

n°-008378-01

Février 2013

Le facteur 4 en France : la division par 4 des émissions de gaz à effet de serre à l'horizon 2050

Rapport final



Le facteur 4 en France : la division par 4 des émissions de gaz à effet de serre à l'horizon 2050

Rapport final

Errata

Page 74, au paragraphe

2.2.2.4. Les recommandations du GIEC et le G8

Au lieu de

« Les émissions ne devront pas dépasser 0,6 t C équ. / habitant (2,2 t CO₂ équ.), ce qui pour la France (2,0 t C équ., soit 7,5 t CO₂ équ. / habitant en 1990) exige un facteur de réduction environ égal à 4 (« Facteur 4 »). »

Il faut lire :

« Les émissions ne devront pas dépasser 0,6 t C équ. / habitant (2,2 t CO₂ équ.), ce qui pour la France (2,5 t C équ., soit 9,5 t CO₂ équ. / habitant en 1990) exige un facteur de réduction environ égal à 4 (« Facteur 4 »). »

Page 74, au paragraphe :

2.2.2.6. Le « paquet climat-énergie » européen et les prévisions de l'Union européenne

Au lieu de :

« (5,6 t CO₂ équ. en France, 9,6 t en Allemagne), »

Il faut lire :

« (5,8 t CO₂ équ. en France, 9,7 t en Allemagne en 2007 hors UTCF), »

Page 117, au paragraphe

5.1. Les émissions dues à l'agriculture – UTCF (utilisation des terres, leurs changements et la forêt) et les politiques menées en agriculture

Au lieu de :

« Ce stockage absorbe de l'ordre de 30 % des 33 milliards de téq CO₂ »

Il faut lire :

« Ce stockage absorbe de l'ordre de 30 % des 33 milliards de t CO₂ »

CONSEIL GÉNÉRAL
DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE

Rapport n° : 008378-01

**Le facteur 4 en France : la division par 4
des émissions de gaz à effet de serre
à l'horizon 2050**

Rapport final

établi par

Jean-René Brunetière (coordonnateur)

Sylvie Alexandre

Marc d'Aubreby

Georges Debiesse

André-Jean Guérin

Bernard Perret

Dominique Schwartz

Ingénieurs généraux des ponts, des eaux et des forêts

Février 2013

Fiche qualité

La mission du CGEDD qui a donné lieu à la rédaction du présent rapport a été conduite conformément au dispositif qualité du Conseil⁽¹⁾.

Rapport CGEDD n°008378-01

Date du rapport : Février 2013

Titre : Le facteur 4 en France : la division par 4
des émissions de gaz à effet de serre
à l'horizon 2050

Sous-titre du rapport : Rapport final

Commanditaire(s) : vice-président du CGEDD

Date de la commande : 24 mars 2012

Auteur(e)s du rapport (CGEDD) :

Jean-René Brunetière

Sylvie Alexandre

Marc d'Aubreby

Georges Debiesse

André-Jean Guérin

Bernard Perret

Dominique Schwartz

Coordonnateur : Jean-René Brunetière

Superviseur : Jean-Paul Ourliac

Relecteurs : Pascal Douard, Dominique David, Patricia Valeur

Membres du comité des pairs :

Jean-Paul Ourliac, président

Michel Badré

Bernard Brillet

Jean-Philippe Duranthon

Jean-Claude Gazeau

Nombre de pages du rapport (sans les annexes) : 136

(1) Guide méthodologique s'appliquant aux missions confiées au CGEDD

http://webissimo.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/007204-02_guide_methodologique_cgedd_2012_05_04_cle2e6cae.pdf

Sommaire

12 points clés soumis au débat.....	6
Résumé.....	9
Les engagements de la France dans le contexte européen.....	9
Le système de suivi.....	11
Perspective économique.....	12
Le pilotage en itinéraire accidenté.....	13
Les émissions par secteur 1990-2011.....	14
Les travaux de prospective.....	14
Les transports.....	16
<i>Le transport de marchandises à longue distance.....</i>	<i>17</i>
<i>Les déplacements de voyageurs à longue et moyenne distance.....</i>	<i>18</i>
<i>Les transports urbains ou périurbains.....</i>	<i>18</i>
L'industrie.....	19
L'agriculture et l'UTCF.....	21
Le bâtiment.....	26
L'énergie.....	29
Conclusions.....	32
 Liste des recommandations (par ordre d'apparition dans le texte du rapport)	 34
 Introduction.....	 38
La commande.....	38
L'objet.....	38
La démarche.....	38
Les enjeux.....	40
 1. Éléments de méthode.....	 41
1.1. Pourquoi une approche par secteur est-elle nécessaire ?.....	41
1.1.1. <i>Les divers modes de régulation coexistant ou possibles : quotas négociables, fiscalité, réglementation, subventions.....</i>	<i>41</i>
1.1.2. <i>Investir dans l'ordre des bénéfices actualisés décroissants ?.....</i>	<i>42</i>
1.2. La méthode retenue.....	43
1.2.1. <i>Un inventaire des connaissances disponibles.....</i>	<i>43</i>
1.2.2. <i>Les différents types d'hypothèses qui sous-tendent les scénarios prospectifs.....</i>	<i>43</i>
1.3. Les approches économiques globales.....	44
1.3.1. <i>Coûts et modèles, les approches des économistes.....</i>	<i>44</i>
1.3.2. <i>L'évaluation d'une politique d'abattement : coût-avantage ou coût-efficacité ?.....</i>	<i>46</i>
1.3.3. <i>Les différentes catégories de coûts.....</i>	<i>50</i>
1.3.4. <i>Des liens complexes entre les concepts et des erreurs dans l'interprétation des résultats.....</i>	<i>53</i>

