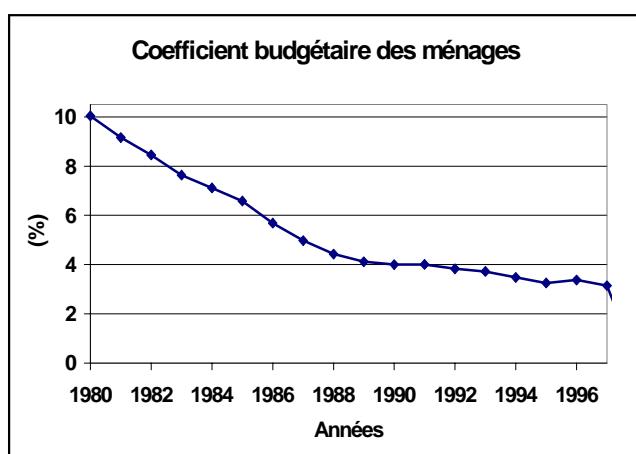
- l'agrégation des impacts estimés par la MIES des mesures anciennes et nouvelles donne des économies de CO₂-énergie inférieures de 2 Mtep à celles du scénario PNLCC de la 3^e communication nationale ;
- si l'on enlève les mesures fiscales, l'écart entre les estimations MIES et les estimations de la 3^e communication nationale est porté à 6 Mtep ;
- les valeurs prises par les coefficients budgétaires du résidentiel et du tertiaire dans le scénario PNLCC de la 3^e communication nationale sont inférieures à celles prises dans le scénario « sans mesure », malgré la prise en compte des mesures fiscales. En conséquence, il n'est pas légitime d'agréger l'impact spécifique attribué à la TGAP avec ceux attribués par ailleurs aux autres mesures prises séparément (risque manifeste de double compte dans le document PNLCC de la MIES pour les mesures nouvelles).

(135) MIES-MATE – Programme national de lutte contre le changement climatique 2000/2010 - Paris, 2000.

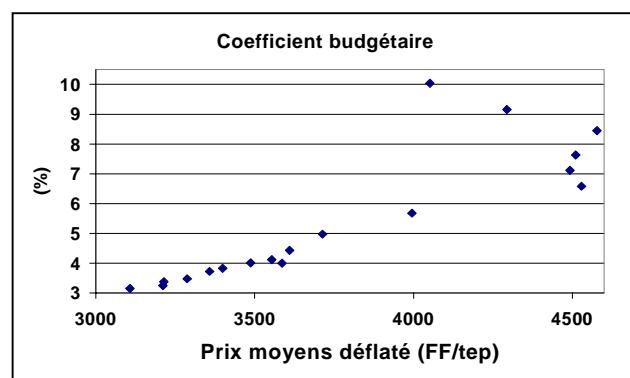
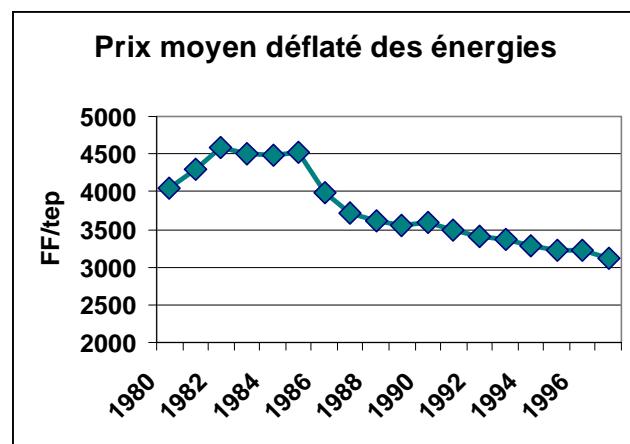
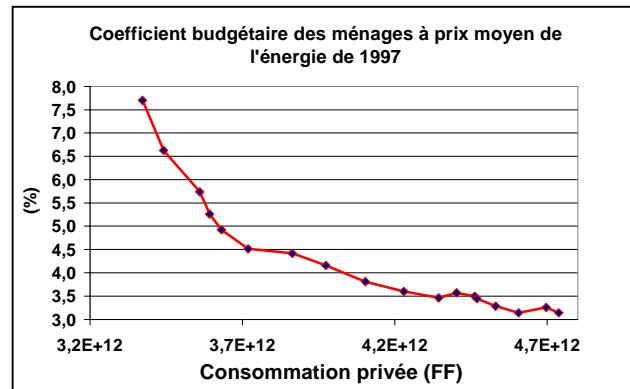
L'évaluation des paquets de mesures

Analyse historique des coefficients budgétaires du résidentiel et du tertiaire

Figure 3
Historique du coefficient budgétaire¹³⁶ des ménages



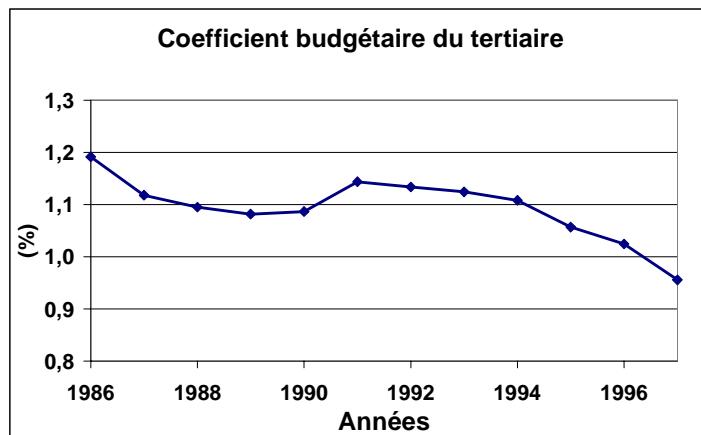
(136) Le coefficient budgétaire des ménages est défini comme le rapport des dépenses énergétiques hors carburants des ménages à la consommation privée des ménages. Sauf mention contraire, il est calculé à valeurs courantes. L'historique est basé sur les données de l'INSEE. Les projections sont calculées par MEDEE-ME sur la base des consommations par énergie en Mtep et de prix moyens des énergies aux ménages, hors inflation.



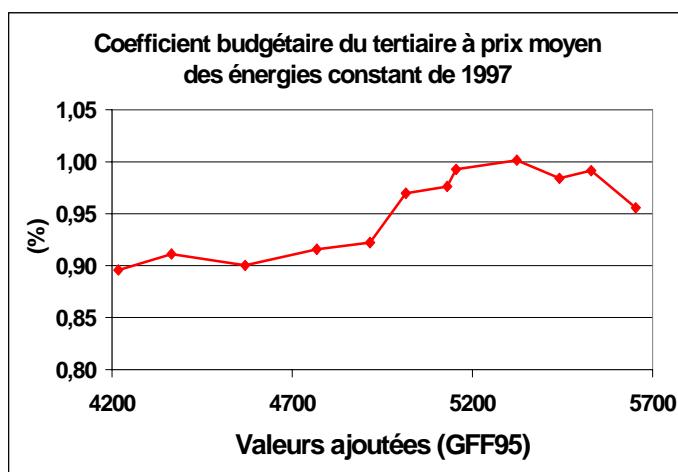
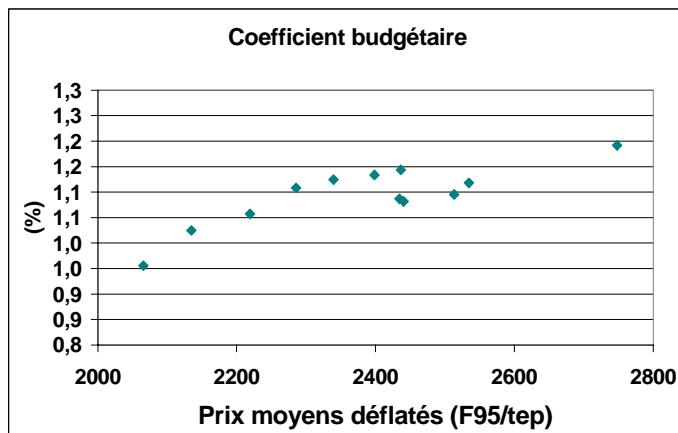
Les graphiques ci-dessus appellent les observations suivantes relatives au secteur résidentiel :

- a)** Le coefficient budgétaire des ménages (usages énergétiques des logements) montre en général une forte sensibilité au prix moyen de l'énergie, selon une relation quasiment linéaire de l'un à l'autre, du moins quand les prix restent au-dessous d'un certain seuil (4 000 F 95/tep). Cette forte élasticité du coefficient budgétaire révèle une faible réactivité de la consommation finale énergétique aux variations de prix en règle générale.
- b)** La période du second choc pétrolier (1979-1981) montre toutefois l'existence d'un seuil de résistance du coefficient budgétaire quand les prix de l'énergie deviennent élevés (autour de 8 % de la consommation privée des ménages avec les conventions de mesure ci-dessus). Ce seuil révèle que des mécanismes d'ajustement de la consommation finale énergétique (par la technologie, par les comportements) se sont mis en place lorsque les prix ont atteint des niveaux élevés. Rien ne permet cependant de conclure sur les rôles respectifs des prix et des actions d'incitation à la maîtrise de l'énergie dans la mise en place de ces mécanismes.
- c)** A prix moyen de l'énergie constant, le coefficient budgétaire des ménages baisse à mesure que la consommation privée s'élève, avec un rythme de décroissance qui se ralentit progressivement.

Figure 4
Historique du coefficient budgétaire¹³⁷ du tertiaire



(137) Le coefficient budgétaire du tertiaire est défini comme le rapport des dépenses énergétiques hors carburants du tertiaire à la valeur ajoutée du tertiaire. Sauf mention contraire, il est calculé à valeurs courantes. L'historique est basé sur les données de l'INSEE. Les projections sont calculées par MEDEE-ME sur la base des consommations par énergie en Mtep et de prix moyens des énergies au tertiaire, hors inflation.



Les graphiques ci-dessus appellent les observations suivantes relatives au secteur tertiaire :

- a) Le coefficient budgétaire du tertiaire montre une sensibilité incontestable au prix moyen de l'énergie, selon une relation quasiment linéaire de l'un à l'autre. Cette forte élasticité du coefficient budgétaire révèle une faible réactivité de la consommation finale énergétique aux variations de prix en règle générale.

b) A prix moyen de l'énergie constant, le coefficient budgétaire du tertiaire semble suivre une courbe en cloche à mesure que la valeur ajoutée s'élève, la tendance est maintenant à la baisse.

Ces observations historiques demandent à être confirmées et quantifiées par une analyse économétrique plus poussée. Elles donnent toutefois un double éclairage :

- sur la pertinence des variations tendancielles futures des coefficients budgétaires du tertiaire et des ménages inscrites dans le scénario sans mesure ;
- sur l'impact spécifique que l'on peut attendre des mesures fiscales sur les consommations énergétiques et les émissions de CO₂ du résidentiel et du tertiaire, au-delà des impacts des paquets de mesures techniques.

Analyse des paquets de mesures

Les tableaux ci-après synthétisent les résultats correspondant à la mise en œuvre séparée des différents paquets de mesures, dans le résidentiel et le tertiaire.

Pour chacun de ces paquets et de ces secteurs, on indique leurs impacts sur les consommations énergétiques, sur les émissions de CO₂ et sur les coefficients budgétaires.

L'impact des prix des énergies sur la consommation du résidentiel et du tertiaire n'est pas simulé de façon endogène dans MEDEE-ME : il n'y a donc pas d'effet mécanique à attendre de la prise en compte des mesures fiscales sur les consommations et les émissions calculées par MEDEE-ME. En revanche, la prise en compte de ces mesures fiscales modifie le calcul des coefficients budgétaires : la comparaison des impacts des paquets de mesures sur les coefficients budgétaires intègre donc les mesures fiscales dans le paquet de mesures.

Tableau 13
Impacts des paquets de mesures sur l'énergie et le CO₂
par rapport au « sans mesure », résidentiel

Mtep,MtCO ₂	Réglementation thermique neuf		Bois		Chauffage urbain		Isolation log. anciens		PNLCC	
	2010	2020	2010	2020	2010	2020	2010	2020	2010	2020
Fioul	0,31	0,53	0,01	0,01	0,10	0,30	1,15	1,50	1,5	2,2
Gaz	0,50	1,13	0,43	0,64	0,17	0,21	2,03	3,46	3,0	5,1
Charbon	0,04	0,08	- 0,04	- 0,02	0,24	0,44	0,09	0,10	0,3	0,4
GPL	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03	0,0	0,1
Electricité	0,21	0,62	0,00	0,01	0,28	0,43	1,05	1,51	5,0	8,3
Autres	0,06	0,08	- 1,26	- 1,98	- 2,27	- 3,35	0,48	0,60	- 3,2	- 4,2
Total Mtep	1,12	2,47	- 0,86	- 1,34	- 1,48	- 1,97	4,82	7,20	6,6	11,8
MtCO ₂	2,3	4,8	0,9	1,5	1,7	3,2	8,9	13,4	13,1	20,8

Tableau 14
Impacts des paquets de mesures sur l'énergie et le CO₂
par rapport au « sans mesure », tertiaire

Mtep,MtCO ₂	Réglementation thermique neuf		Chauffage urbain		Isolation bâtiments anciens		PNLCC	
	2010	2020	2010	2020	2010	2020	2010	2020
Fioul	0,05	0,05	0,19	0,41	0,03	0,02	0,3	0,5
Gaz	0,17	0,40	0,11	0,17	0,13	0,27	0,4	0,8
Charbon	0,03	0,03	0,16	0,24	0,01	0,01	0,2	0,3
Electricité	0,18	0,37	0,03	0,05	0,11	0,20	3,9	11,3
Autres	0,01	0,01	- 0,55	- 0,98	0,00	0,01	- 0,5	- 0,9
Total, Mtep	0,44	0,86	- 0,06	- 0,11	0,28	0,51	4,2	12,0
MtCO ₂	0,7	1,2	1,5	2,7	0,4	0,7	2,5	4,5

Figure 5
Impacts des paquets de mesures sur le coefficient budgétaire du résidentiel par rapport au « sans mesure »

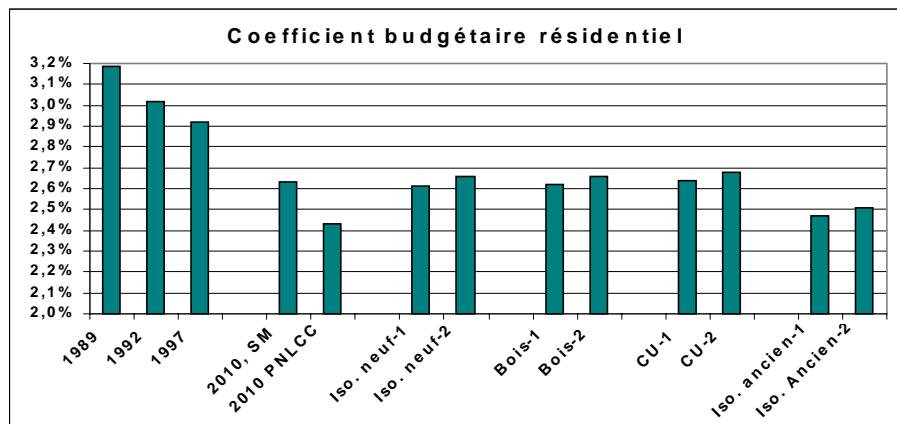


Tableau 15
Impacts des paquets de mesures sur le coefficient budgétaire du tertiaire par rapport au « sans mesure »

%	2010	2020
Réglementation thermique neuf	1,40	1,35
Chauffage urbain	1,42	1,38
Isolation logements anciens	1,41	1,36
Sans mesure	1,35	1,32
PNLCC	1,26	1,02

L'examen de ces résultats appelle les commentaires suivants :

a) Le paquet « isolation des bâtiments anciens » est de loin le plus important au regard des impacts attendus sur les économies d'énergie et les émissions de CO₂ dans le **secteur résidentiel** : 4,8 Mtep et 8,9 MtCO₂ par rapport au « sans mesure » en 2010 (73 % des économies totales d'énergie attendues de l'ensemble des mesures en 2010, 64 % des économies totales de CO₂).

Le paquet « réglementation thermique dans le neuf » a des impacts qui commencent également à être significatifs à cet horizon : économies de

1,1 Mtep (17 % des économies totales d'énergie attendues de l'ensemble des mesures) et 2,3 MtCO₂ (17 % des économies totales de CO₂). Toutefois, les deux tiers de cet impact sont à mettre au compte de l'accélération du remplacement de logements anciens par de nouveaux logements mieux isolés, notamment collectifs.

Les paquets « bois » et « chauffage urbain » contribuent à une hausse de la consommation d'énergie du fait des rendements plus faibles des énergies mobilisées (0,9 Mtep et 1,5 Mtep respectivement pour le bois et le chauffage urbain)¹³⁸. En revanche ils contribuent effectivement aux économies de CO₂, à raison de 0,9 et 1,7 MtCO₂ respectivement pour le bois et le chauffage urbain (6 % et 12 % des économies totales d'énergie et de CO₂ attendues de l'ensemble des mesures).

b) Dans le **secteur tertiaire**, c'est le paquet « chauffage urbain » qui a les plus forts impacts sur le CO₂ (1,5 MtCO₂, soit 60 % des économies totales de CO₂ attendues de l'ensemble des mesures) ; ceci malgré une contribution à l'accroissement des consommations énergétiques (très faible, 0,1 Mtep).

Le paquet « isolation des bâtiments anciens » présente la plus faible contribution tant aux économies d'énergie (0,3 Mtep, 7 % du total des économies) qu'aux émissions de CO₂ (0,4 MtCO₂, 18 % du total).

Du fait du rythme soutenu de la construction dans le secteur tertiaire (par rapport au stock en place), le paquet « réglementation thermique dans le neuf » a des impacts nettement plus significatifs : 0,44 Mtep et 0,7 MtCO₂, soit respectivement 11 % et 27 % des économies totales d'énergie et de CO₂ attendues de l'ensemble des mesures.

c) Pour aucun des paquets de mesures, ni dans le résidentiel, ni dans le tertiaire, la pleine intégration des mesures fiscales n'amènerait les coefficients budgétaires au-dessus de leurs niveaux de 1997.

(138) Une partie des économies d'énergie vient des gains d'efficacité dans les usages de l'électricité, lesquels ne sont pas pris en compte dans les paquets de mesures étudiés : ceci explique pourquoi la somme des effets des paquets de mesures sur la consommation énergétique est inférieure aux économies produites par l'ensemble des mesures. Ceci ne vaut pas pour le CO₂.

Dans le **secteur résidentiel**, l'écart à la hausse du coefficient budgétaire par rapport au scénario « sans mesure » est toujours inférieur à 0,05 %. Cette hausse est en tout état de cause voisine ou inférieure à celle qui résulterait du seul fait des mesures fiscales compte tenu de l'élasticité de ce coefficient aux prix. En reprenant en effet l'élasticité mesurée historiquement, l'application des mesures fiscales seules produirait un accroissement du coefficient budgétaire de l'ordre de 0,04 %. La mise en œuvre intégrale de ces mesures fiscales, concurremment avec les autres mesures, n'est donc pas de nature à déclencher d'autres baisses des consommations énergétiques et des émissions de CO₂ au-delà de ce qui a été calculé par MEDEE-ME (on reste de toutes façons très largement au-dessous des seuils de résistance observés historiquement). Dans le **secteur tertiaire**, le constat est globalement le même : les écarts creusés par les paquets de mesures et la TGAP dans les coefficients budgétaires par rapport au scénario sans mesure restent voisins ou inférieurs à l'impact de l'application de la TGAP seule. Dans tous les cas cependant, par leurs effets sur les coefficients budgétaires, les mesures fiscales sont de nature à accroître l'efficience des mesures incitatives.

- d) On a clairement exprimé des doutes quant à la possible occurrence d'effets-rebond dans le scénario PNLCC. Ces doutes restent valables pour tous les paquets de mesures considérés, même hors mesures fiscales : les coefficients budgétaires correspondant à ces paquets de mesures (hors mesures fiscales) sont en effet systématiquement supérieurs au coefficient budgétaire du scénario PNLCC. Si les coefficients budgétaires du scénario PNLCC ne sont pas à même d'induire d'effets-rebond, a fortiori toutes les configurations aboutissant à des coefficients budgétaires supérieurs ne le pourront pas.
- e) L'impact des mesures fiscales seules sur les coefficients budgétaires, toutes choses égales par ailleurs, apparaît faible : faible dans l'absolu, et faible par rapport aux fluctuations historiques à prix constants (hausse relative du coefficient budgétaire inférieure à 2 % dans le résidentiel, à 5 % dans le tertiaire). Cet impact est vraisemblablement insuffisant pour que ces mesures fiscales enclenchent à elles seules des baisses significatives de la consommation d'énergie et des émissions de CO₂ (en tout cas certainement pas de l'ordre de grandeur estimé dans le PNLCC).

f) Du fait des cibles visées, les paquets de mesures ne sont pas toujours indépendants les uns des autres, et leurs impacts ne peuvent pas toujours être cumulés. Les impacts des mesures visant l'isolation du neuf et de l'ancien sont certainement cumulables, ce qui n'est pas le cas de ces mesures et de celles visant les substitutions. Les impacts des mesures sur le résidentiel et sur le tertiaire sont bien évidemment cumulables.

Comme on l'a montré ci-dessus, il n'y a pas lieu d'ajouter un impact spécifique des mesures fiscales au plein effet des autres mesures (tel que calculé par MEDEE-ME).

Le poids relatif des mesures fiscales dans l'obtention du plein effet des réglementations thermiques sur le neuf est probablement négligeable. Il peut être en revanche significatif pour les mesures incitatives. Pour autant on ne sait pas le mesurer.

Tableau 16
Impact des paquets de mesures « bâtiments » : récapitulatif

	3 ^e CN					MIES				
	PNLCC	Neuf	Bois	CU	Ancien	Neuf	Bois	CU	Ancien	TGAP
MtCO ₂	15,6	3,0	0,9	3,2	9,3	1,1	1,7	0,1	7,1	3,7
% *	100 %	18 %	5 %	20 %	57 %	8 %	12 %	1 %	52 %	27 %

* Pourcentage calculé sur la somme des impacts individuels

Les transports

On rappelle que contrairement aux autres secteurs, et pour des raisons historiques (cf. supra), MEDEE-ME prend en compte partiellement des élasticités-prix dans les transports : pour la circulation des voitures et des véhicules utilitaires légers, pour la consommation unitaire moyenne des voitures. En conséquence, contrairement à ce que l'on a vu jusqu'ici, la prise en compte ou non des mesures fiscales dans les paquets de mesures affecte non seulement les coefficients budgétaires, mais également les projections de consommation énergétique et d'émissions de CO₂.

Les paquets de mesures

Cinq paquets de mesures principaux sont considérés :

- les mesures visant à limiter les émissions de CO₂ liées aux déplacements urbains des personnes, ne relevant ni de la technologie ni de la fiscalité ;
- les mesures visant à limiter les émissions de CO₂ liées aux déplacements interurbains des personnes, ne relevant ni de la technologie ni de la fiscalité ;
- les mesures visant à diminuer les consommations spécifiques de carburants des véhicules routiers ;
- les mesures visant à limiter les émissions de CO₂ liées aux déplacements des marchandises, ne relevant ni de la technologie ni de la fiscalité ;
- les mesures fiscales seules.

Chacun des quatre premiers paquets est évalué en deux temps : sans les mesures fiscales et avec les mesures fiscales. L'intérêt de cette double évaluation, au-delà de ce qui a été dit plus haut pour les autres secteurs, est de valider la formalisation des effets-prix dans le modèle et les valeurs attribuées aux élasticités-prix.

Pour les transports de passagers, la prise en compte des mesures fiscales modifie à la fois les consommations énergétiques et les émissions de CO₂ calculées par MEDEE-ME, et les coefficients budgétaires (celui des ménages lié aux carburants automobiles et celui relatif à l'ensemble des carburants utilisés pour le transport des personnes). On pourra en déduire d'une part la pertinence des élasticités utilisées (notamment au regard de la possibilité d'occurrence d'effet-rebond), et d'autre part s'il y a lieu de considérer un impact spécifique supplémentaire de ces mesures fiscales.

Mesures	Etat	Paquet
M2134 Déplacements urbains	X	T1-1
M2135 Déplacements express régionaux	X	
<i>M22263 Priorités transports collectifs</i>		
<i>M22324 Traitement fiscal du carburant utilisé par les transports en commun</i>		
M2244 Accélération du développement des transports en commun et des modes alternatifs urbains		
M2134 Déplacements urbains	X	
<i>M22333 La tarification des déplacements urbains</i>		
M2115 Loi sur l'air et PDU	X	
M2111 Rattrapage de la fiscalité sur le gazole	X	

Mesures	Etat	Paquet
M2136 Développement du réseau TGV	X	T2-1
<i>M22252 Amélioration de l'intermodalité air/transport collectifs</i>		
M2135 Déplacements express régionaux	X	
M2136 Développement du réseau TGV	X	
<i>M22253 Pré et Post acheminement par train rapide</i>		
M2242 Autres aspects de l'offre d'infrastructure interurbaine		
M2136 Développement du réseau TGV	X	
M2111 Rattrapage de la fiscalité sur le gazole		
<i>M22323 Ecarts de taxation entre carburants</i>		

Mesures	Etat	Paquet
M2122 Développement du transport intermodal de marchandises	X	T4-1
<i>M22314 Participer au développement du transport combiné en favorisant les groupements de chargeurs</i>		
M2241 Concertation européenne sur l'organisation de l'espace communautaire		
M2242 Autres aspects de l'offre d'infrastructures interurbaines		
M2243 Installations intermodales pour le transport combiné		
M2111 Rattrapage de fiscalité sur le gazole	X	T4-2
<i>M22323 Ecarts de taxation entre carburants</i>		
<i>M22331 Internalisation des coûts du carbone dans la fiscalité des carburants</i>		
<i>M22332 Prix du carbone en 2010, basé sur le prix de référence du carbone à cette date</i>		

Déplacements urbains des personnes

L’ensemble des mesures contenues dans ce paquet s’articule en fait autour de la mise en application de la loi sur l’air, et de son corollaire, les Plans de déplacements urbains (PDU). Ces mesures ont pour objet principal de limiter l’accroissement du trafic urbain des voitures particulières (objectif de – 15 % par rapport à la tendance), en combinant des dissuasions à l’utilisation de la voiture avec un soutien à l’offre de modes de déplacement alternatifs, transports collectifs et modes « doux ».

Déplacements interurbains des personnes

L’essentiel des mesures contenues dans ce paquet s’articule autour de la promotion du transport ferroviaire de passagers, régional et national (TGV). Ces mesures ont pour objet principal de produire un report de trafic des passagers des voitures particulières vers le train, en combinant des dissuasions à l’utilisation de la voiture avec un soutien à l’offre de transport ferroviaire.

Technologie des véhicules routiers

Le cœur des mesures contenues dans ce paquet est l'accord volontaire signé entre les constructeurs automobiles européens en 1998 et la Commission européenne (accord ACEA).

Cet accord prévoit que l'émission moyenne de CO₂ des voitures particulières mises sur le marché en 2008 ne devra pas dépasser 140g/km, seuil devant être abaissé à 120g/km en 2012. Outre l'accord lui-même, les mesures de ce paquet visent d'une part à assurer la bonne fin de l'accord et limiter autant que faire se peut les causes non contractuelles de sur-émissions (climatisation par exemple), d'autre part à assurer une perméabilité des avancées techniques réalisées à l'occasion de cet accord vers les véhicules utilitaires légers, enfin à promouvoir les gains d'efficacité dans les véhicules utilitaires lourds (camions essentiellement).

Les déplacements de marchandises

L'essentiel des mesures contenues dans ce paquet s'articule autour de la promotion du transport combiné rail-route. Ces mesures ont pour objet principal de produire un report de trafic des marchandises de la route vers le rail, essentiellement en contribuant à développer une offre de transport ferroviaire attractive, en qualité et en rapidité, et financièrement attractive.

Il n'y a pas de mécanisme endogène de réaction aux prix de l'énergie dans le module transport de marchandises de MEDEE-ME. La prise en compte des mesures fiscales, en plus des mesures destinées à promouvoir l'utilisation du rail, devrait indiquer jusqu'à quel point la hausse des prix des carburants qui en résultera sera de nature à renforcer le basculement vers le rail, voire s'il y a lieu de considérer un impact spécifique de ces mesures fiscales au-delà de l'impact du transfert modal.

Les résultats d'ensemble de la 3^e communication nationale

Tableau 17
Projections de trafics, 3^e CN

	1990	1997	Sans mesure		Avec mes. exist.		PNLCC	
		(AME)	2010	2020	2010	2020	2010	2020
Route								
Voiture Gvkm	312	367	484	551	466	526	440	483
VUL Gvkm	69	79	109	139	108	137	105	133
Camions Gtkm	176	220	313	395	293	359	262	282
Bus Gpkm	41	42	50	52	56	63	52	54
Fer								
Passagers Gpkm	74	72	81	88	91	108	100	128
Marchand Gtkm	51	52	48	45	67	78	96	150
Voies d'eau Gtkm	7	5	4	4	6	7	8	11
Air								
Interieur Gpkm	9	9	16	24	15	20	14	19
Internati.Mpass	39	52	95	121	95	121	95	121

Tableau 18
Projections de consommation énergétique et d'émissions de CO₂
3^e CN, transports

Mtep, MtCO ₂	1990	1997	Sans mesure		Avec mes. exist.		PNLCC	
		(AME)	2010	2020	2010	2020	2010	2020
Essence	18,8	15,8	14,8	16,1	13,4	14,5	12,2	11,6
Gazole, fioul léger	16,9	23,7	35,0	40,9	31,3	35,4	27,6	27,4
Carburéacteurs	4,0	5,0	7,8	9,2	7,7	9,0	7,7	8,8
Fioul lourd	1,8	2,2	2,5	3,0	2,5	3,0	2,5	3,0
Electricité	1,9	2,2	2,7	3,3	3,4	4,8	3,8	6,1
Total Mtep	43,4	48,8	62,9	72,4	58,4	66,5	53,8	56,9
MtCO ₂	115	129	163	189	147	165	131	130

Tableau 19
Economies d'énergie finale et de CO₂ par rapport au scénario
« sans mesure » 3^e CN, transport

Mtep	Mesures exist.		PNLCC	
	2010	2020	2010	2020
Essence	1,4	1,6	2,6	4,5
Gazole, fioul léger	3,7	5,5	7,4	13,5
Carburéacteurs	0,1	0,3	0,2	0,4
Fioul lourd	0,0	0,0	0,0	0,0
Électricité	- 0,7	- 1,5	- 1,0	- 2,8
Total	4,5	5,9	9,0	15,6
MtCO ₂	16,3	24,0	32,0	58,5

Tableau 20
Comparaison des économies d'émissions de CO₂-énergie
3^e CN et PNLCC

3 ^e CN		Mesures PNLCC **		
AME *	PNLCC *	Anciennes	Nouvelles	dont TGAP
16,3	26,8	22,5	14,7	5,1

* scénarios « AME » et « PNLCC » de la 3^e communication nationale

** source : MIES-MATE – Programme national de lutte contre le changement climatique

Tableau 21
Coefficients budgétaires transport, 3^e CN

Mtep, MtCO ₂	1990	1997	Sans mesure		Avec mes. exist.		PNLCC	
	(AME)		2010	2020	2010	2020	2010	2020
VUL	0,47	0,54	0,52	0,56	0,52	0,53	0,57	0,57
Camions	0,44	0,51	0,46	0,46	0,42	0,39	0,43	0,40
Total marchand	1,04	1,17	1,07	1,09	1,06	1,03	1,14	1,14
Automobile	3,22	3,22	2,84	2,62	2,66	2,43	2,53	2,04
Total passagers	3,53	3,53	3,13	2,92	2,99	2,78	2,88	2,41
Ensemble transp	3,22	3,35	2,98	2,86	2,89	2,71	2,90	2,59

Note : par souci de cohérence des évolutions dans le temps, les coefficients budgétaires présentés ici pour 1990 et 1997 sont ceux calculés par MEDEE-ME

En première analyse, les mesures techniques et réglementaires du PNLCC conduisent à des réductions d'émissions de CO₂ du secteur transport de 32 Mt CO₂ en 2010 par rapport au « sans mesure » (hors

électricité, transport maritime et transport aérien international). Les mesures existantes en application au 31/12/99 devraient quant à elles permettre d'économiser 16,3 MtCO₂ (4,4 MtC).

Les réductions d'émissions du fait de l'ensemble des mesures (y compris fiscales) seraient obtenues concurremment avec des diminutions des coefficients budgétaires pour le transport des passagers, en particulier la voiture individuelle, et une hausse des coefficients budgétaires du transport de marchandises. Le coefficient budgétaire des ménages (carburants automobiles) baisserait ainsi à 2,53 % en 2010 contre 2,84 % en 1997 ; celui du transport de marchandises augmenterait à 1,13 % en 2010 contre 1,07 % en 1997. On peut donc considérer que ces réductions d'émissions sont en tout état de cause un maximum envisageable pour le transport de personnes, sauf à remettre en question l'ensemble du système de préférences des ménages ; elles peuvent être en revanche sous-estimées pour le transport de marchandises.

Il faut probablement s'attendre à des réductions moindres des émissions au titre des effets-rebond dans le transport individuel de personnes, pour deux raisons :

- il n'y a pas de surcoût significatif d'usage de la voiture (voire même l'inverse) en regard des réductions de dépenses énergétiques, qui puisse expliquer une baisse relative du coefficient budgétaire « carburant voiture » ;
- il existe une aspiration à plus de mobilité individuelle, que l'on peut estimer au plus comme la différence de kilométrage moyen des voitures entre deux situations : d'un côté, le scénario sans mesure (15 400 km/an en 2010) auquel on peut retrancher l'effet du report sur le TGV (environ 300 km/an), et de l'autre, le scénario PNLCC (14 200 km/an en 2010).

Du fait d'un écart relatif du coefficient budgétaire de 12 % entre le scénario sans mesure et le PNLCC, il existe un potentiel d'effet-rebond sur le kilométrage de l'ordre de 6 % des consommations de carburants des voitures. Cet effet-rebond équivaut à 4,2 MtCO₂, ce qui limiterait la baisse d'ensemble des émissions de CO₂ à 7,6 MtCO₂.

Comparées aux chiffres avancés dans les document de la MIES¹³⁹, les estimations d'économies de CO₂-énergie de la 3^e communication nationale conduisent aux commentaires suivants, relatifs à l'année 2010 :

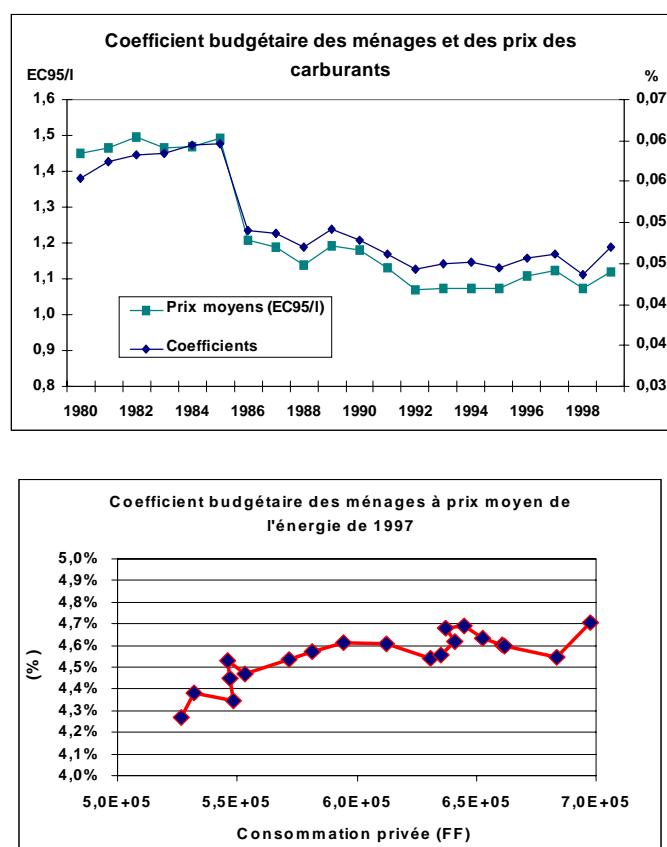
- l'agrégation des impacts estimés par la MIES des mesures anciennes et nouvelles dépasse de 10,4 MtCO₂ les économies de CO₂-énergie du scénario PNLCC de la 3^e communication nationale, avant prise en compte de l'éventuel effet-rebond ;
- cet écart est deux fois plus élevé que l'estimation faite par la MIES du seul impact des mesures fiscales ;
- la valeur prise par le coefficient budgétaire du transport dans le scénario PNLCC de la 3^e communication nationale, inférieure à celle prise dans le scénario « sans mesure » malgré la prise en compte de toutes les mesures fiscales. En conséquence, il n'est pas légitime d'agréger l'impact spécifique attribué à la TGAP avec ceux attribués par ailleurs aux autres mesures prises séparément (risque manifeste de double compte dans le document PNLCC de la MIES pour les mesures nouvelles).

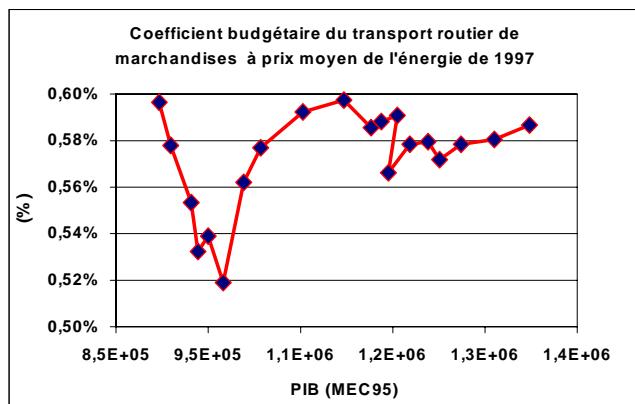
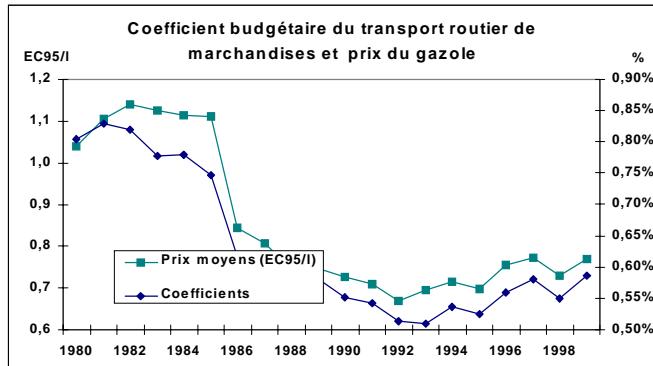
(139) MIES-MATE – Programme national de lutte contre le changement climatique 2000/2010 - Paris, 2000.

L'évaluation des paquets de mesures

Analyse historique du coefficient budgétaire du transport

Figure 6
Historique des coefficients budgétaires « transports »





Les graphiques ci-dessus appellent les observations suivantes :

- a) D'une façon générale, les coefficients budgétaires des transports suivent assez étroitement les variations des prix moyens des carburants, la variation de l'un étant quasiment proportionnelle à la variation de l'autre. Cette forte élasticité des coefficients budgétaires révèle une faible réactivité de la consommation de carburants aux variations de prix en règle générale sur les vingt dernières années, tant pour les voitures que les transports de marchandises.
- b) La période du second choc pétrolier (1979-1981) montre toutefois l'existence d'un seuil de résistance du coefficient budgétaire pour le transport de marchandises quand les prix des carburants deviennent très élevés (autour de 0,85 % du PIB avec les conventions de mesure ci-dessus). Ce seuil révèle que des mécanismes d'ajustement de la

consommation de carburants (par la technologie, par la gestion, par les transferts modaux) se sont mis en place lorsque les prix ont atteint des niveaux élevés.

c) A prix moyen de l'énergie constant, le coefficient budgétaire des ménages (carburants voiture) montre une tendance légèrement croissante en fonction de la consommation privée, avec des fluctuations très faibles autour de ce trend (plus ou moins 3 % en termes relatifs). Pour le transport de marchandises, à prix du gazole constant, on observe que le coefficient budgétaire reste globalement constant au cours du temps, indépendamment du PIB, avec toutefois des fluctuations pouvant être nettement plus fortes à la baisse (jusqu'à 10 %). On pourrait toutefois interpréter l'évolution depuis 1981 comme la manifestation discrète des effets combinés des variations de prix et des incitations aux économies d'énergie : baisse rapide du coefficient budgétaire jusqu'au contre-choc pétrolier de 1986, remontée rapide ensuite.

Ces observations historiques demandent à être confirmées et quantifiées par une analyse économétrique plus poussée. Elles donnent toutefois un triple éclairage :

- sur la pertinence des variations tendancielles futures des coefficients budgétaires des transports inscrites dans le scénario sans mesure ;
- sur l'impact spécifique que l'on peut attendre des mesures fiscales sur les consommations énergétiques et les émissions de CO₂ du transport, au-delà des impacts calculés par MEDEE-ME ;
- sur la validité des élasticités-prix prises en compte.

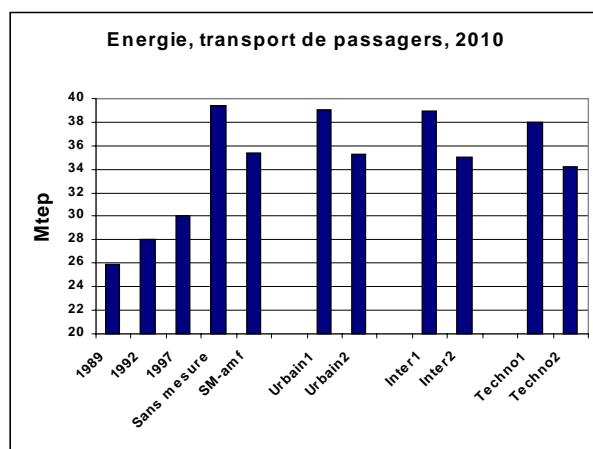
Analyse des paquets de mesures

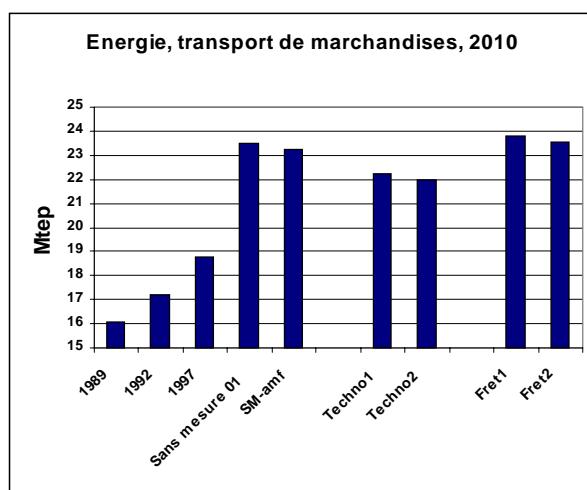
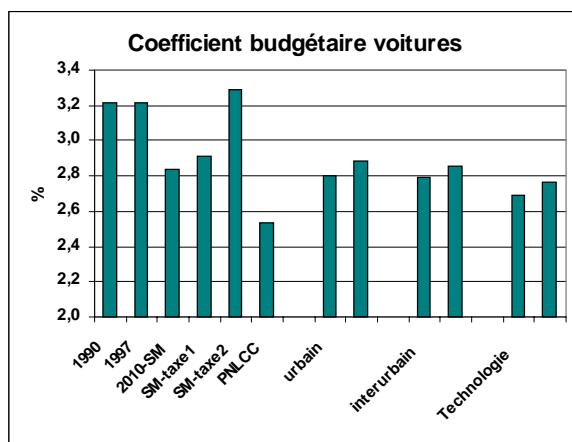
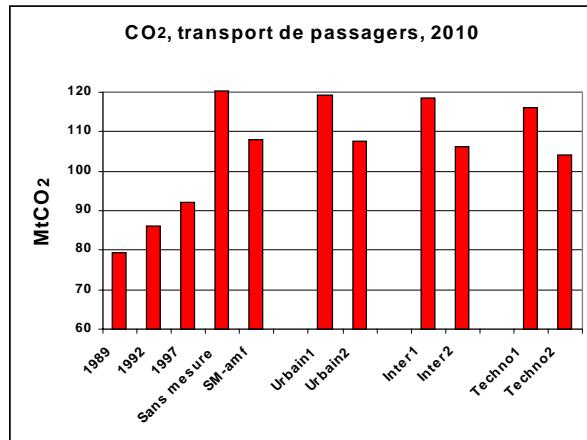
Les tableaux ci-après synthétisent les résultats correspondant successivement à la mise en œuvre séparée des différents paquets de mesures.

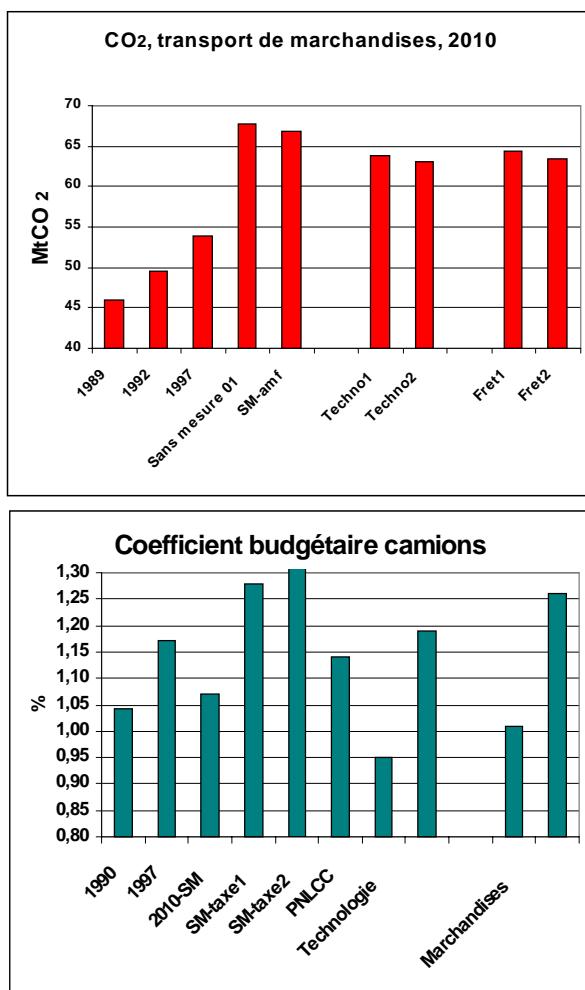
Pour chacun de ces paquets et ces secteurs, on indique leurs impacts sur les consommations énergétiques, sur les émissions de CO₂ et sur les coefficients budgétaires.

Contrairement au transport de personnes, l'impact des prix des énergies sur la consommation d'énergie du transport de marchandises n'est pas simulé de façon endogène dans MEDEE-ME, il n'y a donc pas d'effet mécanique à attendre de la prise en compte des mesures fiscales sur les consommations et les émissions calculées par MEDEE-ME. En revanche, la prise en compte de ces mesures fiscales modifie le calcul des coefficients budgétaires : la comparaison des impacts des paquets de mesures sur les coefficients budgétaires intègre donc les mesures fiscales dans le paquet de mesures.

Figure 7
Impacts des paquets de mesures « transports » en 2010







L'examen de ces graphiques appelle les commentaires suivants :

- a) Hors mesures fiscales, le paquet « technologie des véhicules routiers » est de loin le plus important au regard des impacts attendus sur les économies d'énergie et les émissions de CO₂ : 1,4 Mtep et 4,4 MtCO₂ d'économies par rapport au « sans mesure » en 2010 pour les passagers, 1,3 Mtep et 3,9 MtCO₂ pour les marchandises, soit 2,7 Mtep et 8,3 MtCO₂ pour l'ensemble des transports (87 % des économies totales)

d'énergie attendues de l'ensemble des mesures en 2010, 57 % des économies totales de CO₂).

Avec respectivement 0,3 Mtep et 0,4 Mtep d'économies (1,2 et 1,9 MtCO₂), les paquets relatifs au transport urbain et interurbain des personnes sont nettement en retrait. Le paquet de mesures relatives au transport de fret conduit à une consommation d'énergie légèrement plus élevée (0,3 Mtep, du fait du report sur le ferroviaire électrique et du mode de comptabilisation de l'électricité), en revanche son impact sur le CO₂ est sensible : 3,4 MtCO₂ d'économies.

b) Avec les élasticités-prix considérées pour la circulation des voitures et des VUL, et pour les consommations spécifiques des voitures, l'impact des mesures fiscales apparaît majeur, tant sur l'énergie que sur le CO₂ : 4 Mtep et 12,4 MtCO₂ pour les passagers, 0,3 Mtep et 0,8 MtCO₂ pour les marchandises, soit 4,3 Mtep et 13,2 MtCO₂ pour l'ensemble des transports.

On observe cependant que la prise en compte de ces mesures fiscales via les élasticités-prix conduit à des évolutions des coefficients budgétaires qui sont doublement en rupture par rapport aux évolutions historiques : baisse du coefficient budgétaire carburant des ménages à prix constant dans le scénario sans mesure (alors que le trend historique est en hausse), faible réactivité du coefficient budgétaire au prix moyen des carburants (alors que l'élasticité historique est élevée).

La première rupture pourrait trouver partiellement une explication dans l'apparition de phénomènes de saturation dans l'équipement automobile et son utilisation (notamment dans le premier équipement) : ceci demanderait toutefois à être approfondi.

La seconde rupture paraît beaucoup plus douteuse, a fortiori si l'on tient compte de l'impact des autres paquets de mesures. Un calcul fait sur la base d'élasticités nulles conduit, dans le scénario sans mesure, à un coefficient budgétaire des ménages à peine supérieur à sa valeur de 1997 lorsqu'on applique les seules mesures fiscales : même avec de telles élasticités, la valeur prise par le coefficient budgétaire resterait inférieure à celle qui aurait résulté d'une simple extrapolation sur la base de la consommation privée des ménages et des prix des carburants.

Il y a donc tout lieu de penser que l'effet calculé des mesures fiscales via les élasticités-prix est surévalué, ou à tout le moins est redondant avec les effets des autres paquets de mesures. Traduit différemment, ce constat revient à considérer comme très probable l'occurrence d'un effet-rebond, évalué lors de la préparation de la 3^e communication nationale à 4,2 MtCO₂.

c) Le constat est inverse pour le transport routier de marchandises et les VUL : la pleine intégration des mesures fiscales amènerait, dans le scénario sans mesure, le coefficient budgétaire au-dessus de son niveau de référence historique, laissant supposer l'apparition de forces correctrices, comme celles qui ont joué au début des années 1980. C'est bien ce que montre le scénario « PNLCC » de la 3^e communication nationale : la pleine intégration des mesures fiscales *concurrentement* avec toutes les autres mesures laisserait le coefficient budgétaire voisin de son niveau historique, et ne serait donc pas de nature à déclencher d'autres mécanismes d'ajustement des consommations énergétiques et des émissions de CO₂ que ceux relevant de ces mesures (technologie et transfert modal). Ceci vaut également pour le seul paquet « technologie des véhicules routiers » combiné avec les mesures fiscales, mais non pour le seul paquet « transfert modal ». Dans tous les cas cependant, par leurs effets sur les coefficients budgétaires, les mesures fiscales sont de nature à accroître l'efficience des autres paquets de mesures.

d) Du fait des cibles visées, les paquets de mesures ne sont pas toujours indépendants et leurs impacts ne sont pas toujours cumulables. Les impacts des mesures visant les circulations et les transferts modaux sont certainement cumulables, ce qui n'est pas le cas de ces mesures et de celles visant la technologie, et, bien sûr, les mesures fiscales.