1.3.5. Les types de modèles mis en œuvre.....	59
1.3.6. Prix de l'énergie, prix du fossile et prix du CO2 ; trop de fossile disponible....	63
2. Engagements et système d'observation.....	67
2.1. Le cadre de réflexion.....	67
2.1.1. Énergie et gaz à effet de serre.....	67
2.1.2. L'énergie parmi les secteurs de l'économie.....	67
2.1.3. Les implications sociales, politiques et diplomatiques.....	68
2.2. L'état des engagements et des prévisions d'émission de gaz à effet de serre.....	69
2.2.1. Les fondements scientifiques du « facteur 4 », rappel sommaire.....	69
2.2.2. Les engagements de la France.....	71
2.3. Les outils de mesure : organismes, sources et méthodes.....	77
2.3.1. Les obligations de compte rendu et la nature des rapports.....	77
2.3.2. Les sources principales.....	78
2.3.3. Incertitudes et traçabilité.....	80
2.4. État des émissions et trajectoires suivies.....	82
2.4.1. L'accès aux données.....	82
2.4.2. Évolution globale des émissions.....	82
2.5. L'exploration de l'avenir : les travaux de programmation et de prospective.....	84
2.5.1. Les prévisions publiques.....	84
2.5.2. Le rapport d' « Entreprises pour l'environnement » (2011).....	87
2.5.3. Observation sur le « prix du carbone ».....	87
3. Le secteur des transports.....	88
3.1. L'état des lieux.....	88
3.1.1. Émissions de CO2 et des autres gaz à effet de serre.....	88
3.1.2. Le lien avec la problématique énergie.....	90
3.2. Les travaux de prospective européens et français et les politiques programmées dans les transports.....	92
3.2.1. Le rapport « Prospective 2050 » du CGPC (2006).....	92
3.2.2. Le rapport de la commission énergie du CAS (2007).....	93
3.2.3. Le rapport PREDIT du LET et d'ENERDATA.....	94
3.2.4. Le rapport « Global Chance ».....	95
3.2.5. Le rapport TRANSvisions « on Transport Scenarios with a 20 and 40 Year Horizon ».....	95
3.2.6. Le rapport du CGEDD sur l'évolution du fret terrestre à l'horizon de 10 ans.	95
3.2.7. Le rapport PREDIT de Samarcande Études et Conseil.....	95
3.2.8. La politique des biocarburants	96
3.3. Les coûts d'abattement.....	97
3.3.1. Les travaux connus.....	97
3.3.2. Le champ de l'inconnu.....	98
3.4. Problématique par sous-secteur.....	99
3.4.1. Le transport longue distance marchandises.....	99
3.4.2. Le transport longue distance de personnes.....	100
3.4.3. Les transports périurbains.....	101

3.4.4. Le transport courte distance et les usages urbains.....	102
3.4.5. Synthèse du secteur des transports.....	103
4. Le secteur de l'industrie.....	105
4.1. La situation et la prospective dans l'industrie.....	105
4.1.1. La baisse des émissions de GES entre 1990 et 2010 dans l'industrie manufacturière.....	105
4.1.2. Les prévisions d'évolution des émissions dans l'industrie.....	106
4.2. Quelle logique économique ?.....	108
4.2.1. L'influence constatée des permis d'émission.....	109
4.2.2. Sensibilité des émissions de GES aux prix (notamment à un prix du CO2 ou à un prix du carbone fossile).....	113
4.2.3. Y a-t-il une limite aux économies d'émissions ?.....	114
4.2.4. Les certificats d'économies d'énergie.....	115
4.2.5. Effets de frontière fiscalité-quotas-réglementation.....	115
4.3. Synthèse pour le secteur de l'industrie.....	116
5. Le secteur agriculture, utilisation des terres et leurs changements et la forêt (UTCF).....	117
5.1. Les émissions dues à l'agriculture – UTCF (utilisation des terres, leurs changements et la forêt) et les politiques menées en agriculture.....	117
5.1.1. Les émissions de gaz à effet de serre de l'agriculture.....	117
5.1.2. L'utilisation des terres, leurs changements et la forêt (UTCF).....	119
5.2. Les travaux de prospective en agriculture et UTCF.....	123
5.2.1. « Prospective agriculture énergie 2030 ».....	123
5.2.2. « Agriculture et Facteur 4 ».....	124
5.2.3. Les études Réseau Action Climat/FNH : recueil d'expériences internationales.....	125
5.2.4. La « feuille de route » européenne.....	126
5.2.5. Les scénarios ADEME 2030 et 2050.....	126
5.3. Perspectives et trajectoires sur la forêt et l'UTCF.....	128
5.4. Les problématiques spécifiques au secteur « Agriculture UTCF ».....	130
5.4.1. Les coûts d'abattement : l'étude du potentiel agricole pour l'atténuation des émissions de GES en France et le projet REACCTIF.....	130
5.4.2. L'UTCF.....	131
5.4.3. Synthèse agriculture UTCF.....	134
6. Le secteur du bâtiment.....	135
6.1. État des lieux et prévisions sur le bâtiment.....	135
6.1.1. Les objectifs.....	135
6.1.2. État des lieux.....	137
6.1.3. Perspectives.....	140
6.2. Problématiques du secteur du bâtiment.....	141
6.2.1. Logement et tertiaire.....	141
6.2.2. La construction neuve, son impact et ses enseignements.....	141
6.2.3. Les coûts d'abattement.....	143