Tableau 22
Impact des paquets de mesures « transports » : récapitulatif sans prise en compte des effets-rebond

	3 ^e CN						MIES				
	PNLCC	Urbain	Inter-urbain	Technologie	Fret	Fiscalité	Urbain	Inter-urbain	Technologie	Fret	Fiscalité
MtCO ₂	15,6	1,2	1,9	8,3	3,4	13,2	5,2	0,6	16,6	7,5	5,1
% *	100 %	4 %	7 %	30 %	12 %	47 %	15 %	2 %	47 %	21 %	15 %

* Pourcentage calculé sur la somme des impacts individuels

Conclusions

Quelques conclusions générales peuvent être tirées de l'analyse séparée des paquets de mesures.

- a)** Mis à part dans l'automobile, les réglementations et les accords volontaires prévus au PNLCC devraient normalement produire les réductions d'émissions de CO₂ escomptées, avec ou sans mise en place des instruments économiques. Sauf pour quelques IGCE, l'instauration des instruments fiscaux ne devrait pas alourdir les dépenses énergétiques au-delà de ce qui se serait naturellement produit en l'absence de toute mesure.
- b)** Dans le cas de l'automobile, il y a tout lieu de penser que la retombée de l'accord ACEA sur les consommations spécifiques sera telle qu'elle rendra inefficaces toutes les mesures visant à limiter l'usage de la voiture, voire la montée en gamme. Ceci reste vrai même en mettant en place les instruments fiscaux. On remarquera toutefois que cette conclusion n'est valable que pour autant que les projections de l'usage de la voiture « sans mesure » établies par le METL (scénario A) sont acceptées. Or ces projections se heurtent à la vraisemblable apparition d'un phénomène de saturation sur le kilométrage moyen des voitures à brève échéance. Si tel était le cas, la circulation des voitures dans le scénario sans mesure serait alors plus basse, l'effet de l'accord volontaire moins prononcé et les effets-rebond quasiment inexistant.
- c)** Les impacts escomptés des autres mesures ne relevant pas des instruments économiques sont en général l'expression des avis d'experts, émis au sein des groupes de travail (bâtiments, transports) ou résultant d'études spécifiques (CEREN). Faute d'indications précises sur les coûts de ces mesures, il est difficile de se prononcer sur le sens précis à attribuer à la baisse des charges énergétiques qui en résulte pour les consommateurs : équilibreront-elles les charges additionnelles en capital en 2010 ? vont-elles au-delà ? Une chose paraît cependant sûre : l'instauration des instruments économiques est de nature à neutraliser l'impact de ces mesures sur les dépenses énergétiques des consommateurs, ce qui peut avoir pour conséquences, l'absence d'effet-

rebond et une plus grande probabilité d'occurrence de l'impact attendu sur les émissions de CO₂.

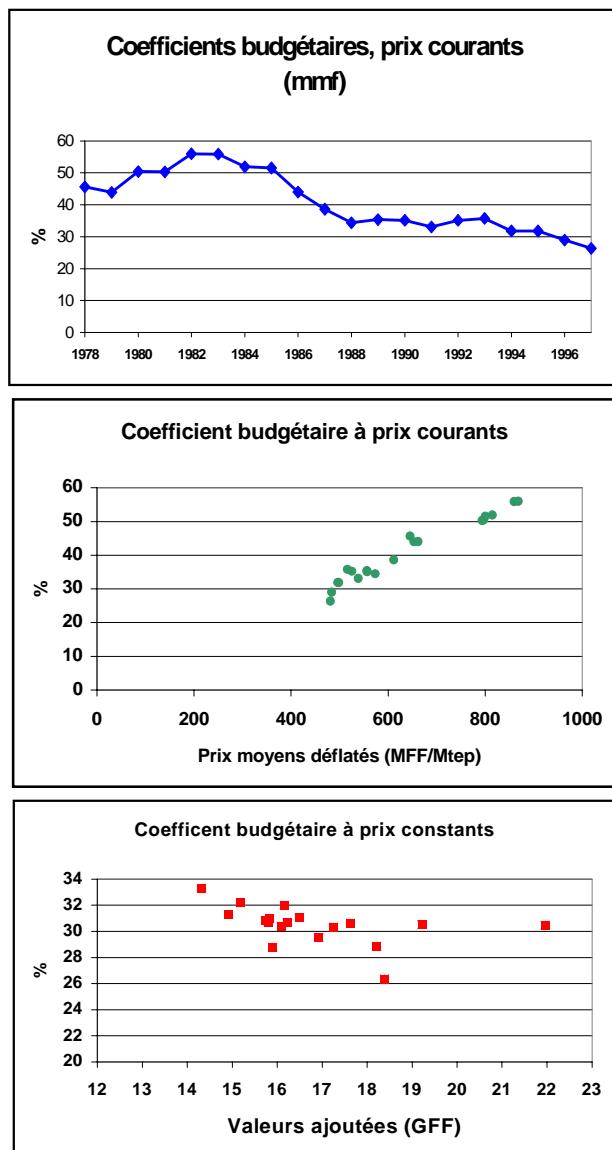
d) Du fait des avis d'experts exprimés dans les groupes de travail, le scénario sans mesure conduit souvent à des inflexions (à la baisse) des coefficients budgétaires par rapport aux tendances historiques (a fortiori le scénario « avec mesures existantes »). Compte tenu des mesures déjà prises, la seule instauration additionnelle des instruments économiques prévus au PNLCC, est de nature à « ramener » l'évolution de ces coefficients budgétaires dans le droit fil de la tendance historique. Cette observation conduit à deux conclusions spécifiques :

- Il n'est pas exclu que les avis d'experts sous-estiment certains phénomènes de comportement dans le scénario sans mesure ou dans l'impact des mesures déjà prises.
- Si tel était le cas, l'effet escompté des instruments économiques pourrait être du même ordre de grandeur que cette sous-estimation : l'instauration des instruments économiques (ou toute autre cause d'accroissement des prix des énergies aux consommateurs finals) deviendrait alors une condition nécessaire pour que les émissions futures de CO₂ soient en phase avec les projections du scénario « avec mesures existantes ».

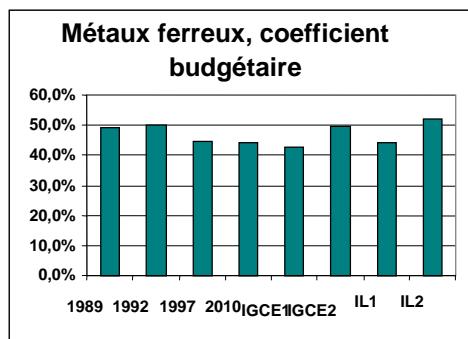
Annexe 1 : Résultats par branche industrielle

Métaux ferreux

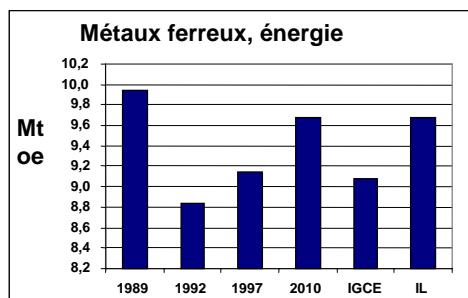
Historique des coefficients budgétaires



b) Projections



- ※ L'effet de la TGAP sur la variation du coefficient budgétaire est supérieur à l'effet de « l'accord volontaire », voisin de l'évolution entre 1992 et 1997.

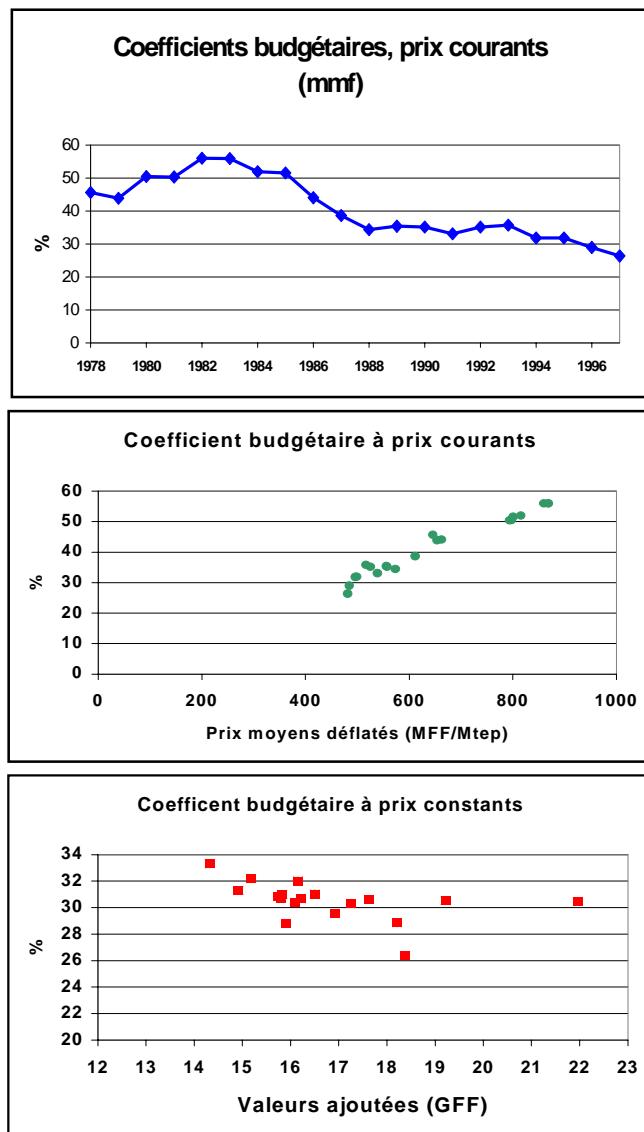


- ※ La TGAP seule pourrait n'avoir aucun effet. Une TGAP réduite en combinaison avec l'accord volontaire pourrait être acceptable pour l'industrie.

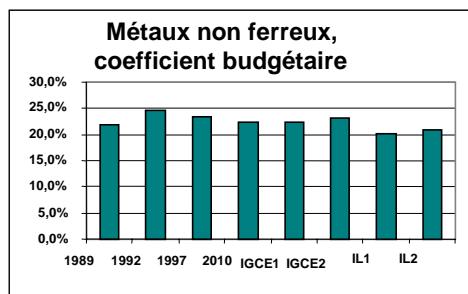
- ※ Cumuler l'effet TGAP et l'effet accord volontaire sur la consommation énergétique poserait problème.

Métaux non ferreux

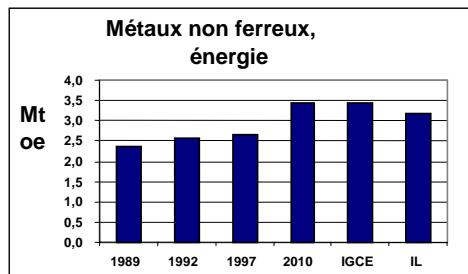
a) Historique



b) Projections



- ※ L'effet de la TGAP sur la variation du coefficient budgétaire est faible par rapport à l'effet des mesures d'incitations.

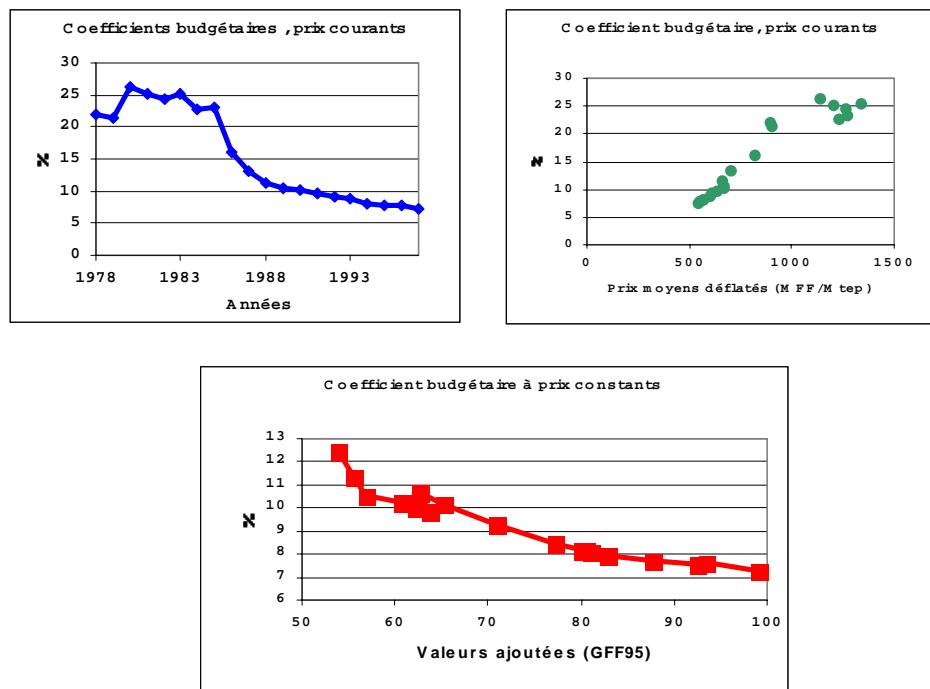


- ※ La TGAP pourrait ne pas être suffisante pour contrecarrer d'éventuels « relâchements » dans la gestion énergétique.

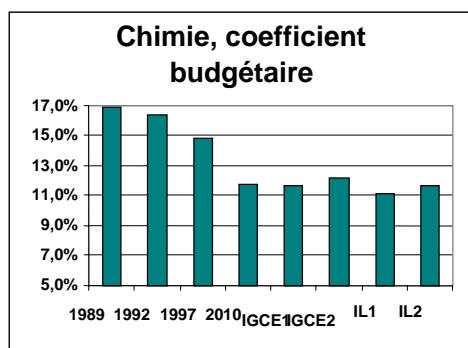
- ※ Cumuler l'effet TGAP et l'effet accord volontaire sur la consommation énergétique serait erroné.

Chimie

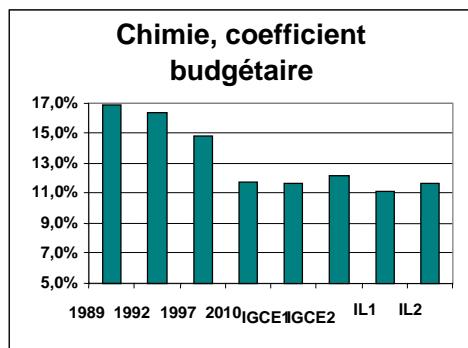
a) Historique des coefficients budgétaires



b) Projections



※ L'effet de la TGAP sur la variation du coefficient budgétaire est faible, similaire à l'effet des mesures d'incitations, très inférieure à la variation 1992/1997.

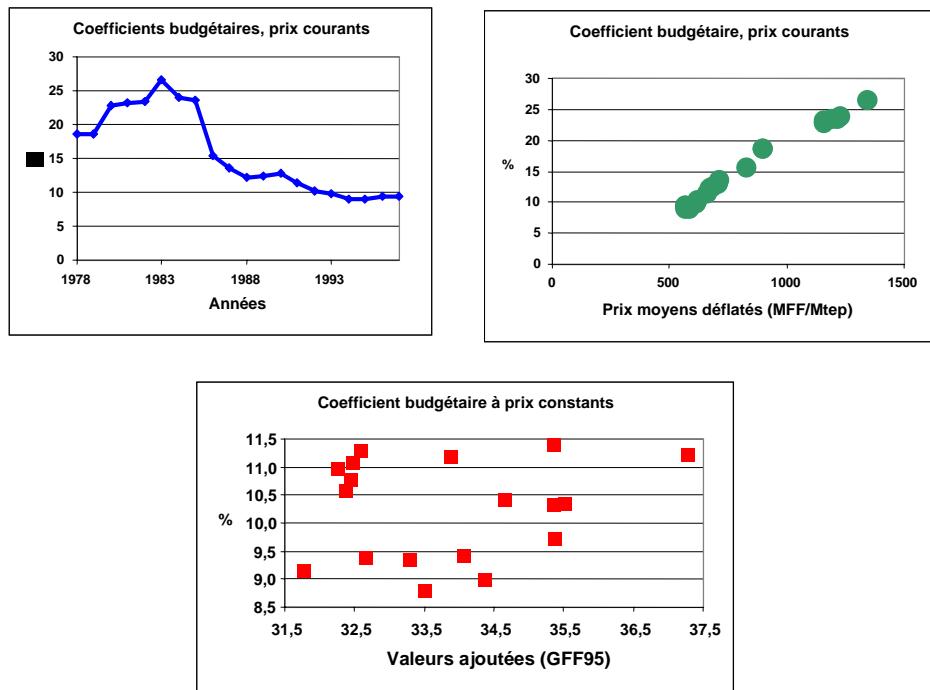


※ La TGAP pourrait ne pas être suffisante pour contrecarrer d'éventuels « relâchements » dans la gestion énergétique.

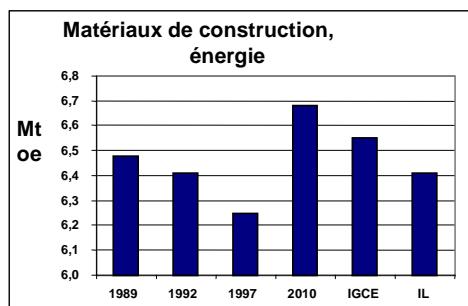
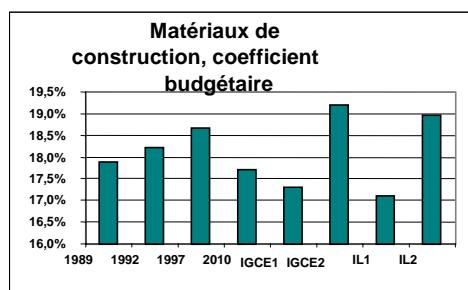
※ Cumuler l'effet TGAP et l'effet accord volontaire sur la consommation énergétique serait erroné.

Matériaux de construction

a) Historique des coefficients budgétaires



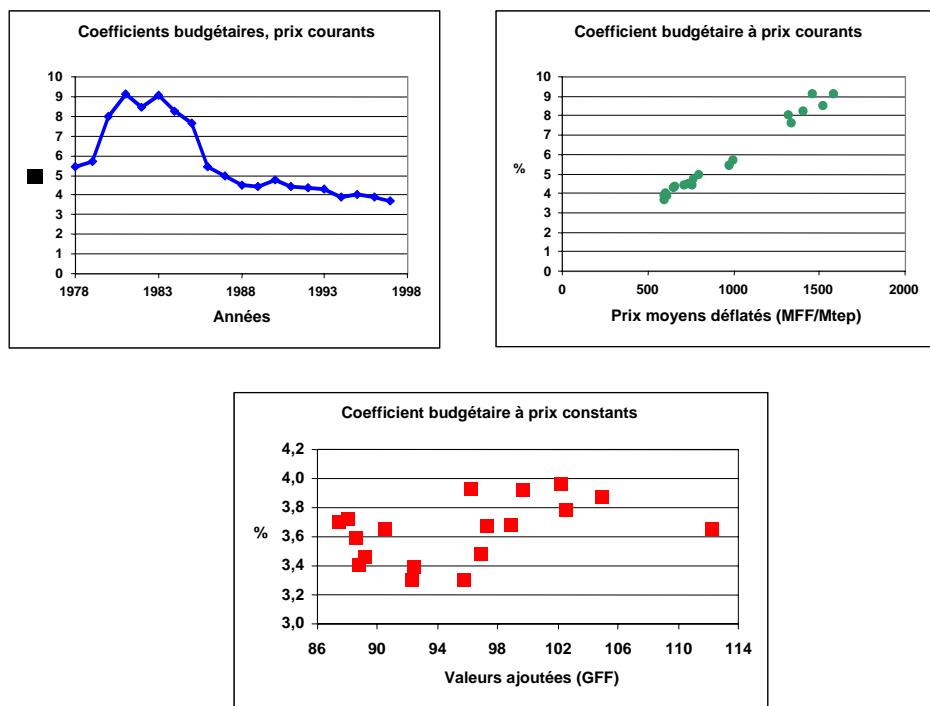
b) Projections



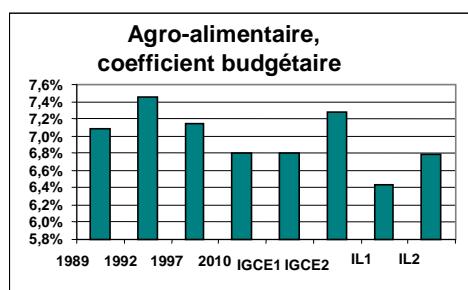
- ※ L'effet de la TGAP sur la variation du coefficient budgétaire est supérieur à l'effet de l'accord volontaire et des mesures incitatives, supérieur à l'évolution entre 1992 et 1997.
- ※ La TGAP pourrait induire un effet supplémentaire de réduction des émissions au titre de la contrainte financière, encore que la relative protection du marché intérieur ne soit guère une incitation dans ce sens.
- ※ Cumuler l'effet TGAP et l'effet de l'accord volontaire et des mesures incitatives sur la consommation énergétique pourrait se concevoir.

Agroalimentaire

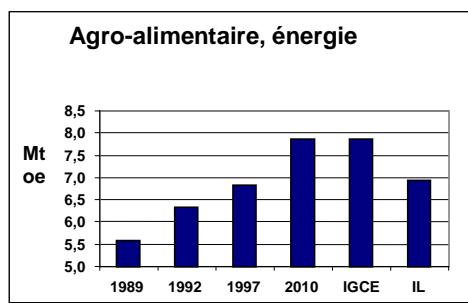
a) Historique des coefficients budgétaires



b) Projections



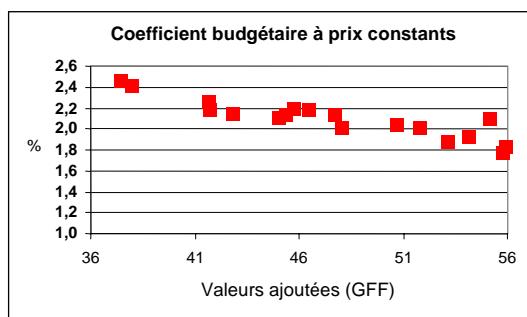
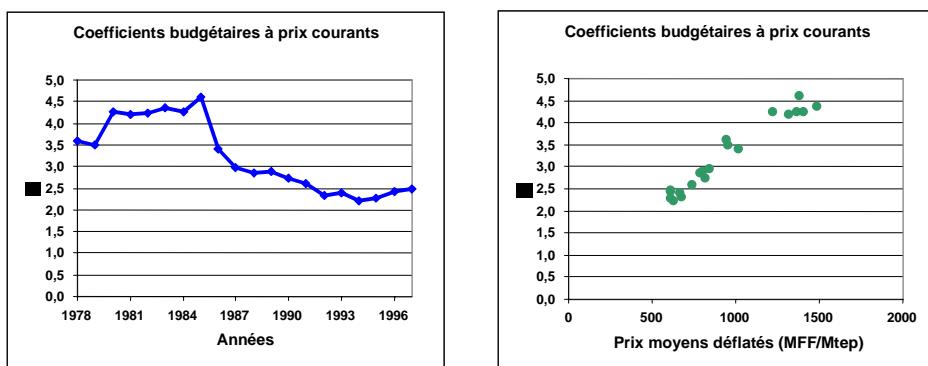
- ※ L'effet de la TGAP sur la variation du coefficient budgétaire est similaire à l'effet des mesures d'incitations, similaire à la variation 1992/1997.



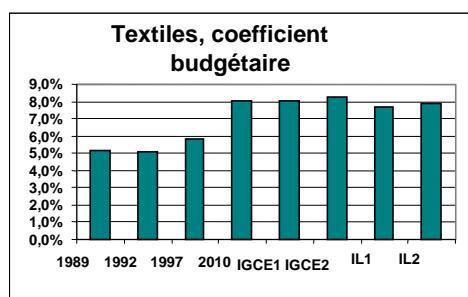
- ※ La TGAP pourrait ne pas être suffisante pour contrecarrer d'éven-tuels « relâchements » dans la gestion énergétique.
- ※ Cumuler l'effet TGAP et l'effet accord volontaire sur la consommation énergétique serait erroné.

Textiles

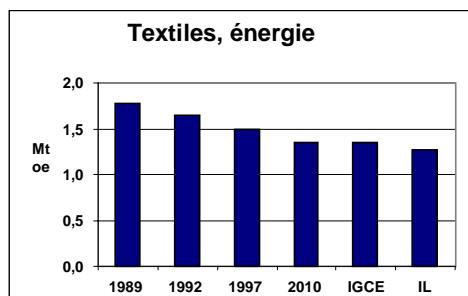
a) Historique des coefficients budgétaires



b) Projections



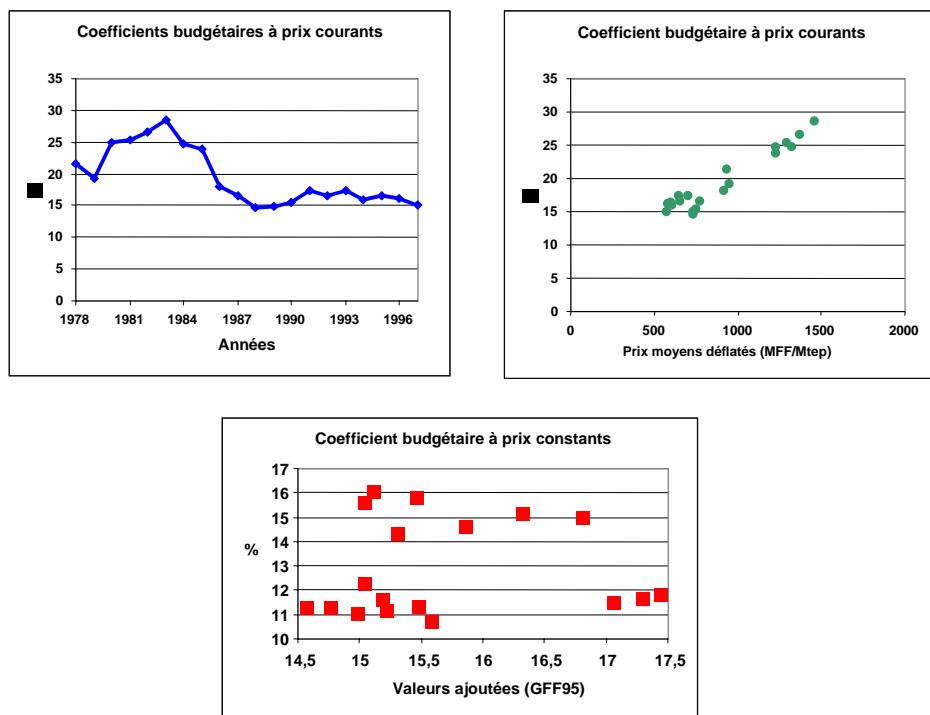
- ※ L'effet de la TGAP sur la variation du coefficient budgétaire est faible, similaire à l'effet des mesures d'incitations.



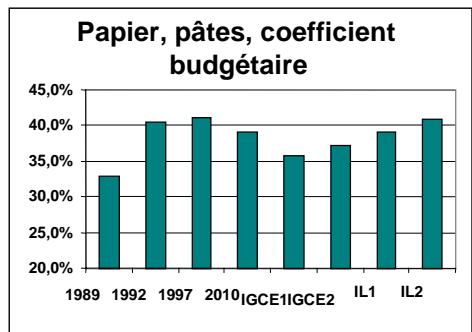
- ※ La TGAP pourrait ne pas être suffisante pour contrecarrer d'éventuels « relâchements » dans la gestion énergétique.
- ※ Cumuler l'effet TGAP et l'effet accord volontaire sur la consommation énergétique serait erroné.

Papiers et pâtes

a) Historique des coefficients budgétaires

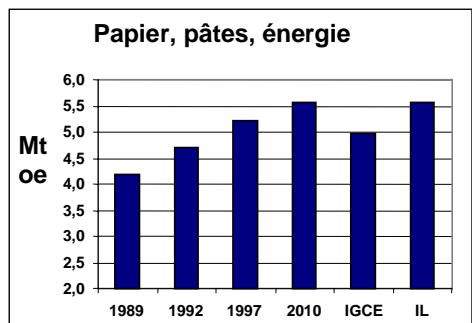


b) Projections



- * L'effet de la TGAP sur la variation du coefficient budgétaire est inférieur à l'effet de l'accord volontaire.

- * La TGAP pourrait ne pas être suffisante pour contrecarrer d'éventuels « relâchements » dans la gestion énergétique.

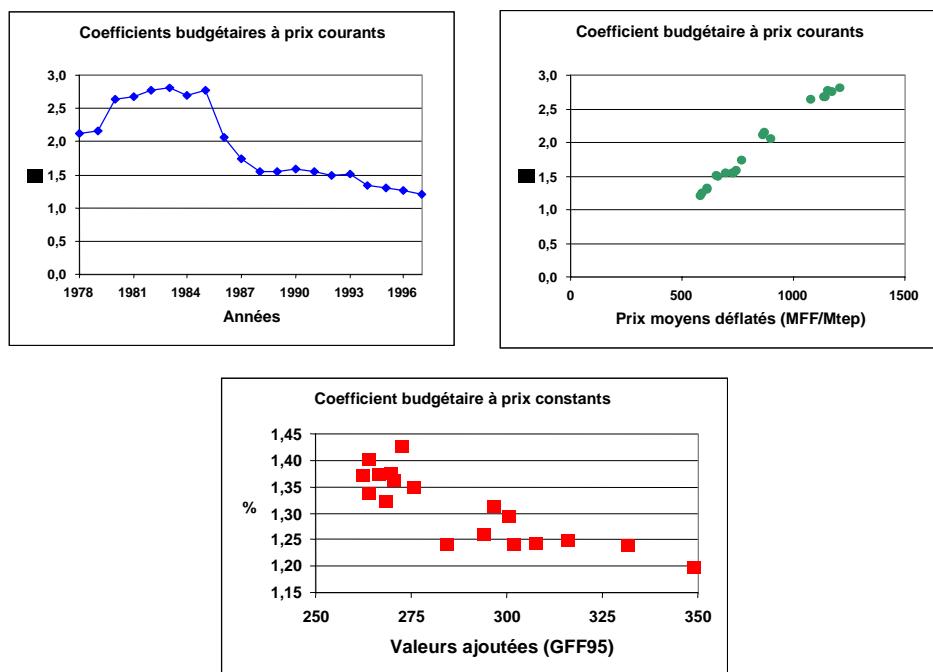


- * La TGAP seule pourrait n'avoir aucun effet sur la consommation énergétique.

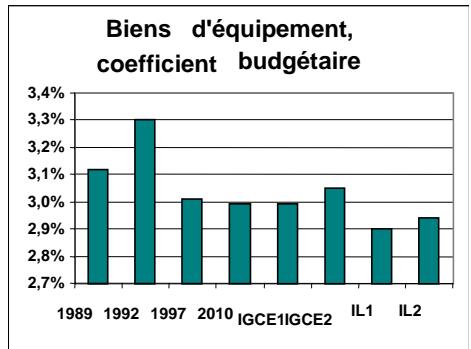
- * Cumuler l'effet TGAP et l'effet accord volontaire sur la consommation énergétique serait erroné.

Biens d'équipement

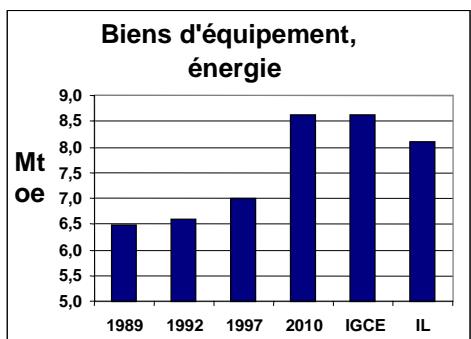
a) Historique des coefficients budgétaires



b) Projections



- ※ L'effet de la TGAP sur la variation du coefficient budgétaire est inférieur à l'effet des mesures incitatives, très inférieur à la variation 1992/1997.



- ※ La TGAP pourrait être insuffisante pour contrecarrer d'éventuels « relâchements » dans la gestion énergétique.
- ※ La TGAP seule pourrait n'avoir aucun effet sur la consommation énergétique.
- ※ Cumuler l'effet TGAP et l'effet accord volontaire sur la consommation énergétique serait erroné.

ANNEXE V

RAPPORT DE L'ÉQUIPE TRANSPORTS

Président : Jean-Pierre Orfeuil

Rapporteurs : Maurice Girault, Christian Vilmart

Le secteur des transports suppose un traitement particulier car il s'agit du secteur qui est appelé à contribuer le plus à une augmentation des émissions de CO₂. Une équipe spécifique a donc été mise en place pour ce secteur.

Le mandat de cette équipe était triple : confronter les scénarios de référence existants (c'est-à-dire avec les mesures déjà décidées) ; évaluer les estimations des effets des mesures du programme national de lutte contre le changement climatique (PNLCC) et examiner les conditions de mise en œuvre de ces mesures afin de proposer à la Mission interministérielle de lutte contre l'effet de serre (MIES) des hypothèses pour le chiffrage de la 3^e communication nationale prévue à la convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques. Il s'est assez naturellement ajouté un quatrième objectif, consistant à proposer d'éventuelles mesures nouvelles susceptibles de pallier l'insuffisance ou la non-adoption de mesures du PNLCC.

La *première* étape des travaux a consisté à faire un diagnostic rapide sur les exercices précédents en matière de transport pour définir un scénario de référence.

La ***deuxième*** étape a été consacrée à l’analyse des mesures nouvelles et à la définition des hypothèses pouvant être transmises à la MIES pour la préparation de la 3^e communication nationale.

Enfin l’équipe a proposé des recommandations.

Le scénario de référence

Le PNLCC prend comme scénario de référence le scénario « B » du ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement (METL), élaboré pour les schémas de services de transport et dont les hypothèses sont rappelées ci-dessous¹⁴⁰. Ce scénario peut être comparé au scénario tendanciel élaboré pour le ministère de l'Industrie pour la prospective du secteur de l'énergie au 2^e semestre de 1999¹⁴¹.

Le scénario de référence du PNLCC inclut les effets des mesures prises avant fin 1999 alors que le scénario tendanciel du ministère de l'Industrie ne considère que les mesures d'avant la conférence de Kyoto (novembre 1997). Cette référence du PNLCC est désignée comme « scénario avec mesures existantes » dans la 3^e communication nationale. C'est par rapport à ce scénario que toutes les économies d'émissions de CO₂ liées aux mesures nouvelles ont été évaluées dans le PNLCC.

Hypothèses de régulation des transports et de taxation des carburants

Le scénario de référence du PNLCC dans le secteur des transports

Dans le cadre de l'élaboration interministérielle des schémas multimodaux de services collectifs de transport prévus par la loi Voynet de 1999, le service Economique et Statistique (SES) du METL a projeté la demande de transport à l'horizon 2020 pour tous les modes¹⁴². Trois hypothèses de croissance annuelle du PIB ont été retenues sur la période 1996-2020 : + 1,9 % (faible) ; + 2,3 % (médiane) ; + 2,9 % (forte). Quatre scénarios de politique de régulation des transports (de A à D) ont été testés dans l'hypothèse de croissance médiane + 2,3 % par an.

(140) « Le volet transport du programme national de lutte contre le changement climatique », M. Girault, *Notes de synthèses du SES*, janvier/février 2001.

(141) « Un scénario énergétique tendanciel pour la France à l'horizon 2020 », P.N. Giraud, *Annales des Mines*, novembre 1999.

(142) « La demande de transport – Perspectives d'évolution à l'horizon 2020 », ministère des Transports (SES), octobre 1998.

Les projections de trafic du scénario de référence du PNLCC sont celles du scénario « B » de politique des transports élaboré par le METL.

Ce scénario « B » suppose la poursuite des inflexions apportées ces dernières années à la politique des transports, mais pas de mesure nouvelle. Les principales hypothèses qui le caractérisent sont :

- le maintien en francs constants de la taxe intérieure sur les produits pétroliers (TIPP) sur l'essence au niveau de 1998 (soit 3,81 francs {0,58 €} pour le super sans plomb) et une hausse de la TIPP sur le gazole (soit 3,08 francs {0,47 €} au lieu de 2,41 francs {0,37 €} en 1998) ;
- le respect de l'accord conclu avec les constructeurs européens réunis au sein de l'ACEA (Association des constructeurs européens d'automobiles). Cet accord signé par l'ACEA et la Commission européenne en juillet 1998 a pour objectif de réduire la moyenne des émissions de CO₂ de tous les véhicules neufs vendus dans l'Union européenne. Le niveau moyen d'émissions à atteindre est fixé à 140 g CO₂/km d'ici 2008 ;
- la stabilité des prix ferroviaires voyageurs et la baisse moins rapide que dans le passé des prix aériens, avec une taxation du kérosène (20 % en 2005, 50 % en 2015) ;
- l'application du contrat de progrès (harmonisation des conditions de travail et d'horaires) au transport routier de marchandises.

L'évolution du prix des transports entre 1996 et 2020 serait la suivante (francs constants) :

Voyageurs	par an	en 24 ans	Marchandises	par an	en 24 ans
Prix moyen des carburants	0,49 %	12 %	Transport routier	0,30 %	7 %
Transport ferroviaire	0 %	0 %	Transport ferroviaire	non retenu	non retenu
Transport aérien intérieur	- 0,4 %	- 9 %	Transport fluvial	0,4 %	10 %

Le scénario tendanciel du ministère de l'Industrie (DGEMP)

Un scénario énergétique tendanciel a été réalisé pour la France à l'horizon 2020 pour le ministère de l'Industrie (DGEMP), en complément des travaux publiés en 1998 par le groupe « Energie 2010-2020 » du Commissariat général du Plan. L'annexe I de ce rapport d'équipe décrit les hypothèses concernant les transports de ce scénario réalisé par la Société ENERDATA.

L'évolution tendancielle des transports (1997-2010-2020)

La croissance des trafics est plus faible dans le scénario tendanciel de la DGEMP que dans celui du METL, sauf pour le transport routier incluant les poids lourds en transit.

Trafics	Unités	1997	2010	2020	1997-2020 Croissance annuelle
Circulation des voitures particulières et des véhicules utilitaires légers					
Scénario DGEMP (scénario tendanciel)	MMvéh-km	444	570	647	1,7 %
Scénario METL (schémas de services)	MMvéh-km	476	633	739	1,9 %
Transport routier de marchandises					
Scénario DGEMP (scénario tendanciel)	MM tk	221	320	405	2,7 %
Scénario METL (schémas de services)	MM tk	221	305	392	2,5 %
Fer marchandises					
Scénario DGEMP (scénario tendanciel)	MM tk	52	48	45	- 0,6 %
Scénario METL (schémas de services)	MM tk	53	60	66	1,0 %

Sources : scénario « B » du METL et scénario tendanciel DGEMP

En ce qui concerne les trafics, le scénario de référence retenu par l'équipe transports est le scénario « B » des schémas de services de transport. C'est aussi celui choisi par la MIES.

Les divergences avec le scénario tendanciel de la DGEMP (modèle MEDEE-ME) quant aux trafics sont de l'ordre des incertitudes normales

et il est préférable de privilégier la solution qui assure la meilleure continuité entre les exercices. Les trafics observés de 1996 à 2000 sont d'ailleurs au-dessus des anticipations.

Les consommations unitaires

Pour les consommations unitaires et les émissions, les hypothèses retenues par le METL sont explicitées dans une étude réalisée par le CITEPA (Centre interprofessionnel technique d'études sur la pollution atmosphérique).

L'équipe a retenu l'évolution prévue dans cette étude pour la consommation unitaire des véhicules particuliers neufs (VP) qui correspond au respect de l'accord ACEA. L'engagement est réalisé dès 2008, avec une décroissance linéaire des émissions entre 1995 et 2008.

Voitures particulières neuves	Emissions	Indice (base 100 en 1995)
- 1995	178 g/CO ₂ /km	100,0
1997 - 1999	172	96,6
2000 - 2004	165	92,7
2005 - 2007	150	84,3
2008 - 2014	140	78,7
2015 - 2020	120	67,4

Source : METL

La diminution supplémentaire attendue dès 2012 d'une 2^e phase de l'accord volontaire, non encore signée, ne devrait pas être prise en compte au titre des mesures existantes. Cette 2^e phase est néanmoins prise en compte dans la situation de référence du PNLCC de janvier 2000.

En ce qui concerne les véhicules utilitaires légers neufs (VUL), cette étude suppose que leur consommation unitaire va se réduire de 20 % d'ici 2020.

Véhicules utilitaires légers neufs (VUL)	Emissions (indice 100 en 1995)
- 1995	100
1997 - 2001	95
2002 - 2006	90
2007 - 2020	80

Source : METL

Or, l'accord ACEA n'a de répercussion que pour une partie des VUL, dont la consommation ne suit donc pas a priori celle des VP. L'extension de l'accord

ACEA aux VUL n'est pas encore signée et ne peut être reprise dans le scénario de référence.

Au niveau des consommations unitaires des VUL (indice 100 en 1995), il n'est pas raisonnable de viser un indice 80 en 2010 pour les raisons suivantes :

- 1)** Les progrès ne sont pas attendus que des motorisations, mais aussi de transferts de gamme (voir Classe A Mercedes et Smart par exemple) et d'allégements de poids qui ne sont pas nécessairement possibles sur les VUL.
- 2)** Par ailleurs les chaînes de production de moteurs ont une certaine durée de vie économique, et les moteurs plus anciens iront sur les VUL, même si la concurrence peut contrarier ce phénomène.
- 3)** Enfin, les progrès, selon les constructeurs eux mêmes, viendront aussi d'une plus forte diésélisation des immatriculations des VP (45 % pour les immatriculations diesel en 2010 est faible dans cette perspective, 55 % paraît plus réaliste). Or, le parc des VUL est déjà beaucoup plus diéselisé et la diminution des émissions ne pourra venir pour l'essentiel que de la diminution plus importante des consommations unitaires des moteurs diesel.

Un consensus a été trouvé par l'équipe sur la consommation unitaire des véhicules utilitaires légers, en retenant une évolution différente de celle des véhicules particuliers. Elle propose les hypothèses suivantes pour le scénario avec mesures existantes de la 3^e communication nationale : avec un indice 100 de consommation unitaire en 1995, les VUL seraient à l'indice 90 en 2010 (78,7 pour les VP neufs) et à 85 en 2020 (67,4 pour les VP).

Véhicules utilitaires légers neufs (VUL)	Emissions (indice 100 en 1995)
- 1995	100
1997 - 2001	95
2002 - 2010	90
2011 - 2020	85

Pour les poids lourds (PL), l'analyse des hypothèses METL de diminution des consommations unitaires reprises dans l'étude du CITEPA, conduit à les atténuer. Ces hypothèses initiales sont les suivantes :

Poids lourds neufs	Consommations unitaires	Indice (base 100 en 1995)
- 1995	35 l/100 km	100,0
1999 - 2003	33	94,3
2004 - 2008	31,5	90,0
2009 - 2013	30	85,7
2014 - 2018	28,5	81,4
2019 - 2020	27	77,1

Source : hypothèses METL-CITEPA pour l'évaluation environnementale des schémas de services de transport

La moyenne des consommations PL (nouvelles immatriculations) est prise à 35 litres aux 100 km en 1995. Dans les comptes des transports de 1999, la moyenne du parc est à 36,7 en 1995. Un écart de 1,7 litre entre immatriculations neuves et parc est acceptable. En revanche, la moyenne du parc augmente à 37,7 en 1999, probablement sous l'impact d'un effet de structure dû à une augmentation de taille. La moyenne du parc peut difficilement augmenter avec de nouvelles immatriculations de consommations plus faibles et décroissantes. Il faut donc distinguer un effet de structure (vers des PL plus gros porteurs) et un effet technologique.

Pour les constructeurs, la baisse de consommation unitaire serait de l'ordre de 3 % à 5 % entre 2001 (norme Euro 3) et 2005 (Euro 4). La consommation remonterait même en 2008 (Euro 5) avec les contraintes du post-traitement des gaz d'échappement pour filtrer les particules et les oxydes d'azote. Au-delà de 2010 l'incertitude est très grande, notamment sur les normes qui pourraient être imposées sur les émissions de NOx et qui contrarieraient les baisses de consommation. Toutefois, une économie pourrait venir des pneumatiques ou de l'aérodynamisme. Par ailleurs, on suppose une structure du parc inchangée. L'équipe s'est accordée sur l'évolution suivante :

Poids lourds neufs (maxi codes 40 t)	Consommations unitaires	Indice 100 en 1995
- 1995	35 l/100 km	100,0
1999 - 2003	33	94,3
2004 - 2008	31,5	90,0
2009 - 2013	32,3	92,4
2014 - 2018	30	85,7
2019 - 2020	30	85,7

Le pourcentage des véhicules alternatifs à retenir à l'horizon 2020 proposé par le METL est retenu par l'équipe :

- 0,1 % en 2010 et 0,2 % en 2020 pour les véhicules électriques ;
- 1 % en 2010 et 2 % en 2020 pour les véhicules GPL.

Dans le secteur aérien, les taxes relatives au kérosène ne doivent pas être intégrées à la référence mais figurer au titre des mesures nouvelles.

Les consommations d'énergie

Les consommations d'énergie des projections du METL reprises dans le scénario de référence augmentent sensiblement moins que celles du scénario tendanciel du ministère de l'Industrie (DGEMP) à cause des hypothèses relatives aux consommations unitaires et au respect de l'accord ACEA.

Consommation d'énergie des transports routiers – Mtep (y compris climatisation)				
	1997	2010	2020	1997-2020
Consommation des voitures et VUL				
Scén. DGEMP	29,6	34,7	39,2	1,2 %
Scén. METL	31,3	36,0	36,3	0,6 %
Transport routier de marchandises				
Scén. DGEMP	9,1	11,6	14	1,9 %
Scén. METL	8,9	10,4	11,6	1,2 %

Les émissions de CO₂

Les émissions de CO₂ des transports augmentent ainsi de 2 % par an dans le scénario tendanciel pré-Kyoto de la DGEMP et de 1,3 % par an dans le scénario de référence du PNLCC, celles des seuls véhicules routiers de 0,7 % par an.

Emissions de CO₂ des transports - Mt				
	1997	2010	2020	1997-2020
Scén. DGEMP	151	195	237	2,0 %
Scén. METL (y compris DOM)		155,9		1,3 %
Scén. METL (véhicules routiers)	128	145,3	150,1	0,7 %
Ecart projec. DGEMP/project, METL	17 %	34 %	58 %	

Le scénario DGEMP s'inscrit davantage dans les tendances passées des transports que le scénario du METL, qui cherche déjà à réduire les

émissions. Les tableaux ci-dessus et en annexe II de ce rapport d'équipe permettent de comparer les trafics, les consommations d'énergie et les émissions dans les deux scénarios.

La divergence la plus forte entre les deux scénarios réside dans la prise en compte de l'accord de l'Association des constructeurs européens d'automobiles (ACEA). L'accord n'est appliqué qu'à moins de 50 % pour le scénario tendanciel de la DGEMP, alors qu'il l'est intégralement dans le scénario METL. Dans le chiffrage DGEMP, les émissions de CO₂ des transports routiers sont ainsi d'un tiers plus élevées en 2010 que celles du scénario du METL

Les émissions de carbone du scénario de référence du PNLCC

En complément du scénario « B », le scénario de référence du PNLCC comprend des mesures prises avant fin 1999 : première mise en œuvre des plans de déplacements urbains (PDU), amélioration du contrôle des vitesses des véhicules légers et renforcement du contrôle de la réglementation du transport routier. Ceci représente une diminution des émissions au titre de ces mesures de 0,52 million de tonnes de carbone (MtC) en 2010 pour les transports routiers.

Pour calculer les émissions, il est difficile d'additionner les effets des mesures existantes, car il existe des risques de double compte. En particulier, la plupart des effets sont implicitement déjà traduits pour partie par les élasticités-prix retenues. C'est pourquoi il n'a été retenu que 80 % de l'effet des mesures existantes dans le scénario de référence.

L'évolution des émissions de carbone du scénario de référence du PNLCC entre 1990 et 2010 peut être détaillée de la façon suivante¹⁴³ selon les modes de transport (à part constante de Diesel dans les immatriculations de voitures neuves) :

(143) PNLCC chapitre IV Transport.

Emissions en MtC	1990	2010
Transport routier	30,30	39,11
Aérien	1,3	1,8
Ferroviaire	0,3	0,3
DOM	0,71	1,3
Total	32,61	42,51

En l'absence de mesures nouvelles, les émissions du secteur des transports atteindraient ainsi 42,5 millions de tonnes de carbone (MtC) en 2010, pour le seul CO₂ alors que l'objectif du PNLCC est de les ramener à 38,5 MtC.

Les mesures nouvelles

Les consommations unitaires des véhicules routiers

Les mesures nouvelles concernant les véhicules (outils de suivi de l'accord ACEA et des accords annexes et extension aux VUL) seront étudiées par les pouvoirs publics et des propositions effectuées en s'attachant à l'estimation du gain en carbone, au coût économique et à l'impact sur l'outil industriel. Des hypothèses concernant les VP et les VUL ont été transmises par l'équipe à la MIES pour la 3^e communication nationale.

Avec la 2^e phase de l'accord ACEA, les émissions des VP neufs diminueraient à 120 g/km de CO₂ dès 2012.

Véhicules particuliers neufs	Emissions	Indice (base 100 en 1995)
- 1995	178 g/CO ₂ /km	100,0
1997 - 1999	172	96,6
2000 - 2004	165	92,7
2005 - 2007	150	84,3
2008 - 2011	140	78,7
2012 - 2020	120	67,4

Les émissions des VUL neufs baisseraient de 20 % de 2001 à 2020 suite à l'extension de l'accord ACEA. Cette réduction est relativement importante. Elle est due au progrès technique. L'accroissement du pourcentage de véhicules diesel, plus performants, intervient peu puisqu'une grande partie des VUL sont diesel, alors qu'il profite aux véhicules particuliers.

<i>VUL (extension de l'accord)</i>	<i>Emissions (indice 100 en 1995)</i>
- 1995	100
1995 - 2001	95
2002 - 2007	90
2008 - 2014	80
2015 - 2020	75

Régulation des transports et autres mesures nouvelles

Les mêmes mesures nouvelles sont retenues dans le PNLCC et dans les schémas de services collectifs de transport, assurant ainsi la cohérence des orientations de la politique des transports avec le programme national.

Evaluation des effets des mesures nouvelles du PNLCC

Le PNLCC évalue les réductions d'émissions dues aux mesures nouvelles à 4 millions de tonnes de carbone (MtC) en 2010. Ces mesures peuvent être regroupées de la façon suivante :

Mesures de 1 ^{ère} catégorie	0,70
Respect des règles du travail et prix du gazole	0,45
Taxe carbone, y compris taxation du kérósène	1,10
Tarification urbaine et maîtrise de l'urbanisme	0,40
Offre d'infrastructures interurbaines	1,00
Transport combiné et transports en commun en site propre (TCSP)	0,35
Effet total des mesures	4,00

Les mesures de 1^{ère} catégorie correspondent à une mise en œuvre plus complète des mesures existantes et permettent une économie de 0,7 MtC.

Les mesures économiques de taxation et de régulation des transports de marchandises économiseraient 1,55 MtC : au-delà du rattrapage déjà décidé de 7 fois 7 centimes, la TIPP sur le gazole serait majorée au même niveau que celle du supercarburant sans plomb. La taxe carbone générale apporterait une augmentation supplémentaire pour tous les carburants. La régulation des transports viserait un meilleur respect des réglementations.

La tarification du stationnement et des déplacements urbains, le développement des transports en commun en site propre et la maîtrise de l'urbanisme économiseraient 0,40 MtC.

Les actions sur l'offre de transports, notamment sur l'offre ferroviaire et les réseaux transeuropéens, et en faveur du transport combiné entraînent une économie estimée à 1,2 MtC dans le PNLCC et à un peu moins selon le METL (0,8 MtC).

L'estimation par le METL de l'effet des mesures du PNLCC, inscrites dans les schémas de services de transport, conduit à une économie pouvant atteindre 4,6 MtC en 2010 au lieu de 4 MtC. Les ordres de grandeur sont les mêmes.