6.2.4. Synthèse du secteur bâtiment.....	145
7. L'énergie.....	147
7.1. La prospective sur l'énergie : le rapport « Énergie 2050 ».....	147
7.2. Les choix dans le secteur de l'énergie.....	148
7.2.1. Les hydrocarbures de roche-mère (gaz de schistes notamment) et le changement climatique.....	149
7.2.2. Le nucléaire, sa décroissance prévue et son renouvellement.....	151
7.2.3. Les potentiels des énergies décarbonées et leur insertion économique.....	152
7.2.4. Les incertitudes sur la maturation des techniques nouvelles, notamment de stockage.....	155
8. Les questions intersectorielles.....	159
8.1. Biomasse et CO2.....	159
8.1.1. Les potentialités et le gisement (hors déchets).....	159
8.1.2. Les problématiques.....	160
8.2. L'aménagement du territoire et l'urbanisme.....	161
8.2.1. Les « plans climat territoriaux ».....	161
8.2.2. « Éclatement urbain » et facteur 4.....	161
8.3. L'énergie « 2.0 ».....	163
8.3.1. La « 3e révolution industrielle » : les ouvrages récents (Gilles Berhault, Jeremy Rifkin, Joël de Rosnay.....)	163
8.4. Les évolutions de comportement.....	164
8.4.1. L'usage des bâtiments :.....	164
8.4.2. Les déplacements.....	166
Conclusion.....	168
Annexes.....	174
1. Lettre de mission.....	175
2. Liste des personnes rencontrées.....	178
3. Pouvoir de réchauffement global et définitions.....	180
4. Essai de parangonnage avec l'Allemagne et le Royaume-Uni.....	182
4.1. Allemagne : le consommateur allemand paiera-t-il pour la transition énergétique ?	182
4.2. Royaume-Uni.....	183
5. Ressource d'avenir ou menace climatique : les hydrates de gaz naturel..	185
6. La négociation du Climat, et la question des forêts et du secteur UTCF.	187
7. Extrait d'un rapport parlementaire (Assemblée nationale n° 3021 rapport fait au nom de la mission sur l'effet de serre, 12 avril 2006).....	203

8. Les objectifs du Grenelle peuvent-ils être atteints par des constructions neuves ?.....	204
9. La RT 2012 est-elle « rentable » ?.....	205
9.1. En euros.....	205
9.2. En émissions de CO2.....	206
10. Extrait du code de la construction « Section 4 : limitation de la température de chauffage ».....	208
11. L'ordinateur et le chauffage.....	210
12. Coûts d'abattement liés aux énergies éolienne et photovoltaïque.....	211
13. Glossaire des sigles et acronymes.....	212

12 points clés soumis au débat

1° L'influence sur le climat des émissions anthropiques de gaz à effet de serre (GES) met en cause la survie de nos civilisations si une réaction vigoureuse n'est pas entreprise très rapidement à l'échelle mondiale. La Conférence des parties de 2015 (COP 21) de la Convention Cadre des Nations unies sur le Changement Climatique, que la France a proposé d'organiser en 2015, sera décisive.

2° La France respecte formellement ses engagements au titre du protocole de Kyoto, mais il s'agit d'un résultat en trompe l'œil : l'« empreinte carbone » par habitant des Français a augmenté de 15 % en 20 ans si on prend en compte le solde des échanges extérieurs de GES.

3° Le « paquet climat-énergie » européen sur lequel la plupart des pays européens fondent leur programmation reporte de manière injustifiée les efforts à plus tard. Il prévoit un rythme de diminution relative des émissions faible entre 1990 et 2020 (20 % en 30 ans soit 0,7 % par an) puis un rythme croissant de diminution de décennie en décennie pour imposer à nos successeurs des années 2040 à 2050 un rythme insoutenable, sauf miracle technologique (plus de 6 % par an). Rien ne justifie une telle préférence pour le présent. La « feuille de route » européenne de mars 2012 évoque une réduction de 25 % en 2020 au lieu de 20 % : il est indispensable que la France s'y associe et l'applique pour elle-même.

4° La plupart des exercices de prospective fondés sur des hypothèses « raisonnablement optimistes » aboutissent à un facteur de réduction des émissions de GES de 2 à 2,5 plutôt que 4 entre 1990 et 2050. Pour atteindre le « facteur 4 » en 2050, tous les experts s'accordent sur la nécessité urgente de donner une valeur au carbone, c'est-à-dire de rendre plus coûteuses les activités émettrices de GES (et donc les consommations d'énergie fossile) qu'elles ne le sont aujourd'hui. La mission s'associe pleinement à cette analyse. Cette valorisation du CO₂ peut prendre des formes différentes :

- la taxation du GES émis ;
- la hausse de la taxation sur les causes d'émission, pour l'essentiel les hydrocarbures fossiles ;
- les systèmes de permis d'émission contingentés tels que le système européen des quotas d'émissions négociables (*European emissions trading system* ou EU ETS) ;
- la réglementation : en effet les normes contraignantes, telles que la réglementation thermique 2012 (RT 2012) ou les limites d'émission des véhicules, ont pour effet économique de « valoriser » implicitement les émissions (à un niveau qui peut être élevé dans les faits).

5° Le choix des dispositifs de valorisation des GES selon les secteurs doit prendre en compte le degré d'acceptabilité sociale des mesures correspondantes. Toutes choses égales par ailleurs, la mission émet une préférence pour une taxation modulée des hydrocarbures, lissant dans le temps les effets erratiques du marché mondial et programmant une hausse régulière des prix. Une part du produit de cette taxation doit être consacrée à des mesures en faveur des ménages les plus pauvres, indépendantes de leur situation énergétique, qui évitent globalement l'aggravation de leur situation. Enfin, on peut remarquer que toute taxation de l'énergie améliore le bilan des mesures destinées à l'économiser (des actions non rentables à un certain prix de l'énergie devenant rentable si le prix est plus élevé).

6° Plusieurs rapports ont cherché à estimer une valeur tutélaire du GES émis (un « prix du CO₂ équivalent ») qui soit la même dans toute l'économie. Ce prix unique, qui a le mérite de la simplicité et qui serait justifié dans un monde idéal où un optimum de Pareto serait accessible, n'est pas la meilleure option dans notre monde « de second rang », où il vaut mieux accepter des « prix du CO₂ » différenciés selon les activités auxquelles ils s'appliquent.

7° Le bâtiment constitue le gisement le plus immédiatement exploitable d'économies de GES, même si les coûts d'abattement peuvent y être élevés. La mission constate la bonne acceptation des réglementations dans le neuf, mais des signes d'essoufflement de l'effort dans le parc existant. Elle estime qu'il y a nécessité d'envisager des obligations de faire dans ce secteur (formulées autant que possible en termes de résultat) en s'appuyant, le cas échéant, sur les grands opérateurs (sur le mode des certificats d'économie d'énergie).