Le tableau ci-après permet de comparer les deux évaluations et de mettre en évidence les points de divergence.

MtC en 2010	PNLCC	METL (schémas de services)
Mesures de 1 ^{ère} catégorie	0,70	0,70
Respect des règles du travail	0,15	0,15
Action sur la demande :		
prix du gazole	0,30	0,56
taxe carbone, y compris taxation du kérósène	1,10	0,84
dont véhicules routiers	(1,0)	(0,74)
transport aérien	(0,10)	(0,10)
Tarification urbaine et maîtrise de l'urbanisme	0,40	0,40
Transports en commun en site propre (TCSP)	0,15	0,15
Offre d'infrastructures interurbaines	1,00	0,80
ferroviaire	(0,80)	(0,70)
fluvial		(0,10)

Transport combiné	0,20	
Politique du véhicule et consommations unitaires		0,96
accord ACEA : 2 ^e phase 2012 + supplément action/structure du parc (vignette) et son renouvellement (contrôle)		(0,72)
climatisation		(0,24)
Total de ces mesures	4,0	4,6

Le même impact est attendu des mesures dans le programme national et les schémas de services de transport, sauf pour deux d'entre elles concernant l'offre d'infrastructures interurbaines et la politique du véhicule et les consommations unitaires.

Offre d'infrastructure interurbaines

Le gouvernement a fixé l'objectif du doublement du fret ferroviaire dès 2010, avec 100 milliards de t-km (Gtk).

Dans le PNLCC, la MIES considère que cet objectif procurerait une économie de 1 MtC, sans prendre en compte les trajets routiers terminaux du transport combiné. Par ailleurs, une mesure supplémentaire en faveur du transport combiné permet une économie de 0,2 MtC (soit 1,2 MtC au total).

L'économie correspondante de carbone est globalement estimée à 0,7 MtC par le METL. En outre, pour le fluvial, la croissance actuelle du transport et l'objectif volontariste retenu pour 2010 permettraient d'économiser 0,1 MtC selon le METL.

L'équipe retient l'hypothèse la plus basse de réduction des émissions, celle du METL (0,7 MtC) plutôt que celle de la MIES (1,2 MtC). La note de calcul est jointe en annexe III. Le sentiment de l'équipe est que cette estimation est crédible.

Toutefois, l'équipe transports considère que les mesures d'imputation au mode routier de ses coûts externes ne suffiront pas à réaliser l'ambition de développement important du ferroviaire. Des investissements doivent

être réalisés, une politique de qualité de service menée, des achats de matériel effectués.

Politique du véhicule et consommations unitaires

A la différence du METL, le PNLCC ne considère pas les impacts supplémentaires qui pourraient être obtenus de la politique du véhicule, dans le cadre d'un suivi européen de l'accord ACEA, avec des mesures éventuelles spécifiques à la France pour conserver l'avantage actuel en matière de consommation unitaire. Ces impacts sont estimés à 0,96 MtC pour le METL en 2010 et à 0 dans le PNLCC.

Recommandations

Il serait souhaitable qu'à l'avenir un seul lieu (qui pourrait être le Commissariat général du Plan) soit habilité à établir un scénario dit de référence à la date t ne prenant en compte, au moment de son élaboration, que ce qui a été décidé et a fait l'objet d'un début de mise en œuvre. Les comparaisons des effets de mesures nouvelles à un seul scénario de référence bien défini sont bien moins coûteuses que leurs comparaisons à plusieurs scénarios.

Les débats ont fait apparaître qu'on ne disposait pas toujours des hypothèses essentielles des scénarios en termes techniques, notamment au niveau des consommations de carburant des véhicules. En particulier, il n'est pas toujours facile de faire la part entre ce qui relève de la technologie pure (consommation aux 100 km) et ce qui relève de la structure du marché et des parcs de véhicules. Un scénario de projection dans les transports devrait être décrit dans un document de base, synthétisant en particulier les données de parc, de kilométrage annuel, de consommation moyenne et de consommation unitaire pour les différentes catégories de véhicules et pour les années 1980 à 2020.

Un suivi de l'évolution des transports, des circulations, des consommations unitaires de carburant et des émissions, en distinguant les catégories de véhicules, serait nécessaire.

Les travaux de suivi du PNLCC devront s'attacher à vérifier que les évolutions conséquentes de prix, notamment du gasoil, sont conformes aux objectifs.

Dans le domaine du développement du fret ferroviaire, l'équipe propose que des études soient réalisées pour dégager un échéancier précis et une mesure réaliste des coûts correspondant à l'engagement.

Dans le cadre du suivi de la mise en œuvre des mesures nouvelles et de leur impact, il serait utile de préparer des mesures supplémentaires destinées à compenser d'autres mesures prévues, mais qui ne seraient pas mises en œuvre. On peut penser au bridage des moteurs qui nécessite une évaluation ou à une vignette limitée aux véhicules aux consommations très supérieures à la moyenne. La question de l'extension de l'accord ACEA aux véhicules utilitaires légers doit aussi être approfondie, peut-être en des termes plus proches du programme japonais (objectif par gamme de poids) que de l'accord ACEA lui-même.

Annexe I
Rapport Enerdata (décembre 1999)
Scénario énergétique tendanciel pour la France
Les transports (extraits)

Définitions, désagrégation et nomenclature

Le secteur transport, au sens de la comptabilité énergétique, comprend l'ensemble des activités de déplacement des personnes et des marchandises, quel que soit le statut de propriété du véhicule ou la fonction à laquelle il est destiné. Cette définition s'écarte fortement de la définition de la comptabilité nationale, où le secteur transport ne comprend que les entreprises dont le service de transport est l'activité principale.

On distingue *quatre sous-ensembles* principaux dans le secteur des transports :

- le transport individuel de personnes ;
- le transport intérieur collectif de personnes ;
- le transport intérieur de marchandises ;
- le transport international de personnes et de marchandises.

Le tableau 1 ci-après rassemble les éléments structurels de MEDEE-ME/transports.

Tableau 2: Structure de MEDEE-ME transport

Fonction	Modes	Types	Energies
Transport individuel	Voiture particulière 2 roues	Petit Moyen Grand	Essence Gazole GPL Electricité
Transport collectif de personnes	Route	Urbain Interurbain	Essence Gazole GPL
	Fer	Urbain Interurbain	Gazole Electricité
	Aérien		Carburéacteurs
Transport de marchandises	Route	> 3Tcu ≤ 3Tcu	Essence Gazole GPL
	Fer	Normal Combiné rail-route	Gazole Electricité
	Voie d'eau		Gazole
Transport international	Maritime Aérien Routier		Soutes Carburéacteur Gazole

Les hypothèses tendancielles

Pour une bonne part, les trafics de marchandises et les parcs de véhicules sont calculés par le modèle à partir des hypothèses macro-économiques.

Dans le cas des marchandises toutefois, trois jeux d'hypothèses complémentaires sont introduits :

- hypothèses sur les trafics d'import/export et de transit ;
- hypothèses sur l'évolution du trafic ferroviaire et fluvial ;
- hypothèses sur la structure modale du transit.

Pour les *voitures particulières* et les *utilitaires légers*, les hypothèses complémentaires concernent :

- la TIPP sur l'essence et le gazole ;
- la répartition des immatriculations neuves entre essence, gazole, électricité et autres ;
- la répartition des immatriculations neuves de voitures particulière et commerciales par gammes, pour le premier et le multi-équipement.

En outre, pour les VPC, le parcours annuel fait également l'objet d'hypothèses différencierées pour l'urbain et l'interurbain.

Pour les trafics voyageurs des *transports collectifs*, les hypothèses portent sur :

- la mobilité individuelle par zone (km/an/personne) ;
- l'évolution des trafics ferroviaires et aériens.

Le cadre général des hypothèses est conforme à celui du scénario le plus libéral du Plan (« Marché »). Toutefois, les mesures et événements suivants sont également pris en compte :

- Accords volontaires des constructeurs automobiles.
- Plans de déplacements urbains prévus par la loi sur l'air et les PDU du 31/12/1996 (y compris les évolutions des combustibles et des carburants).
- Extension de la capacité de Roissy.
- TIPP : orientation sur les 7 prochaines années.

Prix des carburants

Le ratrapage gazole-essence, déjà considéré dans les scénarios du Plan, résulte de l'harmonisation européenne - plutôt vers le haut - et de la prise en compte des externalités urbaines.

Les hypothèses retenues pour le scénario tendanciel pour les prix TTC des carburants sont :

- 0 %/an pour l'essence et + 1,5 %/an pour le gazole pendant 7 ans à partir de 1999, puis 0 % pour les deux années suivantes.

Trafics

Les hypothèses tendancielles de croissance des trafics d'import/export résultent des projections d'import/export en monnaie du Club Diva, scénario Europe, avec des élasticités constantes par grand groupe de produits. Ces hypothèses sont en retrait de celles du ministère de l'Equipement, utilisées dans l'étude « Energie 2010-2020 ». On examine toutefois la sensibilité des résultats à la reprise des hypothèses du ministère de l'Equipement (3,4 %/an).

Tableau 3 : Hypothèses tendancielles sur le trafic international de marchandises, 1997-2020

	Tendance	Variante
Import/export, tous pavillons	2,8 %/an	3,4 %/an
Transit	4,2 %/an	4,2 %/an

Les incendies survenus au tunnel du Mont Blanc et au tunnel du Tauern (Autriche) affecteront très vraisemblablement le partage modal des trafics de marchandises transalpin et transpyrénéen. On examine la sensibilité des résultats à une révision des hypothèses de partage modal des trafics internationaux dans un sens plus favorable au fer.

Tableau 4 : Hypothèses tendancielles sur la structure modale du trafic de marchandises, 1997-2020

Part de la route dans le transit de fret	Tendance	Variante
2000	83 %	80 %
2010	87 %	75 %
2020	90 %	70 %

Les hypothèses tendancielles relatives au trafic urbain des voitures, telles qu'elles ont été considérées dans le scénario « Marché » du CGP, apparaissent en contradiction avec les orientations de la loi sur l'air, tout au moins dans une conception restreinte de « l'urbain ». On examine donc la sensibilité des résultats à une révision de ces hypothèses

conduisant au respect des orientations de la loi sur l'air, soit une diminution moyenne de la circulation des voitures en zone urbaine de 15 % en 2020 par rapport à la tendance.

Les autres hypothèses relatives aux trafics sont soit reprises du ministère de l'Équipement (trafics ferroviaires), soit de l'INRETS (trafic aérien, kilométrages urbain et interurbain des voitures, mobilité urbaine en transports collectifs). Elles sont identiques à celles retenues dans le scénario « Marché » du CGP.

Tableau 5 : Hypothèses tendancielles sur l'accroissement des trafics

	Unités	1997-2010	2010-2020
Mobilité urbaine, transports collectifs	km/an/hab.	0	0
Circulation urbaine des voitures	%/an	0	0
Circulation extra-urbaine des voitures	km/an/VP	150	400
Trafic aérien domestique	%/an	4,3	4,3
Trafic aérien international	%/an	4,4	4,4
Trafic fer marchandises	%/an	- 1,1	- 1,1
Trafic fer passagers	%/an	1,0	1,0

Efficacité énergétique et consommations spécifiques

La diminution des consommations unitaires des voitures est de l'ordre de 0,5 %, taux que l'on peut considérer comme reflétant le progrès technique tendanciel. L'accord volontaire des constructeurs automobiles européens prévoit une baisse des consommations spécifiques des voitures neuves de 25 % en moyenne européenne sur 1995-2008. Les constructeurs français étant mieux placés au départ, les réductions nécessaires seront donc moindres en France.

L'accord volontaire est exprimé en quantité de CO₂ par véhicule-km : 140 g en moyenne pour les immatriculations neuves en 2008, tous types de voitures confondus. Les voitures électriques comptent pour 0 en émissions de CO₂ (on ne compte pas le CO₂ émis par les centrales), et, selon certains constructeurs (en particulier Renault), il y aura déjà des voitures hybrides en 2010. Le surcroît de consommation spécifique et

d'émissions de CO₂ du fait du fonctionnement de certains équipements additionnels embarqués, notamment la climatisation, ne sont pas inclus dans l'accord.

Compte tenu de tout cela, dans une vision tendancielle, on peut raisonnablement s'attendre à une baisse moyenne européenne de - 15 % à - 20 % sur les voitures neuves à moteur à combustion interne, soit sur le marché français - 10 % à - 5 %. Ceci n'est pas très éloigné du progrès technique tendanciel.

On examine la sensibilité des résultats à un strict respect des engagements des constructeurs européens, en supposant une incidence nulle des suréquipements.

Tableau 6 : Hypothèses tendancielles sur les consommations spécifiques des voitures neuves et des camions, 1997-2020

1997	Tendance		Variante	
	2010	2020	2010	2020
Voitures essence	100	91	90	80
Voitures gazole	100	96	95	85
Camions	100	100	100	100

Pour l'ensemble des véhicules routiers, les hypothèses paraissent restrictives, notamment au regard d'un possible développement significatif des véhicules hybrides d'ici 2010, et des véhicules équipés de piles à combustibles et réformateurs embarqués au-delà. De tels développements technologiques sont toutefois considérés ne pas faire partie d'un scénario tendanciel. Le tableau ci-après indique les hypothèses tendancielles retenues quant à la pénétration du gazole et de l'électricité. Elles sont identiques à celles retenues dans le scénario « Marché » du CGP.

Tableau 7 : Hypothèses tendancielles sur les parts de marché des carburants

	1997	2010	2020
Electricité VP	0 %	0 %	0 %
Gazole VP neufs	43 %	45 %	45 %
Gazole VUL	70 %	80 %	90 %

Consommations énergétiques des transports

Trafics (y compris transit)

		1989	1992	1997	1992	1997	2010	2020
Route								
Voiture	Gvkm	301	334	370	333	366	465	514
VUL	Gvkm	63	73	80	71	78	105	133
Camions	Gtkm	150	186	221	184	221	320	405
dont transit	Gtkm		26	38	26	38	77	106
Bus	Gpkm	40	42	42	42	42	50	52
Fer								
Passagers	Gpkm	74	73	72	73	72	81	88
Marchandises	Gtkm	52	48	53	48	52	48	45
dont transit	Gtkm	6	6	10	6	10	12	12
Voies d'eau Gtkm								
		7	7	6	6	5	4	4
Air								
Intérieur	Gpkm	9	9	9	9	9	16	24
International	Mpass	36	41	52	42	54	131	210
Maritime Mt								
		297	302	322	276	321	450	575

Grisé : données d'observation – Source : Compte des transports, OEST

Ensemble des transports par énergie

Mtep	1989	1992	1997	1992	1997	2010	2020
Essence (yc carb. subst.)	19,3	18,4	15,3	18,0	15,6	13,8	15,5
Gazole+GPL (yc carb. subst.)	16,9	20,7	25,3	20,6	25,2	35,2	41,5
Carburéacteurs	3,8	4,4	5,3	4,5	5,1	10,3	14,7
Fioul lourd	1,9	2,1	2,1	1,9	2,2	3,0	3,9
Électricité	1,8	1,9	2,2	1,9	2,2	2,7	3,3
Total	43,7	47,5	50,2	46,9	50,3	65,0	78,9

Grisé : données d'observation – Source : OE/TCEF

Ensemble des transports par infrastructure

Mtep	1989	1992	1997	1992	1997	2010	2020
Route	34,8	37,6	39,1	37,2	39,5	47,6	55,8
Fer	2,1	2,3	2,6	2,3	2,5	2,9	3,3
Voies d'eau, divers	0,9	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Air	3,6	4,1	5,2	4,5	5,1	10,3	14,7
Maritime	2,3	2,5	2,6	2,1	2,5	3,5	4,4
Total	43,7	47,2	50,2	46,8	50,3	65,0	78,9

Grisé : données d'observation – Source : route, fer : OE/TCEF ; autre : ADEME/DATAMED

Annexe II
Comparaison des deux scénarios DGEMP et METL

<i>Trafics</i>	<i>Unités</i>	<i>1997</i>	<i>2010</i>	<i>2020</i>
Circulation VP + VUL	MM véh.-km			
<i>Scénario DGEMP</i>		444	570	647
<i>Scénario METL</i>		476	633	739
<i>Ecart DGEMP/METL</i>		- 7 %	- 10 %	- 12 %
Transport routier de marchandises	MM tk			
<i>Scénario DGEMP</i>		221	320	405
<i>Scénario METL</i>		221	305	392
<i>Ecart DGEMP/METL</i>		0 %	5 %	3 %
Fer marchandises	MM tk			
<i>Scénario DGEMP</i>		52	48	45
<i>Scénario METL</i>		53	60	66
<i>Ecart DGEMP/METL</i>		- 1 %	- 20 %	- 32 %
Air métropole	M vk			
<i>Ecart DGEMP/METL</i>		- 35 %	- 32 %	- 32 %

Source METL

<i>Consommation d'énergie des transp. routiers (y compris climatisation)</i>	<i>Unités</i>	<i>1997</i>	<i>2010</i>	<i>2020</i>
Consommation VP + VUL	Mtep			
<i>Scénario DGEMP</i>		29,6	34,7	39,2
<i>Scénario METL</i>		31,3	36,0	36,3
<i>Ecart DGEMP/METL</i>		- 5 %	- 4 %	8 %
Transport routier de marchandises	Mtep			
<i>Scénario DGEMP</i>		9,1	11,6	14
<i>Scénario METL</i>		8,9	10,4	11,6
<i>Ecart DGEMP/METL</i>		3 %	12 %	20 %

Source METL

- VP Véhicules particuliers
- VUL Véhicules utilitaires légers
- tk tonnes-kilomètres
- vk voyageurs-kilomètres
- tep tonnes-équivalent-pétrole

Annexe III

Economies de carbone obtenues par le développement du transport ferroviaire de marchandises à 100 Gt_k

(Source : METL, septembre 1999)

Report de trafic fret de la route vers le fer en transport combiné Evaluation des gains d'énergie et des diminutions d'émissions de dioxyde de carbone

Cette note présente une estimation des économies que procurerait un déplacement de 37 milliards de t.km de la route vers le transport combiné ferroviaire, ce qui correspond à un transport ferroviaire total atteignant alors 100 milliards de t.km (contre environ 50 milliards de t.km actuellement).

En sus d'une politique volontariste de réglementation et de tarification du transport routier, cet objectif de doublement du trafic de fret ferroviaire implique des adaptations structurelles importantes de l'offre de transport que l'on peut schématiser à travers les composantes suivantes :

- le trafic ferroviaire conventionnel doit être ciblé sur des demandes massifiées ;
- il appartient à l'État, avec RFF et la SNCF, d'augmenter la capacité du réseau national consacrée au fret ferroviaire ;
- il faut agir au niveau international, car c'est là que les trafics fret sont en croissance et que le fer est le plus apte à jouer un rôle.

Certaines hypothèses pourraient conduire à une moindre économie, par exemple en considérant que les caisses mobiles et les containers ont des chargements moyens inférieurs à ceux des ensembles routiers de 40 t. Un transfert de la route vers le rail nécessiterait alors davantage de transport ferroviaire et routier d'approche. Inversement, l'économie serait plus grande si les gains du fer étaient réalisés en transport conventionnel plutôt qu'en transport combiné. *Les économies de carbone peuvent donc être estimées de 0,4 à 0,7 million de tonnes.*

Hypothèses

On se propose de mesurer les économies réalisées sur le seul territoire national : seuls les parcours routiers et ferroviaires en France sont pris en compte, les parcours terminaux des acheminements ferroviaires réalisés à l'étranger dans le cadre des transports de transit ou bilatéral sont donc exclus.

On a supposé que, par un transfert de la route vers le transport combiné, le rail pourrait gagner 37 milliards de tonnes-kilomètres, ce qui permettrait d'atteindre 100 milliards de tk compte tenu des prévisions de trafic du scénario « C » en 2020. On suppose en outre que ce surcroît de trafic serait réalisé à raison d'un quart par transport de conteneurs et des trois quarts par transport de caisses mobiles dont les tares respectives sont de 4,2 et 3,2 tonnes. Ces 37 milliards de tk se décomposeraient en 9 milliards pour le trafic d'échange bilatéral, 18 milliards pour le trafic de transit et 10 milliards pour le trafic national (y compris les trafics portuaires).

On a envisagé des chargements moyens unitaires de 17 tonnes tant pour la route (ce qui correspond sensiblement au chargement moyen observé sur longue distance et à l'international) que pour le fer (les 17 tonnes pouvant sans difficulté être transportées dans un conteneur 40 pieds ou dans une caisse mobile, le tonnage pris en compte avec une tare moyenne de 3,45 tonnes étant alors de 20,45 tonnes).

Les parcours à vide s'établissent à 15 % pour les parcours routiers à longue distance et à 35 % pour les pré ou post-acheminements du transport ferroviaire.

Les hypothèses de consommation de gazole sont différencierées pour les parcours en charge et à vide, et selon qu'il s'agit du transport routier et des pré ou post-acheminements ferroviaires.

à charge route	37,0 litres aux 100 km	Transport combiné (enlèvement/livraison)	43,0 litres aux 100 km
à vide route	29,5 litres aux 100 km	Transport combiné (enlèvement/livraison)	33,0 litres aux 100 km

Enfin, on prend en compte le fait que le transport ferroviaire considère des distances taxées estimées supérieures de 4 % à celles de la route.

On rappelle que d'après la SNCF, les 37 milliards de tonnes-kilomètres supplémentaires ne pourraient pas être réalisées sur le réseau actuel à cause des problèmes de congestion qui se feraient jour dans un certain nombre de nœuds ferroviaires, voire sur certaines sections de ligne. Des investissements importants seraient nécessaires.

La consommation unitaire des trains de transport combiné donnée par la *Direction générale de l'énergie et des matières premières, Observatoire de l'énergie*, s'établissait à 12,1 gep/tonne-kilomètre en 1997.

Méthodologie

Après avoir traité le problème pour deux exemples de transport à 1 000 et 500 kilomètres par la route qui montrent que des économies respectives de 359 et 149 litres de gazole et de 893 et 371 kilogrammes d'oxyde de carbone pourraient être générées, on a envisagé trois transports : de transit, de trafic bilatéral et de transport national pour lesquels on a fait des calculs similaires. Pour chacun de ces cas on a choisi une distance de transport en France la plus vraisemblable possible compte tenu des nouvelles infrastructures (notamment les percées alpines suisses) qui seront réalisées à un horizon de quinze ans. Ces distances qui permettent ensuite de déduire le nombre d'acheminements unitaires nécessaires ont été fixées à 800 km pour le transit, 670 km pour le bilatéral et à 620 km pour le national. Elles conduisent à une distance moyenne de 711 kilomètres largement supérieure à celle observée aujourd'hui de 629 km pour l'ensemble des trafics combinés (NOVATRANS et CNC).

Economies d'énergie et de CO₂

L'économie de gazole qui pourrait être dégagée serait de 725 millions de litres (793 millions de litres pour les transports routiers de bout en bout, diminués de 68 millions nécessaires pour les acheminements routiers des transports combinés fer-route). L'économie d'énergie est de 165 000 tonnes-équivalent pétrole.

Les émissions de CO₂ seraient réduites de 1,8 million de tonnes (1,97 million de tonnes que ne rejettéraient plus les camions qui effectuaient les parcours de bout en bout, diminués de 0,17 million de tonnes rejetées par ceux qui assurent les acheminements routiers des transports combinés fer-route) soit 0,5 million de tonnes de carbone.

ANNEXE VI

RAPPORT DE L'ÉQUIPE BÂTIMENT **(Résidentiel - Tertiaire)**

Président : Maurice Girault
Rapporteur : Alain Ayong Le Kama

L'objectif de l'équipe était de porter une première appréciation sur les mesures du Programme national de lutte contre le changement climatique (PNLCC) dans le domaine des bâtiments résidentiels et tertiaires.

L'évolution des consommations d'énergie et des émissions de CO₂ est étudiée au travers de différents scénarios existants : référence au Programme national de lutte contre le changement climatique (PNLCC), scénario tendanciel DGEMP, scénarios du groupe « Energie 2010-2020 » du CGP, travaux SES-CEREN... C'est-à-dire en analysant les hypothèses prises dans chacun d'eux et en appréciant l'impact des mesures existantes et des mesures nouvelles.

Les travaux menés par l'équipe permettent de porter une appréciation sur la situation de référence du PNLCC - le scénario dit avec mesures existantes - qui décrit l'évolution prospective des émissions de CO₂ compte tenu des mesures prises jusque fin 1999. Une analyse a également été faite des perspectives d'évolution de la consommation d'électricité, en particulier pour les usages spécifiques de celle-ci.

Une part importante des travaux visait à apprécier l'impact des mesures, celles en cours de mise en œuvre, ainsi que les mesures nouvelles. Cet impact dépend notamment de l'évolution des parts de marché des énergies, y compris les énergies renouvelables. L'objet étant d'aboutir à une base de données cohérente, transparente et révisable de « dires d'experts » qui permette de reconsidérer les hypothèses du scénario de

référence et de proposer une nouvelle appréciation des politiques et mesures du PNLCC.

Le rapport présente *deux parties* : 1. l'analyse du scénario de référence ; 2. Les propositions de chiffrage de l'impact des différentes mesures.

Le scénario de référence

Les sources de données utilisées

Il est important de commencer par souligner le fait que selon les sources de données considérées, et utilisées dans les différents scénarios de référence existants, l'évaluation de la demande d'énergie, et donc des émissions de gaz à effet de serre (GES), dans le secteur du bâtiment - résidentiel et tertiaire - est différente.

Il existe en France, depuis de nombreuses années, deux sources de données principales concernant la demande d'énergie de ce secteur : il s'agit des données publiées annuellement dans les « Tableaux des consommations d'énergie en France » par l'Observatoire de l'énergie (OE) de la DGEMP et de celles publiées par le Centre d'études et de recherches économiques sur l'énergie (CEREN).