8° La compétition autour des techniques « bas carbone » est engagée au plan mondial. L'enjeu économique est immense et la recherche française a indubitablement des atouts. Le coût de l'électricité, moins élevé en France que chez ses voisins est un avantage immédiat pour la compétitivité des entreprises et le pouvoir d'achat des ménages, mais constitue un handicap pour la rentabilité économique des énergies renouvelables décarbonées, notamment éolienne et issue de la biomasse. D'autre part, la non répercussion du coût d'amortissement économique de l'appareil de production nucléaire sur le consommateur crée artificiellement une « rente » en sa faveur. Il faut donc mobiliser cette « rente » pour déployer dès maintenant les énergies renouvelables matures (notamment l'éolien terrestre) et financer la recherche sur les prochaines générations technologiques (panneaux photovoltaïque à haut rendement, batteries électrochimiques économiques, cycle hydrogène, capture et séquestration du carbone - CSC - nucléaire de 4^e génération...).

9° La biomasse, en particulier le bois, doit être considérée d'abord comme un matériau et une source de matière première renouvelable susceptible de remplacer efficacement d'autres matériaux et sources d'énergie, en évitant des émissions de GES. Ce faisant, c'est en outre un outil peu onéreux pour capter et séquestrer du carbone : la gestion de la forêt française est un enjeu important pour l'économie des GES.

10° Les déplacements de courte et moyenne distance (urbains et périurbains notamment) peuvent connaître une révolution en deux décennies, qui les amène à une décarbonation prononcée, grâce au développement des « modes doux » et des services partagés, mais aussi à des systèmes globaux intégrant véhicules électriques, stockages d'énergie liés à l'habitat, production locale d'énergies intermittentes décarbonées et « réseaux intelligents » (« *smart grids* »). Ces formes d'intégration, aujourd'hui encore loin de la rentabilité, pourront entrer dans le marché dans la décennie 2020-2030 et il faut s'y préparer dès maintenant.

11° La difficile question des comportements doit être approfondie : les Français ne donnent pas dans leur comportement une grande priorité à la lutte contre les émissions de GES. Il faut poursuivre les recherches permettant de comprendre comment parvenir à une mobilisation à la hauteur de l'enjeu, et entreprendre des efforts importants de pédagogie.

12° Enfin, il y a lieu de structurer une fonction d'observatoire de la lutte contre le risque climatique mettant en synergie la production de données (mesures d'émission, veille technologique et économique...) leur évaluation, la pédagogie et la mise en débat du

« tableau de bord du facteur 4 » avec les parties prenantes. La forme à lui donner pourrait être mise à l'ordre du jour des débats sur la transition énergétique.

Résumé

« Pourquoi faudrait-il que je me préoccupe des générations futures ?

Ont-elles une seule fois fait quelque chose pour moi ? »

Groucho Marx

L'influence des émissions anthropiques de gaz à effet de serre (notamment de gaz carbonique (CO₂), de méthane (CH₄) et de protoxyde d'azote (N₂O)) sur l'évolution du climat n'est plus à démontrer. Elle se manifeste par un réchauffement global (différencié suivant les zones de la planète) mais aussi par une amplification des incidents climatiques (sécheresses, inondations...) ou des modifications géographiques (élévation du niveau des mers). Ces conséquences potentiellement désastreuses ont été mises en évidence par les rapports successifs du Groupe intergouvernemental d'étude du climat (GIEC). La communauté internationale a officiellement acté lors de la conférence de Copenhague les conclusions de ces rapports. Le changement climatique constitue pour l'humanité une menace plus grande que la pénurie énergétique, pouvant mettre en cause sa survie même.

Les engagements de la France dans le contexte européen

La France est engagée dans la réduction de ses émissions de gaz à effet de serre au titre de conventions internationales qu'elle a signées, de directives européennes contraignantes qu'elles a transcrites et de lignes directrices européennes non contraignantes.

La Convention Cadre des Nations unies sur le Changement climatique (CCNUCC) et son protocole de Kyoto de 1997 fondent les engagements internationaux. Les obligations pour 2012 qui en découlaient stipulaient pour la France une stabilisation de ses émissions à leur niveau de 1990. Elles ont été respectées, mais n'ont pas été prolongées du fait de l'échec sur ce point de la conférence de Copenhague.

L'Union européenne s'est donné des obligations à échéance 2020, incluses dans le « paquet climat-énergie » : -20 % d'émissions entre 1990 et 2020, pouvant aller à - 30 % si d'autres pays décidaient de faire des efforts comparables (directives du 23 avril 2009)¹. Par la loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique (POPE) du 13 juillet 2005, la France s'est de plus donné à elle-même des objectifs propres, tendant à diviser par 4 les émissions de GES entre 1990 et 2050. C'est cet objectif qui est couramment dénommé « facteur 4 ». Les travaux du « Grenelle » ont confirmé ces engagements.

Fin 2012, les dernières données disponibles sont celles de 2010. Celles-ci montrent que la France remplit largement ses obligations au titre du protocole de Kyoto et qu'elle peut remplir ses obligations à l'horizon 2020 au titre du « paquet climat-énergie » européen. Malheureusement une part des réductions d'émissions est due à la stagnation économique, et une autre part à la délocalisation d'activités industrielles fortement émettrices. Si les obligations portaient sur l'empreinte carbone de la consommation, et non sur les émissions géographiquement localisées, le résultat serait moins flatteur.