Plusieurs raisons peuvent expliquer ces écarts sur les évolutions enregistrées des consommations d'énergie dans le secteur issues des deux organismes ci-dessus :

- d'une part, l'OE construit ses statistiques à partir de données fournies directement par les entreprises - soumises à une obligation légale -, alors que le CEREN réalise lui-même ses propres enquêtes ;
- et, d'autre part, il est de manière générale très difficile de distinguer les usages (ex. chauffage, éclairage, cuisson...) par type d'énergie et de totalement isoler les secteurs (ex. résidentiel, artisanat, professions libérales, BTP, militaire...). Il est évident que les évaluations

sectorielles - entre le résidentiel et le tertiaire - seront différentes suivant les choix d'agrégation qui auront été décidés¹⁴⁴.

Des efforts sont toutefois entrepris depuis deux ou trois ans pour réconcilier les deux sources de données, fortement encouragés par des études du SES au METL ; et de réels progrès ont été enregistrés. Il reste néanmoins que ces statistiques sont extrêmement difficiles à construire. Il subsistera donc toujours une incertitude ; peut-être moins en France, où nous disposons d'un appareil statistique robuste et, de part les efforts de réconciliation actuellement fournis, nous disposerons bientôt de données homogènes.

Le secteur résidentiel

Analyse de l'évolution passée des consommations d'énergie de chauffage : les différents effets explicatifs (étude SES-CEREN)

La consommation d'énergie de chauffage prédomine, celle des autres usages croît fortement.

L'évolution passée de la consommation d'énergie de chauffage peut être analysée en distinguant quatre effets explicatifs : la croissance du parc de logements ; celle de la surface moyenne par logement ; un effet de structure lié à la part des logements neufs et au développement du chauffage électrique et un effet consommation unitaire dans l'ancien (correspondant au solde de la consommation totale et de la consommation dans les logements neufs).

(144) Raison pour laquelle l'OE ne sépare pas, dans ses statistiques actuelles, les consommations d'énergie du résidentiel de celles du tertiaire dans les bilans de l'énergie. Un projet est tout de même en cours en ce sens à l'OE, les travaux commenceront en début 2002.

■ Analyse de la consommation d'énergie de chauffage

Croissance annuelle en %

	1973-1997	1991-1997	1997-1999
Effet parc	1,3 %	1,1 %	4,6 %
Effet augmentation de la surface/logement	0,1 %	0,2 %	0,2 %
Effet de structure (hors changement d'énergie)	- 0,3 %	- 0,3 %	0,0 %
Effet consommation unitaire/m ²	- 1,7 %	- 0,7 %	0,5 %
Consommation totale de chauffage	- 0,6 %	0,3 %	5,3 %

Source : SES-CEREN

Cette analyse de la consommation de chauffage permet d'apprécier l'incidence de la croissance du parc de résidences principales et des surfaces moyennes par logement : ces facteurs sont déterminants, ils expliquent la forte reprise de consommation observée en 1998-1999.

L'évolution des performances thermiques des constructions neuves et de la consommation unitaire des logements existants est également estimée :

Croissance annuelle en %

Détail de l'effet de structure	1973-1997	1991-1997	1997-1999
<i>Le renouvellement du parc par les logements neufs mieux isolés</i>	- 0,4 %	- 0,3 %	- 1,2 %
Le développement du chauffage électrique	- 0,2 %	- 01 %	0,8 %
Le changement de combustible	- 0,1 %	- 03 %	- 0,5 %
<i>Le passage du chauffage central collectif au c.c individuel</i>	0,0 %	- 0,1 %	0,0 %
<i>Le partage entre logements collectifs et maisons individuelles</i>	0,1 %	0,0 %	0,0 %
Le remplacement d'appareils indépendants par du chauffage central	0,3 %	0,1 %	0,4 %
Effet de structure	- 0,4 %	- 0,6 %	- 0,5 %
Effet de structure total hors changement d'énergie	- 0,3 %	- 0,3 %	0,0 %

L'effet logements neufs est chiffré à - 0,3 % par an sur la période 1991-1997 et - 1,2 % par an en 1998 et 1999.

L'effet consommation unitaire dans l'ancien diminue de – 0,7 % par an sur 1991-1997, il se dégrade fortement en 1998 et s'améliore en 1999, soit en moyenne – 0,4 % par an depuis 1991.

■ La consommation d'énergie par usage

La consommation d'énergie augmente beaucoup pour les usages autres que le chauffage, c'est-à-dire pour l'eau chaude sanitaire, la cuisson et l'électricité spécifique.

Evolutions des consommations d'énergie du résidentiel Croissance annuelle en %

(Les données brutes CEREN diffèrent de celles de l'Observatoire de l'énergie - O.E.)

	1973-1999	1991-1999
Chauffage	0,1 %	0,3 %
Eau chaude sanitaire et cuisson	2,7 %	2,8 %
Electricité spécifique	5,1 %	4,1 %
Ensemble	0,9 %	1,3 %

Source : CEREN

	1973-1998	1991-1998
Chauffage	- 0,1 %	0,4 %
Eau chaude sanitaire cuisson	3,1 %	2,2 %
Electricité spécifique	5,0 %	4,1 %
Ensemble	1,5 %	1,8 %

Source : O.E. TCEF

Les scénarios de référence existants

➤ Les scénarios du groupe Energie 2010-2020 du CGP

Un atelier ad hoc du groupe « Energie 2010-2020 » a défini trois scénarios contrastés en matière de politique énergétique.

Le scénario « marché » ou « libéralisme fort » présente les plus fortes croissances des consommations d'énergie. Le scénario « politique socio-environnementale » décrit une politique raisonnablement volontariste. Le « scénario politique industrielle » est intermédiaire entre les deux, dans un contexte où l'Etat continue d'intervenir notamment dans la politique de l'énergie en supposant la poursuite du programme électronucléaire.

Les hypothèses du scénario « marché » correspondent à un non-respect de la réglementation thermique de 1989 dans les maisons individuelles neuves (60 % des constructions) et à une dégradation des comportements.

Les hypothèses du scénario S2 « politique industrielle » sont reprises comme référence du PNLCC, en décrivant la politique mise en œuvre jusque fin 1999, avec certaines mesures déjà prises en faveur de l'environnement, mais avant les mesures nouvelles préconisées par le PNLCC.

L'indice d'isolation des bâtiments neufs et anciens s'améliore : de 100 en 1995 et 2000, il passe dans ce scénario à 95 en 2010 et à 90 en 2020 pour les bâtiments neufs et anciens, avec simultanément un indice de comportement qui se dégrade à respectivement 103 et 105 en 2010 et 2020.

Dans ce contexte, la consommation d'énergie de chauffage augmente de 9 %, celle « d'eau chaude sanitaire et cuisson » de 15 %, celle d'électricité spécifique de 83 %.

➤ **Le scénario tendanciel DGEMP-OE**

L'objectif est de rechercher les tendances de la situation qui précède les accords de Kyoto. Les hypothèses du scénario S1 « société de marché » sont retenues comme telles, en supposant en outre une plus forte « dégradation » des comportements dans les logements à chauffage électrique. La consommation d'énergie de chauffage augmente de 20 % entre 1990 et 2010, plus que dans S1 (+ 15 %), mais la consommation d'électricité spécifique augmente moins (+ 55 % / + 97 %).

➤ Projection tendancielle de l'étude DES-CEREN

Cet exercice vise à projeter les différents effets qui ont permis d'analyser l'évolution passée de la consommation d'énergie de chauffage. La tendance définie comme le prolongement des évolutions 1991-1999, conduit à des résultats légèrement inférieurs à S2.

Les émissions de CO₂ du résidentiel sont chiffrées pour chaque usage : elles diminuent pour le chauffage de 1973 à 1985, puis présentent un palier de 1985 à 1997 ; en hausse de 5 % en deux ans (1998-1999) elles s'orientent ensuite à la baisse (de - 0,5 % par an). Elles augmentent continûment et assez fortement pour l'eau chaude sanitaire et la cuisson. Et globalement stables de 1987 à 1997 (64 à 65 MtCO₂), elles se stabiliseraient ensuite à 69 MtCO₂.

Comparaison des projection de consommation d'énergie et d'émissions de CO₂

Une comparaison de ces projections, fournie en Annexe A, montre que :

- la consommation totale d'énergie du résidentiel augmente de 21 % entre 1990 et 2010 d'après S2 : soit à peine plus que dans le scénario tendanciel SES-CEREN (19 %), et moins que dans le scénario tendanciel DGEMP-OE (29 %) ;
- les consommations pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire augmentent de 9 % en 20 ans dans S2 ou de 7 % dans le scénario tendanciel SES-CEREN, et beaucoup plus (20 %) dans le scénario tendanciel DGEMP-OE ;
- la consommation d'électricité spécifique augmenterait en 20 ans :
 - de 55 % selon le scénario DGEMP ;
 - de 76 % ou 97 % dans S1 et S2 ;
 - de 84 % dans l'exercice SES-CEREN ;
- et les émissions de CO₂ augmentent de 3 % ou diminuent de 4 % de 1990 à 2010 dans les scénarios S1 et S2, alors que l'augmentation effective de 1990 à 1999 atteint 8 % (chiffres CEREN).

De fait les livraisons de gaz augmentent de 28 % de 1990 à 1998, celles de fuel et GPL stagnent, alors qu'une diminution avait été anticipée.

Le scénario DGEMP (élaboré en 1999 en base 1997) projette une hausse des émissions de 9,5 % entre 1990 et 2010. Il en ressort alors que les projections du scénario S2 semblent ne pas correctement intégrer l'évolution attendue des parts de marché des énergies. Elles ne nous semblent par conséquent pas pertinentes.

Les émissions de CO₂ du résidentiel

CGP 2010-2020	1990	1992	2010		2020	
			S1	S2	S1	S2
Emissions CO ₂ (MtCO ₂)	70,4	69,7	72,2	67,8	75,5	67,1
Base 100 en 1990	100,0	99	103	96	107	95

DGEMP-OE	1989	1990	1992	1997	2000	2010	2020	
							2010	2020
Emissions CO ₂ (MtCO ₂)	69,7	69,3	68,6	69,2	70,7	75,9	77,4	
Base 100 en 1990		100	99	100	102	109	112	

SES-Ceren	1980	1990	1992	1997	2000	2010	2020	
							2010	2020
Emissions CO ₂ (MtCO ₂)	78	64	63	65	68	69	69	
Dont chauffage	68	53	53	54	56	55	52	
Base 100 en 1990		100	98	102	106	108	108	

Le secteur tertiaire

Analyse de l'évolution passée des consommations d'énergie du secteur tertiaire

La consommation d'énergie du secteur tertiaire présente de fortes croissances, en particulier pour l'usage « eau chaude sanitaire et cuisson », et pour la consommation d'électricité spécifique, mais cette dernière stagne depuis 1994.

Consommation d'énergie (Mtep) du secteur tertiaire	1973-1998	1991-1998
Chauffage	0,5 %	1,7 %
Eau chaude sanitaire et cuisson	4,4 %	3,2 %
Electricité spécifique	4,4 %	1,5 %
Total tertiaire	2,4 %	1,8 %

Source : O.E. TCEF

Les hypothèses des scénarios existants

➤ **Les scénarios du groupe « Energie 2010-2020 » du CGP**

Lors de l'élaboration des scénarios, les travaux du groupe ont souligné l'incertitude portant sur la croissance du secteur tertiaire, et plus précisément sur l'évolution à l'horizon 2020 du parc immobilier et des emplois (les scénarios BIPE-DIVA pris en considération pour les projections portent sur les valeurs ajoutées et sur l'emploi).

Il a été admis alors que le parc passerait de 690 à 1 000 millions de mètres carrés entre 1992 et 2020.

Les hypothèses « énergie » portent sur :

- l'indice d'isolation par mètre carré dans l'ancien :
– pas d'amélioration de cet indice dans S1 et S2, ni dans le scénario tendanciel ;
- l'indice de consommation d'électricité spécifique par emploi diminue :
– avec des gains aux horizons 2010 et 2020 : de 15 % et 30 % dans S1, de 20 % et 40 % dans S2 ;
- l'indice de consommation des usages thermiques par emploi est stable dans S1 et S2 ;
- la part de marché des énergies, augmente pour le gaz et l'électricité.

➤ **Le scénario tendanciel DGEMP-OE (Observatoire de l'énergie)**

Même hypothèse (pas d'amélioration) que S1 et S2 pour l'indice d'isolation dans l'ancien et dans le neuf.

Moindre baisse que dans S1 et S2, de l'indice de consommation d'électricité spécifique : base 100 en 1997 ; 93 en 2010 (au lieu de 80 dans S2).

➤ **Analyse du parc immobilier et projection tendancielle de l'étude SES-ENERDATA** (les détails sur les hypothèses retenues dans cette étude sont fournis *en annexe C*)

L'étude confiée à Enerdata par le SES vise une meilleure connaissance du parc immobilier, en détaillant le secteur tertiaire en huit branches au lieu des trois branches utilisées auparavant : ceci afin de mieux prendre en compte l'évolution de la structure du secteur, tout en disposant d'une estimation du parc par tranche d'âge. La projection du parc immobilier et des consommations d'énergie par usage est ainsi affinée.

Le taux d'entrée du flux de construction neuve dans le parc est beaucoup plus important que dans le résidentiel : 30 % des surfaces sont construites entre 1981 et 1997. Les branches bureaux, commerce et enseignement prédominent. Le parc atteint 1 055 Mm² en 2020.

➤ **Comparaison des projections de consommation d'énergie et d'émissions de CO₂**

La consommation d'énergie augmente en 20 ans, de 1990 à 2010, de 46 % et 47 % dans le scénario S2 du CGP et dans la projection tendancielle SES-Enerdata ; 53 % et 57 % dans le scénario S1 du CGP et dans le scénario tendanciel DGEMP.

Les émissions de CO₂ augmentent entre 1990 et 2010 respectivement de 16 % selon la projection tendancielle SES-Enerdata ; 24 % dans le scénario S2 du CGP ; 24 % ou 29 % dans le scénario tendanciel DGEMP ou dans le scénario S1 du CGP (*cf. tableau détaillé en annexe B*).

Les émissions de CO₂ du « résidentiel - tertiaire »

Les émissions de CO₂ de l'ensemble du secteur « résidentiel - tertiaire » augmentent de 8 % entre 1990 et 2010 dans la situation de référence du PNLCC, contre + 4 % dans S2 et dans les deux exercices tendanciels SES-CEREN-ENERDATA.

La projection de référence du PNLCC apparaît prudente, une évolution légèrement plus favorable que prévu dans le tertiaire compensant une situation inverse dans le résidentiel.

Emission de CO₂ du résidentiel - tertiaire (MtC)

	1990	1992	1997	2010	2020
CGP E 2010-2020 S1 (sc. marché)	27,1	27		29,9	32,1
CGP E 2010-2020 S2 (sc. politique industrielle)				28,3	29,3
DGEMP-CE sc. tendanciel 2010-2020	25,9	25,8	26,2	29,4	31,2
METL-SES tendanciel CEREN-ENERDATA	25,3		24,5	26,3	26,5
PNLCC	26,3			28,4	

Emission de CO₂ du résidentiel - tertiaire (base 100 en 1990)

	1990	1992	1997	2010	2020
CGP E 2010-2020 S1 (sc. marché)	100	99,5		110	118
CGP E 2010-2020 S2 (sc. politique industrielle)				104	108
DGEMP-CE sc. tendanciel 2010-2020	100	99,5	101,2	113	120
METL-SES tendanciel CEREN-ENERDATA	100		96,7	104	105
PNLCC	100			108	

Les enseignements tirés des scénarios de référence existants

Dans le résidentiel...

On observe depuis 1973 une forte croissance de la consommation d'énergie des usages « eau chaude sanitaire » (ECS) et cuisson, et de l'électricité spécifique, de 3 % à 4 % par an. L'inflexion projetée dans le PNLCC pour les usages ECS et cuisson ne semble pas justifiée.

La consommation d'énergie de chauffage est maîtrisée, grâce à la réglementation thermique relative aux bâtiments neufs et aux améliorations apportées dans l'ancien : travaux d'isolation, renouvellement des équipements par de nouveaux plus performants.

Pour la consommation d'énergie de l'ensemble des usages du secteur résidentiel (chauffage, ECS et électricité spécifique), la situation de référence, associée aux hypothèses et à la projection du scénario S2 « politique industrielle » du groupe « Energie 2010-2020 » du CGP, semble pertinente avec des augmentations entre 1990 et 2010 de 9 %

pour le chauffage, 19 % pour l'eau chaude et la cuisson, et de 76 % pour l'électricité spécifique, soit une hausse de 21 % pour l'ensemble des usages.

Par contre la projection de référence des émissions de CO₂, c'est-à-dire le scénario S2 du CGP, ne semble pas pertinente. S2 projette en effet une diminution de 4 % des émissions à l'horizon 2010, alors que les émissions observées sont orientées à la hausse entre 1990 et 1999. Les scénarios DGEMP-OE et SES-CEREN prévoient respectivement une hausse de ces émissions de 9 % et 8 % à l'horizon 2010.

Ces différences, dans les projections d'émissions de CO₂ du secteur résidentiel, proviennent, très probablement, pour tout ou partie de la qualité peu satisfaisante des hypothèses d'évolutions des parts de marché des différentes énergies retenues dans le groupe « Energie 2010-2020 » du CGP.

En outre, le scénario tendanciel de la DGEMP projette la situation qui précède les accords de KYOTO - c'est-à-dire celle d'avant 1997 -, alors que la référence du PNLCC (le scénario S2 du CGP) prend en compte les premières orientations prises et les actions mises en œuvre jusqu'au 31 décembre 1999.

La « réglementation thermique 2000 » produira de nouvelles économies importantes dans le neuf : gain de 15 %. Elles se diffuseront dans l'ancien grâce à la normalisation ou aux labels des matériaux, avec toutefois une incertitude sur le rythme de ces économies : le gain moyen de – 0,4 % à – 0,7 % par an observé depuis 1991 pourrait-il se maintenir ? ou s'amplifier avec des mesures adéquates ?

Dans le tertiaire...

La consommation d'énergie du tertiaire croît davantage que celle du résidentiel, notamment pour le chauffage. Cette croissance ralentit pourtant dans les années 1990 - à cause notamment de la chute observée de la consommation d'électricité spécifique - selon les données de l'Observatoire de l'énergie.

Les travaux précédents du CGP (« Energie 2010-2020 ») soulignaient l'incertitude sur la croissance à venir du parc immobilier tertiaire. Une étude d'ENERDATA réalisée pour le SES a porté sur cette question, en détaillant le secteur en huit branches, et en affinant la connaissance du parc par tranche d'âge, à partir des statistiques de construction neuve et de données CEREN. La surface du parc croîtrait de 45 % entre 1997 et 2020 selon cette étude.

La consommation d'énergie du secteur tertiaire augmente de 46 % entre 1990 et 2010 selon cette étude (soit comme dans S2, mais sans l'hypothèse S2 de forte diminution de la consommation d'électricité spécifique) et les émissions de CO₂ de 16 % (contre 24 % dans S2 et le scénario tendanciel de la DGEMP). Les émissions de CO₂ du tertiaire pourraient ainsi évoluer plus favorablement que dans le scénario S2 repris comme référence du PNLCC.

La réglementation thermique 2000 a un volet spécifique aux bâtiments tertiaires ; les gains de consommation d'énergie pourraient atteindre 45 %, à imputer aux mesures nouvelles du PNLCC, avec également des répercussions sur les bâtiments anciens.

Pour l'ensemble : résidentiel et tertiaire

De façon générale, les émissions de CO₂ de l'ensemble des bâtiments résidentiels - tertiaires de la situation de référence du PNLCC augmentent de 8 % entre 1990 et 2010, contre + 4 % dans S2 et dans les deux exercices tendanciels SES-CEREN-ENERDATA.

La projection de référence du PNLCC pour l'ensemble des secteurs résidentiel et tertiaire apparaît prudente : une évolution légèrement plus favorable que prévu dans le tertiaire compensant une situation inverse dans le résidentiel.

Les propositions de chiffrage de l'impact des différentes mesures

De nouveaux chiffrages ont été proposés par l'équipe bâtiment pour l'élaboration de la 3^e communication nationale à l'aune des enseignements tirés de l'analyse des évolutions passées des consommations d'énergie du secteur et des scénarios tendanciels existants.

Ces chiffrages, qui synthétisent donc l'état du consensus entre les « dires d'experts », ont permis à l'équipe de proposer de nouvelles évaluations d'une part de l'impact des mesures existantes qui définissent une nouvelle référence, et d'autre part des mesures nouvelles du PNLCC.

Ces nouvelles propositions concernent de nombreux points.

Le bois¹⁴⁵

L'utilisation du bois est actuellement fortement croissante dans les usages industriels et dans le tertiaire, mais en stagnation dans les logements individuels (85 % de la consommation de bois énergie en France).

La politique de l'ADEME dans le secteur domestique vise à améliorer la compétitivité et l'attractivité du chauffage au bois, par des actions sur le combustible, sur sa distribution et sur la promotion d'appareils plus performants, à l'aide d'outils tels que la fiscalité (TVA à 5,5 %), la mise en place du label « Flamme verte », d'une future norme NF « bois de chauffage », de nouveaux circuits de distribution urbains, ou encore de campagnes de communication et de sensibilisation.

(145) Tous les éléments concernant l'usage du bois-énergie sont construits sur la base d'un exposé de C. ROY, directeur de l'agriculture et des bioénergies à l'ADEME.

Le contrat de Plan de l'ADEME a pour objectif une stabilisation d'ici 2006 de la consommation de bois de chauffage domestique à son niveau actuel de 8,5 Mtep. Cet objectif se double d'un encouragement à l'évolution technologique rapide des appareils, le rendement moyen des nouveaux appareils est passé d'environ 30 % à plus de 50 % en quelques années. Il devra en résulter une forte croissance du parc de logements chauffés au bois et une conversion accélérée des cheminées ouvertes vers des inserts. L'objectif à l'horizon 2006 étant d'atteindre 350 000 nouveaux appareils mis en service par an au lieu des 250 000 d'aujourd'hui.

Cet ambitieux objectif suppose que la part de marché du chauffage au bois dans la construction neuve atteigne 13 % des logements individuels et 6 % des logements collectifs. Le bois intervient le plus souvent en complément majoritaire à un chauffage électrique, et donc avec une diminution de la part du chauffage électrique (de 43 % en 1997 à 29 % en 2010 pour les logements individuels, de 49 % à 42 % pour les logements collectifs).

Ces hypothèses de parts de logements neufs chauffés au bois, bien que paraissant trop fortes à certains experts, et reconnues comme optimistes par ceux de l'ADEME, sont néanmoins envisagées pour constituer une **hypothèse haute** fondée notamment sur le maintien d'une tension sur le coût des énergies fossiles.

Les projections effectuées pour le Réseau de transport d'électricité (RTE) supposent une part de marché du chauffage au bois dans la construction neuve de 4 % (en individuel comme en collectif). Ceci est déjà volontariste et constitue l'**hypothèse basse** retenue.

Les réseaux de chaleur

Le chauffage urbain s'est développé jusqu'au début des années 1990, et depuis lors la consommation d'énergie correspondante tend à diminuer.

La part de marché du chauffage urbain dans les logements collectifs neufs initialement prise à 12 % puis 15 % d'ici 2010 et 2020 dans les projections Enerdata a été modifiée. L'équipe a retenu une part de 7 % comme **hypothèse haute** et 2 % à 4 % pour **l'hypothèse basse**.

L'équipe a en effet jugé, pour ce qui concerne par exemple la part des énergies de chauffage urbain, que la croissance supposée du charbon dans les scénarios sans mesure (SM) et avec mesures existantes (AME) du PNLLCC était fortement surestimée.

Les parts de marché des différentes énergies de chauffage

Les nouvelles hypothèses retenues pour l'évolution du bois et des réseaux de chaleur modifient les parts de marché relatives des énergies de chauffage. Il a donc fallu réévaluer ces parts de marché. Le tableau ci-après récapitule ces nouvelles hypothèses proposées par Enerdata pour la 3^e communication nationale.

Placement des énergies dans les logements neufs

			1990-1992	1992-1997	1997-2010	2010-2020
SM, AME	Logts collectifs	CU	4%	3%	3%	3%
		CCC - Fioul	2%	3%	1%	1%
		CCC - Gaz	5%	9%	16%	17%
		CCC - CMS, bois	0%	0%	0%	0%
		CEI - Electricité	58%	52%	47%	47%
		CCI - Gaz	26%	28%	30%	30%
		CD - Elec	5%	4%	3%	2%
	Mais. individ.	CU	0%	0%	0%	0%
		CCI - Fioul	8%	16%	14%	14%
		CCI - Gaz	20%	33%	38%	40%
		CCI - CMS, bois	2%	0%	0%	0%
		CEI - Electricité	54%	37%	41%	39%
		CCI - GPL	3%	6%	7%	7%
		CCI - solaire	0%	0%	0%	0%
PNLCC	Logts collectifs	CD-bois	0%	2%	0%	0%
		CD-Elec	13%	9%	0%	0%
		CU	4%	3%	7%	7%
		CCC - Fioul	2%	3%	1%	1%
		CCC - Gaz	5%	9%	8%	9%
		CCC - CMS, bois	0%	0%	6%	6%
		CEI - Electricité	58%	52%	45%	45%
	Mais. individ.	CCI - Gaz	26%	28%	30%	30%
		CD - Elec	5%	4%	3%	2%
		CU	0%	0%	0%	0%
		CCI - Fioul	8%	16%	14%	14%
		CCI - Gaz	20%	33%	34%	40%
		CCI - CMS, bois	2%	0%	13%	5%
		CEI - Electricité	54%	37%	29%	33%

Source : Enerdata (décembre 2001)

Légende :

- CU : chauffage urbain*
- CMS : charbon*
- CCC : chauffage central collectif*
- CCI : chauffage central individuel*
- CD : chauffage divisé*

L'électricité spécifique

En forte croissance passée dans le résidentiel et dans le tertiaire, la consommation d'électricité spécifique était supposée s'infléchir fortement. Le scénario tendanciel de la DGEMP avait retenu un moindre ralentissement qui est repris ici comme nouvelle situation de référence, avant prise en compte des mesures nouvelles. Les mesures du PNLCC ralentiraient cette croissance avec un coefficient multiplicateur équivalent au rapport (S3)/(S2). Les évolutions seraient alors les suivantes par rapport à 1997 (*le tableau des chiffres en Mtep est donné en annexe D*).