Au-delà de 2020, la trajectoire à 2050 résultant de la « feuille de route » européenne « Climat 2050 » prévoit des réductions d'émission (par rapport à 1990) de :

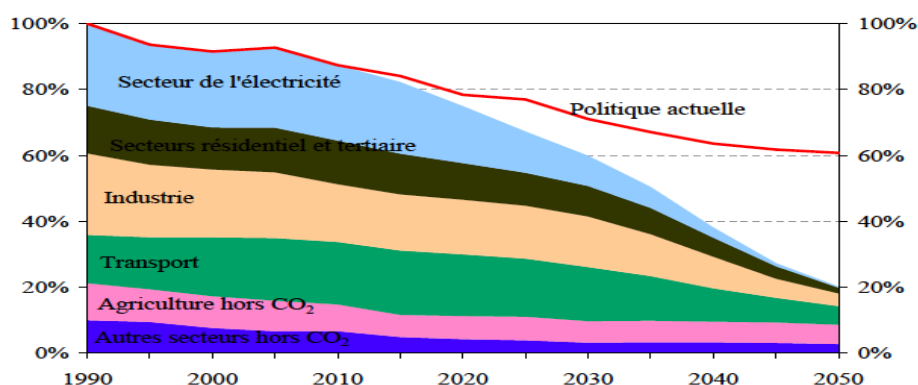
- 25 % en 2020 (supérieur à l'objectif de 20 % du « paquet climat-énergie »)

¹ Le « paquet » comprenait aussi à l'échéance 2020 l'amélioration de 20% de l'efficacité énergétique et une proportion de 20% (23% pour la France) d'énergie renouvelable dans le « mix énergétique ».

- 40 % en 2030
- 60 % en 2040
- 80 % en 2050

La « feuille de route » esquisse un partage de l'effort entre secteurs assez peu réaliste, où par exemple toute l'électricité serait décarbonée en 2050, alors que l'on construit encore actuellement en Europe des centrales à combustibles fossiles.

Figure 1: Émissions de GES dans l'UE –Vers une réduction des émissions internes de 80 % (100 % = 1990)



Si l'on traduit ces diminutions en effort décennal, la décroissance doit être de :

- 25 % en 30 ans entre 1990 et 2020 (0,95 % par an)
- 20 % en 10 ans entre 2020 et 2030 (2,2 % par an)
- 33,3 % en 10 ans entre 2030 et 2040 (4,0 % par an)
- 50 % en 10 ans entre 2040 et 2050 (6,7 % par an)

Cet échéancier, non ventilé par secteurs² ni par pays, reporte l'essentiel de l'effort relatif sur l'avenir lointain, alors que rien n'indique que les gains seront plus faciles plus tard³.

Une trajectoire répartissant également l'effort relatif annuel entre 2012 et 2050 correspondrait à une décroissance des émissions régulière de 3,58 % par an qui se traduirait par des diminutions de :

- 25 % en 2020
- 48 % en 2030
- 64 % en 2040

² Hors deux « focus » sur l'énergie et les transports.

³ Deux arguments militeraient pour un profil différent :

- en économie, on rencontre le plus souvent des rendements décroissants : les premiers efforts sont les plus faciles, puis le coût marginal de l'unité gagnée (la t CO₂ économisée) augmente,
- la t CO₂ émise en 2012 crée plus de dommages sur le climat à 2100 que la t CO₂ émise en 2050, parce qu'elle agit plus longtemps.

L'argument tiré de la richesse supposée de nos descendants, supérieure à la nôtre est de l'ordre du souhaitable, pas de la vérité établie. L'espoir d'avancées technologiques facilitant les choses n'est pas non plus de l'ordre du programmable.

- 80 % en 2050.

La mission rejoint les conclusions du rapport de la commission « Christian de Perthuis » et considère que la trajectoire souhaitable pour l'Europe et la France passe plutôt par un effort de - 25 % que - 20 % d'émissions de GES en 2020. Ceci suppose en chiffres ronds un effort de réduction de 3 % par an⁴ (au lieu de 2 %). La France doit défendre cette position dans les négociations européennes.

Recommandation : La trajectoire permettant d'espérer l'atteinte des objectifs en 2050 passe vraisemblablement par une diminution des émissions en 2020 de 25 % et non de 20 %, ce qui suppose en chiffres ronds un effort de réduction de 3 % par an (au lieu de 2 %). La France doit défendre cette position dans les négociations européennes

Recommandation : Défendre dans les négociations européennes une diminution de 25 % des émissions de GES en 2020

Le système de suivi

Le suivi des engagements internationaux est fondé sur un système de mesure remarquablement élaboré des émissions de GES sur les territoires nationaux, encadré par les normes résultant de la CCNUCC. Le Centre interprofessionnel d'étude de la pollution atmosphérique (CITEPA) est la cheville ouvrière commune à plusieurs systèmes de comptabilisation, notamment :

- des inventaires au titre de la CCNUCC et du protocole de Kyoto, qui instituent des normes détaillées de recueil et de traitement de l'information, ainsi que de contrôle de sa qualité ;
- de la comptabilité des émissions liées aux activités économiques dans le cadre du projet NAMEA (*National Accounting Matrix Including Environmental Accounts*), qui respecte les normes de la comptabilité nationale et d'EUROSTAT. Ces travaux ont d'ores et déjà permis d'estimer les émissions liées aux importations, et donc l'empreinte GES globale de la France ;
- des bilans d'émission, qui synthétisent les émissions relatives à un organisme ou à une activité donnée (comme le « bilan carbone » promu par l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME)).

La logique et les conventions de ces exercices sont différentes.

Sur la plus grande partie du champ observé, la précision du système de mesure peut être considérée comme satisfaisante et le CITEPA donne les marges d'incertitudes de ses estimations. Le niveau de qualité fait l'objet des certifications d'usage et d'une co-surveillance internationale au titre de la CCNUCC.

Le système présente cependant deux défauts dommageables :

Les inventaires élaborés au titre de la CCNUCC ne portent que sur les GES émis sur le sol français, sans considération des GES émis pour fabriquer et transporter entre pays les produits importés et exportés. Or le solde « GES exporté – GES importé » représente en France près de 40 % des émissions endémiques. L'absence d'une telle connaissance⁵ fausse les discussions sur la répartition équitable de l'effort entre les pays.

⁴ Ce taux de 3 % est explicitement mentionné à l'article 1er de la loi POPE comme objectif sur la longue période.

⁵ Au niveau mondial : cette connaissance se fait jour progressivement au niveau européen dans le cadre d'Eurostat.

L'incertitude affectant les estimations peut être très grande sur les émissions liées à l'agriculture et à l'« utilisation des terres, leur changement et la forêt » (UTCF). Ces estimations présentent des difficultés particulières dues à la complexité des phénomènes naturels en cause encore partiellement connus. De plus les conventions internationales de mesure (adoptées par défaut selon les lignes directrices du GIEC ou négociées entre les États) sont contestables et encouragent des comportements contre-productifs.

Recommandation : Accélérer dans le cadre d'Eurostat les travaux préalables indispensables pour pouvoir dès que possible mettre à l'agenda de l'UE une valorisation européenne du GES importé

Perspective économique

La mission s'est posée la question de l'itinéraire le plus économique pour parvenir au «facteur 4 » compte tenu des connaissances actuelles, des incertitudes qui les affectent, et du contexte institutionnel et sociologique qui prévaut. L'existence de contraintes, notamment environnementales (parvenir au facteur 4), met l'optimum économique (dit «de premier rang» ou encore de Pareto) hors d'atteinte et nous oblige à ne rechercher que des optimums « de second rang ». Dans ce contexte, la recherche d'un prix unique du carbone est vaine et il faut renoncer à ce guide qui aurait été bien commode. Les modèles de second rang sont plus pertinents pour rendre compte de l'univers dans lequel nous nous trouvons, mais ils sont plus complexes et conduisent notamment à envisager des prix du carbone dépendant du secteur émetteur de GES.

Les prix particulièrement bas de l'électricité en France, qui constituent incontestablement un atout économique et social, sont paradoxalement un handicap sérieux à l'émergence de solutions d'avenir. Celles-ci deviennent compétitives sur le marché français beaucoup plus tardivement qu'en Allemagne, où l'électricité est deux fois plus chère. L'électricité éolienne terrestre, par exemple, pleinement compétitive sur le marché allemand, nécessite en France d'être aidée par des tarifs de rachat avantageux.

Dès lors, le progrès doit faire appel à l'une des solutions suivantes, ou à leur combinaison : des aides publiques lourdes et pérennes aux techniques innovantes de décarbonation, ce qui pose des problèmes évidents de finances publiques ; une valorisation du prix du carbone, par une fiscalité « carbone » ou une fiscalité « fossile » renchérissant le prix de l'énergie en utilisant une partie de la ressource pour compenser les effets sociaux négatifs, et/ou des systèmes de quotas, produisant une remise à niveau des prix de l'énergie⁶; des mesures réglementaires d'obligation, dont les réglementations de la construction ou les limitations des émissions des véhicules sont des exemples. Ces obligations sont une manière implicite de donner une valeur au carbone sans passer par la voie financière ou fiscale, plus difficile en termes d'acceptabilité sociale. Les mesures réglementaires sont d'autant plus efficaces qu'elles s'adressent à des milieux professionnels structurés, capables de répercuter les contraintes au milieu diffus. On trouve dans le rapport quelques exemples et propositions de cette nature.

Recommandation : Pour mieux répartir l'effort de réduction des émissions dans la durée en augmentant l'effort aujourd'hui et ne pas laisser à nos successeurs un effort irréalisable, envisager des « valeurs du carbone » ou des prix des énergies fossiles croissant rapidement dans les prochaines années et éventuellement moins vite par la suite

Recommandation : Piloter le prix à la consommation finale des énergies fossiles carbonées (en l'ajustant au bon niveau grâce à une taxe notamment) en référence à un trend

⁶ Ces deux premières formules peuvent être combinées dans des dispositifs de type « Bonus-Malus ».

d'augmentation des prix à moyen terme cohérent avec les diminutions d'émissions souhaitées

Le pilotage en itinéraire accidenté

Les contraintes et les atouts, les opportunités et les menaces et les données scientifiques, technologiques, économiques, géopolitiques et sociales pertinentes pour l'action sont à la fois complexes, interactives, et rapidement changeantes. Chaque jour apporte son lot d'information sur les sujets clés, susceptible d'infléchir ou de remettre en cause les conceptions de la veille. Dans ce contexte, la mission s'est efforcée de recenser les principales données permettant de renseigner le pilotage de l'action publique sur un itinéraire à corriger en permanence.

Les exercices de prospective essaient d'éclairer des avenir concevables au prix d'hypothèses lourdes, dont la probabilité de réalisation n'est pas mesurable. La mission a adopté une perspective différente. Elle considère que le chemin vers le « facteur 4 » ressemblera plus à un parcours en terrain accidenté semé d'imprévus qu'à une « trajectoire » balistique où une forte impulsion initiale détermine largement l'atteinte du but final. Elle met en avant la nécessité d'une fonction permanente d'information des décideurs, à la fois tableau de bord étendu et lieu de débat et d'évaluation des informations, des données, des études et des recherches centré sur la question de la réduction des émissions de GES.

Sur les sujets pertinents, la mission a cherché à identifier :

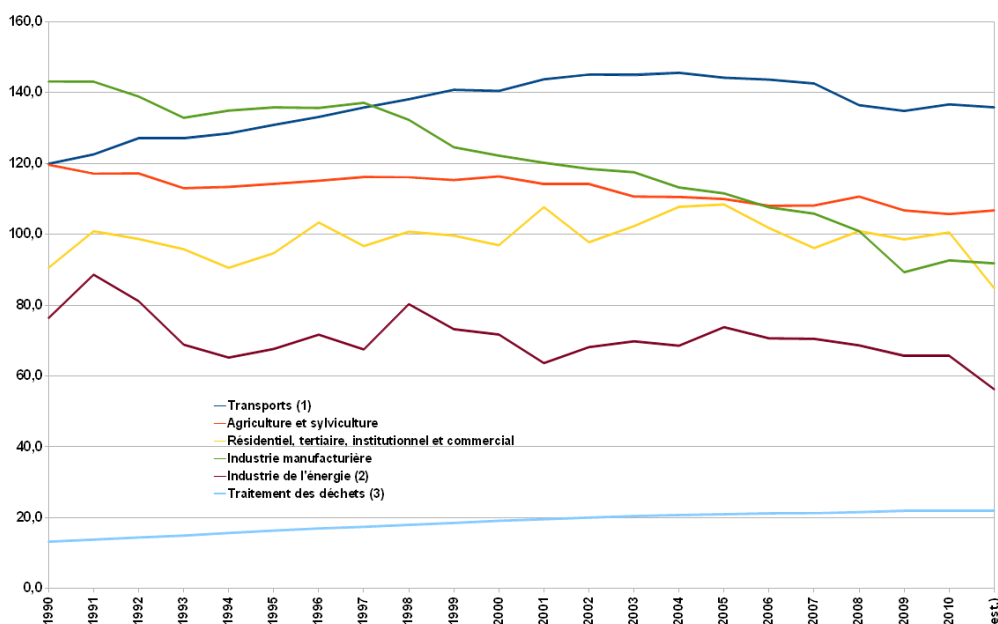
- les connaissances avérées avec un fort degré de probabilité,
- les plages d'incertitudes et leur nature,
- et les zones d'ignorance.