Consommation d'électricité spécifique - Base 100 en 1997	1997	2010	2020
Dans le résidentiel			
DGEMP – OE scénario tendanciel = nelle réf. PNLCC	100	135	152
Scénario avec mesures nouvelles du PNLCC		121	125
Dans le tertiaire			
DGEMP – OE scénario tendanciel = nelle réf. PNLCC	100	145	171
Scénario avec mesures nouvelles du PNLCC		127	134

Les hypothèses de construction neuve dans le résidentiel

Une question préliminaire, non traitée ici, porte sur la cohérence entre les projections démographiques et l'hypothèse retenue de croissance économique.

Le ralentissement de la croissance démographique va diminuer les besoins en logements supplémentaires et donc le rythme de la construction neuve, comme indiqué dans les travaux de l'INSEE et comme repris dans le scénario S1 du groupe « Energie 2010-2020 » du CGP avec en moyenne 240 000 logements neufs par an entre 2000 et 2010 puis 220 000 par an entre 2010 et 2020. L'impact de ce rythme de construction pourrait être chiffré à titre **d'hypothèse basse**.

Une **hypothèse haute** est toutefois retenue en complément en considérant que l'action des pouvoirs publics produira un supplément de construction neuve de 60 000 puis de 50 000 logements par an, soit au total une moyenne annuelle de 300 000 logements neufs construits entre 2000 et 2010 puis 270 000 entre 2010 et 2020.

L'eau chaude sanitaire et l'énergie de cuisson

Compte tenu de la croissance passée, les hypothèses initialement retenues (+ 67 % entre 1990 et 2020) prolongent la tendance 1991-1999. Ces hypothèses se révèlent très fortes et trop dépendantes des données 1991-1999. Après contact avec le CEREN et Enerdata, il est proposé une moindre croissance, un peu inférieure à la tendance 1980-1999 ; évolution qui demeure toutefois plus forte que celle de la population : en base 100 en 1997.

1997	2000	2010	2020
100	108	119	130

Consommation unitaire des bâtiments de l'Etat d'avant 1975

Une étude récente menée par la DGEMP montre qu'assez peu d'économies ont été réalisées. Aussi l'hypothèse actuelle d'Enerdata peut être validée : gain de 5 % à l'horizon 2010, sans progrès ultérieur.

Remarque : Avant d'aborder les deux points suivants qui concernent les consommations unitaires de chauffage - dans le résidentiel et dans le tertiaire -, il est important de souligner le fait que :

- d'une part, l'évolution passée de ces consommations unitaires de chauffage a pu être analysée pour le résidentiel en termes de consommations unitaires par mètre carré. Mais plusieurs difficultés apparaissent pour définir des hypothèses d'entrée du modèle MEDEE-ME car celui-ci distingue trois facteurs : l'indice d'isolation, l'amélioration des chaudières ou des appareils de chauffage, et le comportement des occupants ;
- d'autre part, le modèle MEDEE-ME a tendance à ne relier les hypothèses relatives à l'indice d'isolation qu'aux seules actions réglementaires des pouvoirs publics (les réglementations thermiques successives) alors qu'intervient aussi et de façon plus continue l'évolution des techniques, des technologies, des nouveaux matériaux et les pratiques des installateurs.

Il serait par conséquent nécessaire qu'à l'avenir toutes ces hypothèses sur les évolutions techniques et les progrès technologiques - et, en

particulier, les hypothèses relatives aux rendements des chaudières et des appareils de chauffage - soient mieux explicitées. Ceci n'a pas été le cas pour les chiffrages des consommations unitaires de chauffage proposées par l'équipe dans les deux sections suivantes.

Les consommations unitaires de chauffage dans le résidentiel

Chauffage (indice d'isolation par m²)

Les techniques et les matériaux existants en 1995 se diffusent dans la situation de référence du PNLCC, c'est-à-dire compte tenu des mesures existantes (AME). Pour la projection de référence du PNLCC pour le neuf et l'ancien, l'équipe valide les hypothèses S2.

L'équipe évalue l'impact de la « réglementation thermique 2000 », applicable au 1^{er} juin 2001, dans le résidentiel neuf et dans l'existant, par diffusion des techniques performantes, comme suit¹⁴⁶ :

Neuf	Référence PNLCC	Impact de la mesure
1997	100	100
2005	95	93
2007 – 2010	95	90
2010 - 2020	90	80
Ancien		
1997	100	100
2000 – 2010	95	92
2010 - 2020	90	88

La « réglementation thermique 2000 » produira de nouvelles économies importantes dans le neuf : gain de 15 % en moyenne à partir de 2007 (délai de diffusion des nouvelles pratiques auprès de la totalité de la profession), par rapport à la situation en 1995-2000 (avant cette réglementation). Mais comme 5 % de l'effet de la mesure est déjà intégré dans la référence, on considère que l'effet moyen entre 2000 et 2010 est de 10 % (indice 90).

(1) N.B. : les indices du tableau décrivent l'impact de la mesure par rapport à 1995, et non pas le seul effet supplémentaire.

De même, de nouvelles mesures réglementaires seront prises à partir de 2005 puis à partir de 2010 et produiront une économie de 15 % à partir de 2015 (en tenant compte du délai de diffusion précisé ci-dessus), soit un effet moyen de

- 10 et un indice moyen de 80 entre 2010 et 2020.

Pour ce qui concerne l'ancien, n'ayant pas d'évaluation exhaustive de l'effet de la mesure pour ce type de bâtiments, on s'est basé sur les évolutions relatives passées entre les bâtiments neufs et anciens.

En effet, entre 1975 et 2000, les réglementations ont eu pour impact de diminuer d'environ 60 % les consommations d'énergie de chauffage dans le neuf et d'environ 20 % celle de l'ancien ; ceci nous a permis de retenir comme règle que l'impact dans l'ancien était à peu près d'un tiers par rapport à celui du neuf.

Ces hypothèses sont cohérentes avec le chiffrage de l'évolution de la consommation unitaire de 1991 à 1997-1999 dans le parc existant (cf. études CEREN pour le SES, y compris le renouvellement d'appareils au fioul par du chauffage au gaz) : elles doivent être considérées comme des **hypothèses hautes**, d'autant qu'elles portent sur un indice d'isolation et que MEDEE-ME prend en compte par ailleurs, semble-t-il, l'amélioration du rendement des chaudières.

Comportements de chauffage

L'équipe valide les hypothèses de comportement prises dans S2 et la projection de référence du PNLCC.

Les consommations unitaires de chauffage dans le tertiaire

Chaussage (indice d'isolation par m²)

L'hypothèse de stabilité de l'indice d'isolation de 1995 à 2020 de la projection de référence du PNLCC n'est pas validée (pour le neuf et l'ancien) ; le progrès des techniques et des matériaux utilisés dans le résidentiel se diffuse aussi, pour partie, dans les bâtiments tertiaires.

L'équipe évalue l'impact de la « réglementation thermique 2000 » dans le tertiaire, comme suit :

	Référence PNLCC	Impact de la mesure
Neuf		
1997	100	100
2005	96	93
2007 – 2010	96	89
2010 – 2020	92	78
Ancien		
1997	100	100
2000 – 2010	99	98
2010 - 2020	98	96

Pour ce qui concerne le neuf, la « réglementation thermique (RT) 2000 » a pour conséquence de diminuer les consommations d'énergie du secteur tertiaire d'environ 40 % par rapport à la réglementation antérieure. Toutefois, la référence intègre implicitement déjà une partie de cette baisse, que l'équipe évalue à environ 10 %.

L'équipe a alors décidé de retenir un impact total de cette nouvelle réglementation à 30 % de baisse d'ici à l'an 2020. On suppose alors que cette diminution est répartie de façon homogène sur la période, ce qui nous permet de retenir -15 % entre 2000 et 2010 et à nouveau - 15 % pour 2010-2020.

Toutefois, dans ces 15 % de baisse pour chacune des périodes, une partie a été intégrée dans la référence ; on a ainsi, par exemple entre 2000 et 2010, 4 % de baisse prise en compte dans la référence et 11 % d'effet supplémentaire de la mesure, soit un indice de 89. Le calcul est le même pour la période 2010-2020.

Pour l'ancien maintenant, on n'a pas de données sur l'évolution relative du neuf et de l'ancien dans le passé comme c'était le cas dans le secteur résidentiel. On observe cependant que le chauffage a progressé beaucoup moins rapidement que les surfaces (ceci étant peut-être dû au fort accroissement de l'usage du chauffage électrique, qui double entre 1985 et 1995). Ayant des données prospectives sur l'évolution future des

surfaces, on pourrait évaluer l'évolution passée du rapport entre la consommation d'énergie de chauffage et les surfaces et projeter ce rapport moyen passé dans l'avenir afin d'évaluer l'impact de la nouvelle réglementation sur les bâtiments anciens du secteur résidentiel.

Au titre de l'impact de la RT 2000, le modèle MEDEE-ME retient une hypothèse de quasi-stabilité dans le tertiaire existant (la seule exception concernant les bâtiments de l'Etat). Ceci nous semble constituer une hypothèse trop conservatrice, d'où l'hypothèse ci-dessus d'impact de la mesure, qui s'ajoute à l'évolution dans le scénario de référence.

Incertitudes sur l'évolution des consommations unitaires des bâtiments tertiaires

Des incertitudes demeurent quant à l'évolution des consommations unitaires des bâtiments tertiaires. L'équipe ne dispose pas à ce jour d'éléments permettant de répondre ou de pallier à ces incertitudes.

Afin de disposer d'éléments objectifs d'appréciation, le ministère de l'Equipement (MELT) vient de lancer une étude auprès du CEREN pour chiffrer l'évolution passée des consommations unitaires dans les bâtiments tertiaires existants. Simultanément, un panel de suivi des consommations unitaires dans les bâtiments tertiaires neufs va être mis en place par le CEREN avec un cofinancement du MELT.

Informations complémentaires

Annexe A : les projections de la consommation d'énergie du résidentiel

Consommation d'énergie du résidentiel CGP Energie 2010-2020 (Mtep)

	1990	1992	2010		2020	
			S1	S2	S1	S2
Consommation d'énergie du résidentiel						
Chauffage	38,8	39,9	44,5	42,3	47,6	43,2
Eau chaude, cuisson	8,6	9,4	10,2	10,2	10,2	10,3
Elec. spécifique	8,9	9,4	17,6	15,7	19,8	16,8
Total	56,3	58,7	72,3	68,2	77,6	70,3
Chauffage base 100 en 1990	100	103	115	109	123	111
Eau chaude, cuisson	100	109	119	119	119	120
Elec. spécifique	100	105	197	176	221	188
Total base 100 en 1990	100	104	128	121	138	125

DGEMP – Observatoire de l'énergie, scénario tendanciel 2010-2020

	1989	1990	1992	1997	2010	2020
Consommation d'énergie du résidentiel		54,3	57,4	61,4	70,1	74
OE	54,1	55,7	58,9	60,8		
Base 100 en 1990		100,0	105,7	113,1	129,1	136,3

	1990	1992	1997	2010	2020
Chauffage base 100 en 1990	100	107	111	120	124
Eau chaude, cuisson	100	105	112	117	123
Elec spéfic.	100	103	118	155	174

Mtep	1989	1992	1997	1997-CE	1992	2010	2020	1990
Chauffage	37,3	41,1	40,4	35,6	37,2	42,0	43,2	34,9
Eau chauffage	5,4	5,7	6,3	9,1	5,7	6,7	7,1	5,5
Cuisson	2,9	3,2	3,5	3,4	3,3	3,8	4,0	3,1
Elec. spécifique	8,5	8,9	10,5	13,8	11,3	17,5	19,7	11,0
Total	54,1	58,9	60,8	62,0	57,4	70,1	74,0	54,3

grisé : données d'observation, source CEREN, suivis des parcs 1993, 1998, révisées pour 1992

non grisé : données d'observation, E.E., TCEF

Consommation d'énergie du résidentiel
Etude d'un scénario tendanciel SES-CEREN (TWh)

Consommation totale d'énergie	1980	1990	1992	1997	2000	2010	2020
	437	473	491	497	516	561	618
Consommation totale d'énergie base 100		100	104	105	109	119	131
dont chauffage		100	103		104	107	113
Eau chaude, cuisson		100	108		123	144	167
Elec. spécifique		100	103		134	184	239

Annexe B : les projections de la consommation d'énergie et des émissions de CO₂ du résidentiel

Consommation d'énergie du tertiaire (Mtep)

Mtep					
	1990	1992	1997	2010	2020
CGP E2010-2020 S1 (sc. « marché »)	27,6	30	33,44	42,4	47
CGP E 2010-2020 S2 (sc. « pol. ind. »)				40,4	42,4
DGEMP-OE scénario tendanciel	26,6	28,9	31,4	41,7	49,6
METL-SES tertiaire : sc. tendanciel	23,1		27,1	34,1	40,0

Base 100 en 1990					
	1990	1992	1997	2010	2020
CGP E 2010-2020 S1 (sc. « marché »)	100	109	121	153	170
CGP E2010-2020 (sc. « pol. ind. »)	100	109	118	146	153
DGEMP-OE scénario tendanciel				157	186
METL-SES tertiaire : sc. tendanciel	100		117	147	173

Emission du CO² du tertiaire (MtC)

	1990	1992	1997	2010	2020
CGP E 2010-2020 S1 (sc. « marché »)	7,9	8		10,2	11,5
CGP E 2010-2020 S2 (sc. « pol. ind. »)				9,8	11
DGEMP-OE scénario tendanciel 2010-2020	7,0	7,1	7,4	8,7	10,1
METL-SES proj. tendancielle/tertiaire	6,4		6,8	7,4	7,7
Base 100 en 1990					
CGP E 2010-2020 S1 (sc.« marché »)	100	100,9		129	145
CGP E 2010-2020 S2 (sc. « pol. ind. »)				124	139
DGEMP-OE scénario tendanciel 2010-2020	100	100,9	104,8	124	144
METL-SES proj. tendancielle/tertiaire	100		105,5	115,5	119

Annexe C : Hypothèses retenues dans l'étude SES-ENERDATA du secteur tertiaire

Hypothèses sur l'évolution des consommations unitaires de chauffage

	1997	2010	2020
L'indice d'isolation au m ² dans le neuf	100	95	90
L'indice d'isolation au m ² dans l'ancien	100	100	100
L'indice de comportements de chauffage	100	100	100

Hypothèses d'efficacité énergétiques des usages spécifiques de l'électricité

	1997	2010	2020
Indice de consommation unitaire	100	93	86

Hypothèses d'efficacité énergétiques des autres usages thermiques

	1997	2010	2020
Indice de consommation unitaire	100	100	100

➤ **Les parts de marché des énergies**

Pour chaque usage, il est nécessaire de disposer des parts de marché à l'année de base (disponibles dans les données CEREN) et d'hypothèses sur l'évolution de ces parts de marché dans les locaux neufs (hypothèses

du Commissariat général du Plan du scénario) et sur les coefficients de substitution entre énergies pour les consommations de type chauffage.

Les hypothèses sur l'évolution des parts de marché sont celles retenues dans le scénario S1 de l'atelier « Energie 2010-2020 » du Commissariat général du Plan.

Evolution des parts de marché dans le scénario S1 du CGP (unité = 1)

	1997	2010	2020
Fioul	0,20	0,14	0,12
Gaz	0,15	0,20	0,23
Électricité	0,65	0,67	0,65
Charbon	0,01	0,00	0,00

Sur la base des parts de marché observées en 1997, les parts de marché pour le chauffage en 2010 et 2020 pour chaque branche suivent une évolution comparable à celle du tertiaire dans son ensemble.

Annexe D : Les consommations d'électricité spécifique du résidentiel et du tertiaire en Mtep dans divers scénarios

Les consommations d'électricité spécifique du résidentiel et du tertiaire en Mtep dans divers scénarios

Consommation d'électricité du résidentiel (Mtep)	1990	1992	1997	2010	2020
CGP E 2010-2020 S1 (sc. « Marché »)	8,9	9,4		17,6	19,8
CGP E 2010-2020 S2 (sc. « pol. ind. »)				15,7	16,8
CGP E 2010-2020 S3 (sc. « environnement »)				14,1	13,9
DGEMP-OE scénario tendanciel = nelle réf. PNLLCC			13,0	17,5	19,7
Sc. avec mesures nouvelles du PNLLCC				15,72	16,30

Consommation d'électricité spécifique du tertiaire (Mtep)	1990	1992	1997	2010	2020
CGP E 2010-2020 S1 (sc. « Marché »)	13,5	14,5	16,11	20,3	20,5
CGP E 2010-2020 S2 (sc. « pol. ind. »)				18,3	17,5
CGP E 2010-2020 S3 (sc. « environnement »)				16,1	13,8
DGEMP-OE scénario tendanciel = nelle réf. PNLLCC		12,9	13,9	20,1	23,7
Sc. avec mesures nouvelles du PNLLCC				17,68	18,69

ANNEXE VII

MÉTHODES D'ÉVALUATION RETIENUES PAR L'ADEME

ADEME

Méthodes d'évaluation ex-ante des politiques et mesures de réduction des émissions de CO₂ liées aux secteurs de production et de consommation d'énergie

Cette note présente **5 mesures** dans le domaine énergétique permettant de réduire les émissions de CO₂. Ces mesures figurent soit dans le PNLCC, dans le PNA2E, dans le contrat de Plan 2000-2006 de l'ADEME, ou dans les directives communautaires. Ces mesures sont soit décidées, et/ou en cours d'application, soit en projet.

L'objectif de ce papier est de décrire les méthodes d'évaluation ex-ante utilisées par l'ADEME pour quelques mesures choisies à titre d'illustration, afin de prévoir les impacts en matière d'émissions de gaz à effet de serre et, dans certains cas, les coûts économiques engendrés par telle ou telle mesure. On précisera les approximations réalisées, les incertitudes conduisant à des « fourchettes » de prévision, ainsi que les améliorations souhaitables des méthodes d'évaluation (études à mener).

Mises en garde méthodologiques

Des évaluations chiffrées sont proposées pour illustrer les méthodes présentées, à partir des chiffres ADEME. Il est à noter que les réductions de consommation d'énergie estimées dans les différentes fiches sont relatives à la mesure elle-même, mais ne sont pas cumulatives. D'après nos modes d'évaluation, pour l'industrie par exemple, les investissements qui seront générés par des aides à la décision ne sont pas indépendants de ceux qui seraient générés par l'application de la TGAP. Cela ne signifie pas que l'une des mesures est inutile, mais que les méthodes d'évaluation sont trop frustres pour fournir une vision claire des processus de décision individuels qui permettraient de distinguer ces deux types de mesures.

Certaines mesures n'auront leur plein effet que couplées avec d'autres : c'est typiquement le cas de l'articulation de la TGAP avec l'aide à la décision. C'est parce que des dispositifs d'amélioration de l'information sont mis en place que les calculs rationnels pourront être effectués. Dans cette articulation, l'ordre dans lequel les mesures vont être mises en œuvre a également un impact

L'impact des taux d'aide des différentes mesures est difficile à estimer. On arrive généralement à reconstruire un effet de levier reliant investissement et économies d'énergie que l'on en attend, mais il est plus difficile d'évaluer l'impact d'un taux d'aide précis. Sur l'investissement : quel aurait-il été avec un autre taux légèrement inférieur ou supérieur ? et ce pour les différentes formes d'aide utilisées (à noter que l'encadrement communautaire des aides à l'investissement dans le secteur concurrentiel limite, en tout état de cause, les taux d'aide applicables aux entreprises).

Mesure 1 - Aide à la décision (secteur industrie)

a) Descriptif de la mesure

Le PNLCC établit une relance de l'aide à la décision (40 MF) pilotée par l'ADEME.

Le **prédiagnostic** consiste à réaliser un bilan technique simplifié, destiné à identifier et à hiérarchiser les axes d'amélioration. La subvention consacrée par l'ADEME à ce type d'étude est plafonnée à 90 % du montant de l'étude (taux applicable jusqu'au 31 décembre 2002).

Le **diagnostic** et les **études de faisabilité** permettent une analyse approfondie des marges de manœuvre de l'entreprise en matière d'amélioration de l'efficacité énergétique. Un programme d'actions assorti d'une évaluation technique et économique des différentes solutions envisageables est proposé. Il s'adresse à l'ensemble des entreprises, quel que soit leur niveau de consommation. L'ADEME subventionne ce type d'études dans une limite de 50 % du montant global du diagnostic.

b) Evaluation du gain effet de serre

On considère que la procédure d'aide aux prédiagnostics s'adresse essentiellement aux entreprises de consommation inférieure à 5 000 tep et que pour 25 % des bénéficiaires, le prédiagnostic déclenche directement un investissement générant 5 % d'économie d'énergie. Pour 50 % des bénéficiaires on estime que le prédiagnostic débouche sur la mise en œuvre d'un diagnostic et pour les 25 % restant on considère qu'il ne donne pas lieu à des suites.

Une entreprise moyenne de consommation inférieure à 5 000 tep consomme environ 1 300 tep/an.

Le taux d'impact direct du prédiagnostic est donc de (25 % des entreprises et 5 % d'économie d'énergie) :

$$0,25 * 0,05 = 0,0125$$

On attend donc un impact moyen direct d'un prédiagnostic de :

$$1\ 300 * 0,0125 \approx 16 \text{ tep économisées}$$

Par ailleurs on attend que la moitié des prédiagnostics débouche sur des diagnostics. L'étude de l'IREQ¹⁴⁷ pour l'instance d'évaluation présidée

(147) IREQ : Institut de recherches et d'études qualitatives et quantitatives.

par Y. Martin¹⁴⁸ a montré que 75 % des entreprises qui bénéficient d'un diagnostic énergétique entament une démarche d'investissement. On estime à 5 % l'économie d'énergie résultant de l'investissement pour les entreprises consommant moins de 5 000 tep/an (une entreprise moyenne de consommation inférieure à 5 000 tep consomme environ 1 300 tep/an) et à 3 % l'économie d'énergie pour les entreprises consommant plus de 5 000 tep/an (une entreprise moyenne de consommation supérieure à 5 000 tep consomme environ 35 000 tep/an).

Le taux d'impact d'un diagnostic sur entreprises de consommation inférieure à 5 000 tep est de :

$$0,75 * 0,05 = 0,0375$$

On attend donc un impact moyen d'un diagnostic sur les entreprises de consommation inférieure à 5 000 tep de :

$$1 300 * 0,0375 \approx 49 \text{ tep économisées}$$

Le taux d'impact d'un diagnostic sur les entreprises de consommation supérieure à 5 000 tep est de :

$$0,75 * 0,03 = 0,0225$$

On attend donc un impact moyen d'un diagnostic sur les entreprises de consommation supérieure à 5 000 tep de :

$$35 000 * 0,0225 \approx 800 \text{ tep économisées}$$

En moyenne, une tep de combustible fossile consommée dans l'industrie correspond à 0,7 tC¹⁴⁹.

Chaque année, l'ADEME va soutenir 500 prédiagnostics, 250 diagnostics d'entreprises de consommation inférieure à 5 000 tep, et 50 diagnostics d'entreprises de consommation supérieure à 5 000 tep. Le tableau ci-dessous évalue l'impact additionnel que l'on peut en attendre.

(148) Martin Y. (Psdt.), « *La maîtrise de l'énergie* », rapport de l'instance d'évaluation, Comité interministériel de l'évaluation des politiques publiques, *La Documentation française*, 1998.

(149) La consommation de combustibles fossiles de la branche industrie se décompose en : 7,6 % de charbon ; 38 % de pétrole et 54,4 % de gaz.

	tep additionnelle économisée/an	tC additionnelle économisée/an	tep économisée en 2010	tC économisée en 2010
Diagnostic entreprises < 5 000 tep	20 000	14 000	200 000	140 000
Diagnostic entreprises > 5 000 tep	40 000	28 000	400 000	280 000
Total	60 000	42 000	600 000	420 000

c) Evaluation du coût économique

Le budget annuel d'intervention de l'ADEME pour réaliser le soutien aux prédiagnostics, diagnostics et études de faisabilité dans l'industrie est de 20 MF. Si l'on prend en compte les coûts de transaction de la procédure (coût des agents ADEME pour la gestion des aides) sur la base de 1/3 équivalent temps plein d'ingénieur « industrie » dans chaque région plus 3 unités d'œuvre dans les services centraux on peut estimer ces coûts annuels de l'ordre de 3 MF.

⇒ Le coût pour la collectivité de la tonne de carbone évité par ces mesures est donc de :

$$(23 \text{ MF}/42\,000 \text{ tC}) = 550 \text{ F/tC}$$

Le rapport de l'instance d'évaluation estimait à 500 F/tep économisée par an pendant la durée de vie de l'équipement le coût pour la collectivité (francs 1994), pour la période 1990-1991.

La plus grande partie des évaluations proposées dans cette fiche repose sur des effets de levier évalués à l'aide des résultats de l'instance d'évaluation présidée par Y. Martin. La méthode présente donc l'inconvénient d'une généralisation de résultats obtenus à partir d'un échantillon restreint d'entreprises ayant bénéficié d'aides aux diagnostics.

Il faut toutefois signaler que le contexte des prix de l'énergie en 1991 était assez proche de celui de 2001, voire moins favorable aux investissements d'économie d'énergie. De plus le dispositif de suivi et d'évaluation n'avait pas été mis en place a priori. Pour pallier en partie ces limites, l'ADEME a mis en place, dans le courant de l'année 2000,

un dispositif permanent de suivi et d'évaluation des résultats des opérations d'aide à la décision qu'elle soutient.

Ce dispositif devrait fonctionner en *trois étapes* :

- décompte du nombre de diagnostics financés ;
- synthèse des investissements identifiés lors de la réalisation des diagnostics ;
- enquête sur les investissements qui ont effectivement été réalisés suite aux diagnostics.