Elle a ainsi constitué à la fois un tableau de bord simplifié et une esquisse de « puits de données », offrant des matériaux pour la pédagogie (ce que l'on sait), pour la mesure du risque des décisions à prendre (les incertitudes) et pour la recherche et les études (ce que l'on ne sait pas).

Recommandation : Organiser la fonction d'« observatoire du facteur 4 » avec les acteurs en place, en faisant converger système de mesure, évaluation des politiques publiques, évaluation des perspectives technologiques et économiques, vulgarisation et pédagogie

Les émissions par secteur 1990-2011

L'année de référence des conventions internationales est 1990. Depuis cette date, les émissions sur le territoire français ont suivi une évolution représentée par le graphique suivant :



Source CITEPA 2012

Ces trajectoires satisferont très probablement en 2012 aux engagements pris au titre du protocole de Kyoto.

En revanche, si on considère l'« empreinte carbone » des Français, en incorporant les GES émis pour fabriquer à l'étranger les produits consommés en France et en défalquant les GES des produits exportés, la situation est mauvaise : l'empreinte carbone de la France a augmenté d'environ 15 % entre 1995 et 2010⁷.

Les travaux de prospective

Sans se livrer à des travaux de recherche ou de prospective propres, la mission a pris connaissance des nombreux travaux, généraux ou sectoriels, qui ont exploré sur le mode prospectif des trajectoires possibles pour les émissions de GES entre 2010 et 2050.

Un certain nombre de travaux de prospective relatifs au « facteur 4 » ont été réalisés portant sur l'ensemble de l'activité nationale,

- Le rapport « Christian de Boissieu » : le rapport du Groupe de travail « Division par quatre des émissions de gaz à effet de serre de la France à l'horizon 2050 » sous la présidence de Christian de Boissieu (août 2006) donnait 28 recommandations propres à faciliter la réalisation du « facteur 4 ». Une partie d'entre elles a été mise en œuvre, notamment dans le cadre du « Grenelle environnement »,

⁷ Sources concordantes SOeS et « Carbone 4 », non publiées.

- Le rapport « Alain Quinet » : le rapport de la commission réunie par le Centre d'analyse stratégique et présidée par Alain Quinet sur « La valeur tutélaire du carbone » (juin 2008) avait pour objet de proposer une valeur du CO₂ éq. pour l'évaluation des choix d'investissements publics. Sur la base d'une analyse « coût-efficacité », la commission a calculé le prix correspondant à la trajectoire européenne vers le facteur 4, soit :
 - en 2010 : 32 € / t CO₂ éq.
 - en 2020 : 56 € / t CO₂ éq.
 - en 2030 : 100 € / t CO₂ éq.
 - en 2050 : autour de 200 € / t CO₂ éq. (150 € – 350 €).
- Il apparaît à la mission :
 - x que la valeur croissante proposée reflète, outre le souci de ne pas créer un choc trop brusque pour l'économie, l'option analysée ci-dessus de reporter les efforts les plus lourds à plus tard ;
 - x que le choix de donner un prix au CO₂ plutôt qu'au combustible fossile mérite discussion.
- Le rapport d'« Entreprises pour l'environnement » : ce rapport (2011) d'une association regroupant les grandes entreprises françaises, a pris position pour l'instauration « de toute urgence » d'un prix du carbone croissant au cours du temps, permettant que les acteurs économiques investissent à un rythme soutenable d'abord dans les mesures les plus rentables, puis dans l'ordre croissant des coûts d'abattement. Les valeurs du CO₂ préconisées sont sensiblement plus élevées que celles du rapport Quinet.
- Le rapport « Trajectoires 2020 – 2050, vers une économie sobre en carbone » du Comité présidé par Christian de Perthuis (octobre 2011) cherche les voies d'une politique climatique qui conjugue facteur 4 et impacts positifs sur la croissance économique, la compétitivité industrielle et l'emploi. Il plaide pour une généralisation de la tarification du carbone dans l'économie et la prévisibilité des tarifs à long terme. Il préconise à l'horizon 2020 une réduction de 30 % plutôt que de 20 %. L'industrie et le bâtiment devront réduire leurs émissions beaucoup plus significativement que l'agriculture et les transports. La capture et la séquestration du CO₂ participeront largement à l'atteinte de l'objectif.
- Le rapport de l'ADEME : l'ADEME a produit fin 2012 un exercice prospectif sur l'ensemble des secteurs à la fois, extrapolant les données actuelles jusqu'en 2030 (avec une contribution majoritaire du bâtiment), puis conduisant un exercice de rétrospection (« *backcasting* ») remontant de l'objectif à 2050 jusqu'en 2030. Ce rapport comporte des déclinaisons sectorielles.
- Il faut citer par ailleurs la Communication de la Commission européenne du 8 mars 2011 « Feuille de route vers une économie compétitive à faible intensité de carbone à l'horizon 2050 » (COM (2011) 112 final). Cette feuille de route se propose de réduire les émissions de gaz à effet de serre de l'Union de 80 à 95 % à échéance 2050.