Mesure 2 - Mise en place de la TGAP (secteur industrie)

a) *Descriptif de la mesure*¹⁵⁰

Le PNLCC a décidé d'élargir la TGAP aux consommations intermédiaires des industries afin de les inciter à réduire leurs consommations d'énergie en leur fournissant un signal-prix capable d'orienter leurs choix individuels. La mesure devrait être introduite de manière progressive en commençant à 150 F/tC (22,87 €) pour atteindre un niveau de 500 F/tC (76,22 €) en 2010¹⁵¹. Pour préserver la concurrence internationale des industries grosses consommatrices d'énergie, il est prévu qu'elles bénéficient d'un régime dérogatoire élaboré de manière à préserver le même niveau d'incitation. L'évaluation

(150) La TGAP a été proposée au Parlement lors du vote de la loi de finances rectificative pour 2000. Elle a été déclarée contraire à la Constitution par la décision n° 2000-1441 DC du 28 décembre 2000 du Conseil Constitutionnel. Le Conseil Constitutionnel a considéré que les différences de traitement qui résulteraient de l'application de la loi n'étaient pas en rapport avec l'objectif assigné par le législateur, et que par conséquent la proposition était contraire au principe d'égalité devant l'impôt.

(151) Le chiffre de 500 F/tC est le niveau bas de la fourchette de prix que fournissent les modèles économiques comme ceux qui devraient s'imposer sur le marché international des permis.

présentée ici est faite sur la base du taux de la taxe proposé par le PNLCC sans entrer dans le détail d'un régime particulier d'exemption.

b) Evaluation du gain effet de serre

La TGAP étant fixée pour donner un signal-prix, le choix d'investir dans des réductions d'émissions est du seul arbitrage de l'industriel : il investira si cela lui revient moins cher que de consommer de l'énergie, avec un certain taux de rentabilité interne (ou un temps de retour acceptable).

Deux méthodes peuvent être utilisées pour évaluer les résultats qu'on peut en attendre : une approche technico-économique et une approche économétrique. La première est basée sur l'analyse des gisements d'économie d'énergie et sur l'observation des comportements des entreprises en matière de décision d'investissement, étudiés par le CEREN¹⁵², la seconde est fondée sur des elasticités-prix intégrées dans le modèle POLES de l'IEPE¹⁵³.

Approche technico-économique

Le coût de la consommation d'énergie comprend le prix du combustible et le prix de la taxe qu'il faut payer :

- supposons le baril de pétrole à 25 \$, soit 1 300 F/tep (198,18 €)¹⁵⁴ ;
- la TGAP est comprise entre 150 F/tC (22,87 €) et 500 F/tC (76,22 €), soit entre 180 F/tep (27,44 €) et 600 F/tep (91,47 €).

⇒ Les investissements seront réalisés s'ils permettent de réduire chaque année les consommations d'énergie pour un coût inférieur à 1 500 F (228,67 €) ou 1 900 F (289,65 €) pour chaque tep économisée selon le niveau de la TGAP (avec un prix moyen de la tep de 1 300 F (198,18 €)).

(152) CEREN : Centre d'études et de recherches économiques sur l'énergie.

(153) IEPE : Institut d'économie et de politique de l'énergie.

(154) Rappelons qu'il faut 7,3 barils pour faire une tep et que le taux de change retenu est un dollar à 7 F.

On considère que les investissements déclenchés sont ceux pour lesquels le temps de retour est inférieur à trois ans. Les investissements déclenchés sont donc ceux dont le coût à la tep annuelle économisée est inférieur à **4 500 F/6 000 F (686,02 €/914,69 €)**.

Une étude commandée par l'ADEME au CEREN en 1993, recense l'ensemble du gisement d'économie d'énergie techniquement accessibles en 1990, dans l'industrie, à l'horizon 2005. La méthode développée consiste à examiner un certain nombre d'équipements de maîtrise de l'énergie afin d'évaluer leurs performances énergétiques, leur diffusion dans le tissu industriel et leur surcoût d'investissement¹⁵⁵. D'après cette étude, le gisement accessible à un coût inférieur à 4 500 F (686,02 €) est de 2 Mtep et à un coût inférieur à 6 000 F (914,69 €) de 4 Mtep.

Rappelant qu'en moyenne, une tep de combustible fossile consommée dans l'industrie correspond à 0,7 tC, la TGAP permettrait donc de réduire, suivant son niveau, entre 1,4 et 2,8 MtC/an

Le modèle POLES qui a été utilisé pour évaluer l'impact de la TGAP dans le cadre de l'élaboration du PNLCC estimait les réductions du secteur de l'industrie à 2 MtC par an pour une taxe d'un niveau de 500 F/tC (76,22 €).

La différence entre ces deux estimations s'explique par des questions méthodologiques. La méthode du CEREN retient tout investissement du moment où son coût à la tonne de carbone évitée est inférieur à 500 F (76,22 €) (haut de la fourchette). Or il ne s'agit pas du seul critère de décision d'un investisseur. D'une part, l'information n'est pas parfaite - d'où l'intérêt des aides au diagnostic -, et d'autre part, d'autres éléments entrent dans son calcul d'optimisation, telle la qualité de ses produits, etc. Les données du CEREN nous fournissent un potentiel tenant compte des technologies disponibles et supposent que le comportement des entreprises est mécanique alors que les résultats du modèle POLES sont basés sur une sensibilité constatée des investissements aux prix. Celle-ci

(155) L'appreciation du taux de pénétration des techniques à l'horizon choisi se fait en prenant en compte l'évolution récente de la diffusion, le champ accessible, les éventuels surcoûts d'exploitation, la qualité de fabrication, la souplesse d'utilisation, la fiabilité, l'impact environnemental, les contraintes réglementaires.

a certainement tendance à sous-estimer le potentiel de réduction, car il ne tient pas compte de l'impact des autres mesures qui peuvent être prises pour accompagner la mise en place de la TGAP. Les deux méthodes nous fournissent une fourchette de résultat : avec une taxe à 500 F/tC (76,22 €) on peut attendre des économies de carbone comprises entre 2 MtC et 2,8 MtC par an.

c) Problèmes rencontrés et perspectives d'amélioration du dispositif d'évaluation

Les données sur lesquelles sont basées l'évaluation commencent à dater. Dans le courant de l'année 1999, l'ADEME a démarré avec le CEREN une actualisation de l'étude gisement. L'année de base est 1997 et les projections seront réalisées pour 2010. D'ores et déjà une étude pilote a été réalisée sur les secteurs de l'industrie laitière et des tuiles et briques et sur trois opérations transverses que sont le froid, les moteurs et la cogénération. Une étude, démarrée en 2000, sur les principaux secteurs de l'industrie lourde, est achevée et en cours de validation par l'ADEME et les industriels. Une étude relative aux secteurs gros consommateurs de l'industrie intermédiaire a été lancée fin 2000. Une étude complémentaire est en cours pour couvrir l'ensemble des secteurs industriels.

L'ADEME s'interroge actuellement avec le CEREN sur l'amélioration du dispositif statistique existant en vue d'accompagner l'éventuelle mise en place d'une fiscalité environnementale dans l'industrie et le tertiaire.

Une des limites de cette méthode est qu'elle est statique. C'est une photographie d'un gisement à un moment donné : elle se situe à marché et techniques constants.

Mesure 3 - La nouvelle réglementation thermique (secteur bâtiment)

a) Descriptif de la mesure

Le PNLCC a décidé de renforcer la réglementation thermique en vigueur. Par ailleurs, il affiche un objectif de révision et resserrement de cette réglementation tous les 5 ans (une première étape en 2000 et une seconde en 2005). Cette programmation sera faite sur 15 à 20 ans. Le taux de renforcement pour la première étape est de 10 %.

b) Evaluation du gain effet de serre

Un rapport du CEREN¹⁵⁶ nous permet d'évaluer le nombre de constructions neuves par an, leur consommation unitaire, et la répartition de cette consommation entre les différents combustibles.

	Appart. en immeuble collectif		Maison individuelle	
	En kep	En kC	En kep	En kC
Electricité ¹⁵⁷	250	70	500	140
Gaz	520	340	380	250
Fuel	260	220	480	400
Charbon	60	70	50	60
Total	1 090	700	1 410	850

L'objectif de la réglementation thermique est de réduire les consommations d'énergie de 10 %. Le rapport de l'instance d'évaluation présidée par Y. Martin a établi que la réglementation thermique était respectée à 30 % dans le logement individuel et à 80 % dans le collectif.

(156) « Suivi du parc et des consommations d'énergie, secteur résidentiel », CEREN, 2000.

(157) Les émissions de carbone du kWh retenues sont les chiffres par usages de l'ADEME soit 61 g/kWh.

On estime par ailleurs que, conformément au PNLCC, le contrôle de la réglementation serait renforcé améliorant ainsi le taux de respect (hypothèse de 90 % dans le collectif et de 50 % dans l'individuel).

Sur les 10 dernières années, on a construit en moyenne 170 000 maisons individuelles par an et 110 000 appartements. On suppose que ce rythme se maintient entre 2000 et 2010.

Pour le taux de respect actuel de la réglementation, on évalue les réductions d'émission dans le collectif de la façon suivante (en supposant constante la contribution des différentes énergies) :

⇒ Le taux d'impact de la sévérisation de la réglementation thermique pour chaque logement collectif est de :

$$0,1*0,8 \approx 0,08$$

⇒ L'impact moyen direct de la sévérisation de la 1^{ère} étape de réglementation thermique pour chaque logement collectif est donc de :

$$700*0,08 \approx 56 \text{ kC}$$

Le PNLCC prévoit que la réglementation thermique soit sévérisée tous les 5 ans et on suppose que la prochaine étape permettra à nouveau un gain de 10 %.

⇒ L'impact moyen direct de la sévérisation de la 2^e étape de réglementation thermique pour chaque logement collectif est de :

$$644*0,08 \approx 51,5 \text{ kC}$$

Les logements collectifs neufs construits chaque année entre 2001 et 2005 auront donc des émissions réduites de 56 kC chaque année, et ceux construits entre 2006 et 2010 auront des émissions réduites de $56 + 51,5 = 107,5 \text{ kC}$. Pour un taux de respect de 90 % on obtient des réductions unitaires respectivement de 63 kC et 121 kC.

On effectue le même calcul pour les maisons individuelles :

		Taux d'impact	Impact indiv. 1 ^{ère} étape (kC)	Impact/an additionnel 1 ^{ère} étape (tC)	Impact indiv. 2 ^e étape (kC)	Impact/an additionnel 2 ^e étape (tC)	Impact en 2010 (ktC)
Logement collectif	Respect à 80 %	0,08	56	6 160	107,5	11 825	90
	Respect à 90 %	0,09	63	6 930	121	13 310	101
Logement individuel	Respect à 30 %	0,03	25,5	4 335	50	8 500	64
	Respect à 50 %	0,05	42,5	7 225	83,3	14 161	107

Le gain que l'on peut attendre de cette mesure en 2010 est donc compris entre 154 kteC (hypothèse du maintient du taux de respect) et 208 kteC (hypothèse du renforcement des contrôles) selon l'impact des mesures prises pour renforcer le taux d'application.

c) Evaluation du coût économique

Aucun coût économique particulier n'est à retenir, car les économies de combustible réalisées grâce à la mise en œuvre de la réglementation thermique compensent le surcoût à la construction des bâtiments.

d) Problèmes rencontrés et perspectives d'amélioration du dispositif d'évaluation

Comme la plupart des méthodes d'évaluation, cette méthode repose essentiellement sur une photographie du présent. Elle ne permet pas de rendre compte d'une évolution de la structure du parc de logements, ou de la structure de consommation des combustibles, par exemple. De plus, les taux de respect de la réglementation sont issus d'une seule étude dont la représentativité de l'échantillon peut être remise en question.

Mesure 4 - Actions sur le transport urbain de voyageurs (secteur transport)

a) Descriptif de la mesure

La loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie du 30 décembre 1996 a rendu obligatoire pour toutes les agglomérations de plus de 100 000 habitants l'élaboration d'un Plan de déplacement urbain (PDU). Ces plans définissent les principes de l'organisation des transports de personnes et de marchandises, de la circulation et du stationnement.

Les orientations de ces plans comprennent notamment la diminution du trafic automobile, le développement des transports collectifs, de la bicyclette et de la marche à pied, l'aménagement de la voirie, l'organisation du stationnement, le transport et la livraison de marchandises et enfin l'incitation au covoiturage et à l'utilisation des transports en commun.

Il faut toutefois mentionner que sur les 27 PDU arrêtés ou approuvés au 30/6/2000, aucun ne mentionne l'effet de serre, et que la consommation d'énergie, en lien ou non avec les émissions de CO₂ n'est abordée que dans 7 d'entre eux.

Le PNAEE identifie des nouvelles mesures en matière d'organisation des transports urbains. L'ADEME est chargée de mettre en œuvre l'animation de la demande de transports urbains et, à ce titre a mis en place les mesures suivantes :

- Aide à la décision à destination des collectivités locales, autorités d'organisation des transports urbains (aide de 50 % à 70 % des coûts des études) visant les objectifs suivants :
 - études d'impact énergie-émissions de projets ponctuels (implantation de centres commerciaux...) et études d'impact des PDU ;

- bilan énergie-émissions des déplacements ou du transport de marchandises en ville ;
- évaluation ex-post des PDU.
- Aide à la décision (taux de 50 %) et aide à des opérations exemplaires (taux de 20 à 30 %) des collectivités (plans de déplacements entreprises publiques, covoiturage, élaboration de politiques vélos, systèmes de transport à la demande pour flux faibles, optimisation de l’intermodalité).
- Aide à la décision à destination des entreprises pour l’élaboration de plans de déplacements entreprises (aide de 50 % pour les études) et soutien à des opérations exemplaires de mise en œuvre de ces plans ou d’opérations de covoiturage (aide de 20 % à 30 % des investissements) ; aide à des expérimentations d’auto-partage pour associations ou entreprises (aide aux études à 50 % et aide aux opérations exemplaires à 20 % à 30 %).

b) Evaluation du gain effet de serre

L’enjeu total de la mise en place effective des PDU a été évalué par l’INRETS à 10 milliards de véhicules-kilomètres en 2015 (8 % de la circulation dans les zones concernées). Ils supposent que ce taux s’applique à l’ensemble des circulations en zone urbaine pour les agglomérations, leur résultat en termes d’effet de serre serait de 350 000 tC à 500 000 tC en 2010.

Les comparaisons « air » ont été à chaque fois établies sur un calcul d’émissions polluantes hors CO₂. Les résultats sont assez variés puisque les comparaisons entre scénarios du PDU et situation de référence (« fil de l’eau » sans PDU) au même horizon montrent des diminutions annoncées comprises entre 60 % (Angers) et 20 % (Strasbourg, Rouen). Les écarts entre scénarios les plus marqués sont relevés à Rouen (20 %) mais s’établissent le plus souvent autour de 5 % (Metz, Strasbourg).

Les résultats de modélisation présentés dans les quelques PDU qui ont traité la question des émissions de CO₂ montrent que, même avec un scénario volontariste, les quantités de CO₂ émises seront au mieux stables par rapport à la situation actuelle.

Aux Pays-Bas, la mise en œuvre des plans de mobilité d’entreprise s’est traduite par une réduction de 14 % des kilométrages effectués en voiture particulière pour les déplacements domicile-travail (transférés vers les transports en commun, le vélo ou le covoiturage). Les expériences menées en France aboutissent à une réduction de 5 % grâce à la seule mise en place du covoiturage.

La part de la voiture est inférieure de 10 à 15 points dans les villes comme Freibourg en Allemagne, ou Zurich en Suisse, avec une hausse corrélative du vélo.

Une réduction de la part de la voiture particulière de l’ordre de 5 % au bénéfice des transports collectifs, du covoiturage et des modes non motorisés semble donc constituer un objectif atteignable à l’horizon 2010. Un tel transfert correspondrait à une économie annuelle de 380 000 ttep de carburant (en admettant un report réparti à parts égales vers le vélo à consommation nulle, les transports publics et le covoiturage, dont la consommation par passager-kilomètre est de l’ordre de la moitié de celle de la voiture particulière).

c) Evaluation du coût économique

Il est difficile d’identifier un volet « effet de serre » aux coûts de financement des PDU, notamment parce que, comme nous l’avons souligné, la lutte contre l’effet de serre - ou la maîtrise de l’énergie - constitue rarement un objectif clairement poursuivi. Le budget d’un PDU inclut ce qui peut être imputé sur des budgets « classiques » des services de voirie, d’investissements déjà programmés, et d’autres qui relèvent spécifiquement du PDU (transports en commun, voire modes de proximité).

Si les méthodes de suivi permettent de disposer d’une évaluation en termes d’émissions, il sera possible d’évaluer le coût de la tC évitée par la mise en place d’un PDU. Pour le moment seuls 5 d’entre eux abordent de façon très complète le coût de mise en œuvre des actions. Il restera toutefois difficile à déterminer la mesure dans laquelle ce coût peut être

attribué à la lutte contre l'effet de serre. S'il ne s'agit pas de mesures à coût négatif, il s'agit sans conteste de mesures sans regret¹⁵⁸.

d) Problèmes rencontrés et perspectives d'amélioration du dispositif d'évaluation

Nous n'avons aucun recul sur ce type d'instruments, et donc aucune évaluation a posteriori. Certains exercices dans des villes européennes étrangères sont proches dans l'esprit des PDU, mais aucune n'a la même ampleur et ne peuvent pas servir de support méthodologique.

Les méthodes d'évaluation ex-ante étaient très parcellaires. Le dispositif de suivi pour en évaluer les résultats ex-post n'est pas encore clairement déterminé. La base essentielle consiste dans des comparaisons d'enquêtes « ménages » effectuées avant et après la mise en œuvre des PDU. Or seule la moitié des agglomérations concernées par les PDU disposent d'une enquête « ménages » datant de ces 5 dernières années. Trois de celles qui n'en ont pas envisagent de réaliser une telle enquête en 2000-2001, mais pour celles qui ne le prévoient pas, il leur appartient de définir leur « état zéro » ainsi que les moyens pour comparer les déplacements dans leur agglomération tels qu'ils seront dans quelques années à ce qu'ils sont aujourd'hui.

Il est envisagé que le GART, le CERTU et l'ADEME établissent un observatoire de la mise en œuvre de ce qui a été observé dans les PDU. A plus long terme, dans le cadre du PREDIT, des recherches devraient améliorer les outils de modélisation de l'évaluation des PDU.

(158) Une mesure à coût négatif est une mesure qui aurait méritée d'être prise dans un pur souci d'optimisation économique individuelle quelles que soient ses autres conséquences. Une mesure sans regret est une mesure qui coûte quelque chose mais qui méritait d'être prise pour d'autres objectifs. Il est alors difficile de départager la répartition des coûts entre les différents objectifs.

Mesure 5 - Le développement de la production d'électricité à partir d'ENR

a) Descriptif de la mesure

Nous nous plaçons dans la perspective de l'application du projet de directive sur la promotion de « sources d'énergie renouvelables » pour la production d'électricité, tel qu'approuvé par le Conseil des ministres de l'Énergie de l'UE le 05/12/2000, en cours d'examen par le Parlement.

L'objectif assigné à la France est d'assurer 21 % de sa consommation intérieure (i.e. Production – Exports) en 2010 par des sources d'énergie renouvelables (SER), grande hydraulique comprise. La traduction de cet objectif en quantité d'électricité SER supplémentaire en 2010 dépend de l'évolution de la demande à cet horizon (et donc du développement de la MDE) et du niveau des exportations, et donc de certaines hypothèses et scénarios macro-énergétiques.

L'ADEME s'est arrêtée sur le chiffre de 46 TWh supplémentaires à partir de SER en 2010, et a considéré qu'il n'y avait pas de développement possible de la grande hydraulique ($> 10 \text{ MW}$). A titre d'exemple, la répartition de cette production par filière ENR est présentée dans le tableau ci-après :

	Éolien	Petite hydrau.	Biomasse biogaz+méth.	Biomasse Cogén.	Biomasse en UIOM*	Géoth. et photov.	Total (sur 10 ans)
Obj. ADEME	35,2 TWh	4 TWh	2,7 TWh	2,4 TWh	0,7 TWh	1 TWh	46 TWh
Dont PNLLCC	8 TWh	0	0	0	0	0	
Prod. therm. ass.	0	0	0	9,6 TWh	0	0	
Prod. él./puiss. inst.	2 700 h	4 000 h	7 000 h	4 000 / 7 000 h	7 000 h	n.d.	
Puiss. él. à installer	14 000 MW	1 000 MW	380 MW	400 MW	0	n.d	15,8 GW

* UIOM : Usines d'incinération des ordures ménagères

b) Evaluation du gain effet de serre

Emissions évitées de CO₂ - Cette évaluation repose sur la valeur attribuée au contenu CO₂ du kWh électrique. Ce contenu dépend très fortement du moyen de production évité par la production ENR : quasi nul pour le nucléaire et l'hydraulique, ce contenu est de l'ordre de 250 gC/kWh pour une centrale charbon, et d'environ 25 gC/kWh en moyenne en France aujourd'hui. De plus, le contenu CO₂ du kWh électrique va être amené à augmenter d'ici 2010 de par la croissance de la demande et l'installation de nouveaux moyens de semi base, sans doute en cycles combinés gaz.

La valeur retenue par l'ADEME pour l'évitement d'émission de CO₂ par **l'éolien, la PCH (Pompe à chaleur) et la biomasse en UIOM (Usines d'incinération des ordures ménagères)** est de 87 gC/kWh él., soit la valeur du PNLLCC : 1 700 MW d'éolien produisant 4,6 TWh évitent 0,4 MteC. Le kWh « marginal » (dernier kWh produit) émettait en 1997 150 gC en moyenne annuelle (source ADEME, données DIGEC).

Pour le **biogaz**, on considère que 50 % (hypothèse basse : 25 %) du biogaz transformé en électricité aurait été émis spontanément dans l'atmosphère. La production d'un kWh électrique par combustion du biogaz permet d'éviter 800 gC d'émissions de GES (le biogaz contient environ 50 % de CH₄). On retient donc la valeur de 400 gC/kWh él. évités (hypothèse basse : 200 gC/kWh).

Pour la **biomasse en cogénération**, le rendement moyen électrique étant de 15 % et le rendement thermique de 60 %, la production d'un kWh élec. s'accompagne de la production de 4 kWh thermiques. Ces 4 kWh thermiques, produits par une chaudière gaz (rendement 90 %) auraient émis 246 gC (la combustion d'un kWh PCI de gaz émet 56 gC). La production d'1 kWh él. par cogénération bois évite donc $87 + 246 = 330$ gC.

Le tableau suivant montre les résultats de l'évaluation, une fois toutes les installations couplées :

	Éolien	Petite hydrau.	Biomasse biogaz+méth	Biomasse Cogén.	Biomasse en UIOM	Géoth. et photov.	Total (sur 10 ans)
Obj. ADEME	35,2 TWh	4 TWh	2,7 TWh	2,4 TWh	0,7 TWh	1 TWh	46 TWh
gC évités par kWh él.	87	87	200-400	330	87		
Emissions évitées en 2010	3 MtC	0,35 MtC	0,55-1,1 MtC	0,8 MtC	0,06 MtC	n.d.	4,8-5,3 MtC/an

c) *Evaluation du coût économique*

Coûts d'investissement

Les fourchettes indiquées proviennent des sources ADEME. L'objectif géothermie et photovoltaïque n'est pas comptabilisé en investissement, par manque d'informations ; l'objectif « biomasse en UIOM » n'est pas comptabilisé en investissement (UIOM existantes).

Prise en charge du surplus de coût de production

On ne comptabilise ici que la part des coûts pris en charge par le fonds des charges du service public de l'électricité, mis en place par la loi du 10/02/2000. Dans le cadre de l'obligation d'achat, ce fonds compense la différence entre le prix d'achat fixé par arrêté et le coût évité pour EDF.

Aujourd'hui, les arrêtés du ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie (MINEFI) instituant les tarifs d'achat, filière par filière, ne sont pas parus. L'évaluation des coûts évités, du ressort de la Commission de régulation de l'électricité (CRE), ne sont pas non plus établis. Les premières indications concernent l'éolien, avec un tarif de rachat de 55 cF/kWh les 5 premières années, et un tarif dégressif les années suivantes. Le coût évité devrait se situer aux alentours de 25 cF/kWh.

On a donc pris comme hypothèse une fourchette de prise en charge par la collectivité (en l'occurrence par les acheteurs d'électricité) de 15 à 30 cF par kWh produit à partir de sources d'énergie renouvelables. On aboutit au tableau suivant, où le surplus annuel est évalué en 2010, une fois l'ensemble des installations SER couplées au réseau.

	Éolien	Petite hydrau.	Biomasse biogaz+méth	Biomasse Cogén.	Biomasse en UIOM	Géoth. et photov.	Total (sur 10 ans)
Obj. ADEME	35,2 TWh	4 TWh	2,7 TWh	2,4 TWh	0,7 TWh	1 TWh	46 TWh
Puiss. él. à installer	14 000 MW	1 000 MW	380 MW	400 MW	0	n.d	15,8 GW
Invest. MF/MW	7	8 à 15	20	10	0		
Invest. total	98 GF	8-15 GF	8 GF	4 GF	0		118 à 125 GF
Surplus obligation d'achat (en 2010)	5,6 GF/an	0,6 à 1,2 GF/an	0,4 à 0,8 GF/an	0,4 à 0,8 GF/an	0,15 à 0,30 GF/an	0,02 à 0,04 GF/an	7,2 à 8,7 GF/an

d) Problèmes rencontrés et perspectives d'amélioration du dispositif d'évaluation

Evaluation effet de serre : Il est nécessaire de préciser le contenu CO₂ du kWh déplacé par le fonctionnement des nouveaux moyens de production SER. Des travaux devraient démarrer prochainement sur ce sujet dans le cadre de l'accord ADEME-EDF, à partir de contributions récentes provenant des deux organismes.

Evaluation économique

Plusieurs questions doivent être approfondies :

- l'évolution des coûts d'investissement, au fur et à mesure de la maturation des filières ENR et de l'apparition des effets d'échelle ;
- l'évolution des prix d'achat dans le temps de l'électricité SER ;
- l'évaluation des autres externalités environnementales et de développement local des installations ENR.