La mission a conduit ses réflexions secteur par secteur, puis a envisagé les interférences entre secteurs, explorant le connu, l'incertain et l'inconnu au fil des travaux dont elle a pris connaissance.

Les transports⁸

Le secteur des transports a suscité de nombreuses études prospectives, relativement convergentes malgré la diversité des méthodes et des points de vue. Le rapport résume les plus récentes, qui s'accordent pour estimer très difficile la réalisation d'un facteur 4 et envisagent des diminutions maximales de l'ordre d'un facteur 2 ou 2,5, sauf à enregistrer des changements radicaux dans l'organisation de la production, de la consommation et des modes de vie, ou un effondrement de l'activité économique que personne ne souhaite. Tous les scénarios prévoient un développement des transports en commun, et donc un besoin de financement problématique.

- **Le rapport « Prospective 2050 » du Conseil général des ponts et chaussées (CGPC 2006)**, publié en mars 2006, dégage trois enseignements essentiels :
 - x la croissance de la mobilité, tant voyageurs que marchandises, sera ralentie ;
 - x le développement des modes alternatifs, qu'il faut promouvoir, n'empêchera pas le maintien de la prédominance de la route ;
 - x de forts progrès techniques des véhicules économes et des carburants propres, incités par une taxe carbone à un niveau approprié, permettraient une division par 2,5 des émissions françaises de CO₂ à l'horizon 2050.
- **Le rapport de la commission énergie du Conseil d'analyse stratégique (CAS 2007)**, confirmant le précédent, montre notamment les limites des alternatives à la route : l'ensemble des progrès que l'on peut attendre d'une meilleure valorisation du rail et des transports en commun urbains n'économise que 2,6 Mt CO₂/an en 2050 (sur 140 émis aujourd'hui⁹ par le secteur transport).
- **Le rapport du Programme de recherche et d'innovation dans les transports (PREDIT), du Laboratoire d'économie des transports (LET) et d'Enerdata (2008)** développe trois scénarios contrastés, fondés sur la poursuite des tendances actuelles (« Pégase »), la diminution des vitesses moyennes de 20 % et un développement important des péages et taxes carbone (« Chronos ») ou des changements radicaux dans les modes de vie réduisant drastiquement la demande (« Hestia »). Dans tous les cas, il faut diminuer la vitesse et le volume des déplacements, et augmenter les coûts pour l'usager.
- **Le rapport « Global Chance »**, publié en 2009, développe une hypothèse de type « Hestia », très exigeante en termes de comportements.
- **Le rapport TRANSvisions « on Transport Scénarios with a 20 and 40 Year Horizon »**, volumineux rapport commandé par l'UE en 2009, explore lui aussi trois scénarios.

⁸ Par convention, on ne s'intéresse ici qu'aux transports faisant l'objet de la CCNUCC : les transports internationaux, pourtant contributeurs notables aux émissions de GES, n'y figurent pas.

⁹ La question de « l'énergie grise », dans l'analyse en cycle de vie des investissements ferroviaires est capitale. Une étude récente pilotée par RFF sur le cas du TGV Est montrait que le CO₂ « investi » dans la construction de la ligne et du matériel roulant était « remboursé » en 12 ans dans les meilleures hypothèses retenues par RFF et l'ADEME (disponible sur le site de RFF : <http://www.rff.fr/fr/gestion-page-d-accueil/actualites/premier-bilan-carbone-pour-une-lgv>), mais ce résultat est très sensible aux hypothèses et aux conventions retenues (trafics et fréquentation, contenu en CO₂ de l'électricité...) : dans les plus pessimistes, le bilan carbone est négatif.

Aucun des scénarios envisagés n'atteint le « facteur 4 » sans de très importants changements dans les comportements.

- **Le rapport du CGEDD sur l'évolution du fret terrestre à l'horizon de 10 ans (2010)** considère qu'à l'horizon 2020, « ce serait un très beau succès, partant des 12,6 % de 2006, de voir la part du fer et fluvial renouer avec la croissance et atteindre, non pas l'ambition des 25 % du Grenelle 1, mais quelque 16 à 17 % ».
- **Le rapport PREDIT de Samarcande Études et Conseil « Cinq scénarios pour le fret et la logistique en 2040 » (2012)** envisage que la part de la route passerait de 85 % en 2002 à, suivant les scénarios, de 67 % à 90 % en 2040.
- **L'étude prospective de l'ADEME (2012)** pronostique qu'à échéance 2030, la mobilité n'aura pas diminué. Les progrès en termes d'émissions résulteront d'améliorations techniques (notamment de la motorisation des véhicules), tandis que le transport de marchandises restera fortement marqué par la route. Les émissions de GES ne diminueraient pas de plus de 20 %.

Entre 2030 et 2050, l'atteinte du facteur 4 se ferait sous l'hypothèse de mutations structurelles assez lourdes : diminution de la mobilité, doublement de la part des transports en commun, quadruplement de la part des deux roues, pénétration de la motorisation hybride (1/3 des véhicules) et électrique (1/3 également) ainsi que des biocarburants¹⁰ de 2e et 3e génération, diminution du trafic de marchandises...

L'ensemble de ces études confirme qu'au sein du secteur des transports, on doit opérer une segmentation en sous secteurs : les problématiques sont contrastées selon qu'on transporte des personnes ou des marchandises, à longue ou à courte distance, en milieu urbanisé ou rural. On peut distinguer grossièrement trois problématiques :

- le transport de marchandises à longue distance,
- les déplacements de voyageurs à moyenne et longue distances,
- les transports urbains ou périurbains des biens et des personnes.

Le transport de marchandises à longue distance

La part de la route dans le transport terrestre de marchandises, très supérieure à la moyenne constatée dans l'Union européenne (UE), reste en France prépondérante (84 %) ; viennent ensuite le fer (9 %), en constante diminution depuis 2000, avec une légère progression entre 2010 et 2011, les oléoducs (5 %) et la voie fluviale (2 %).

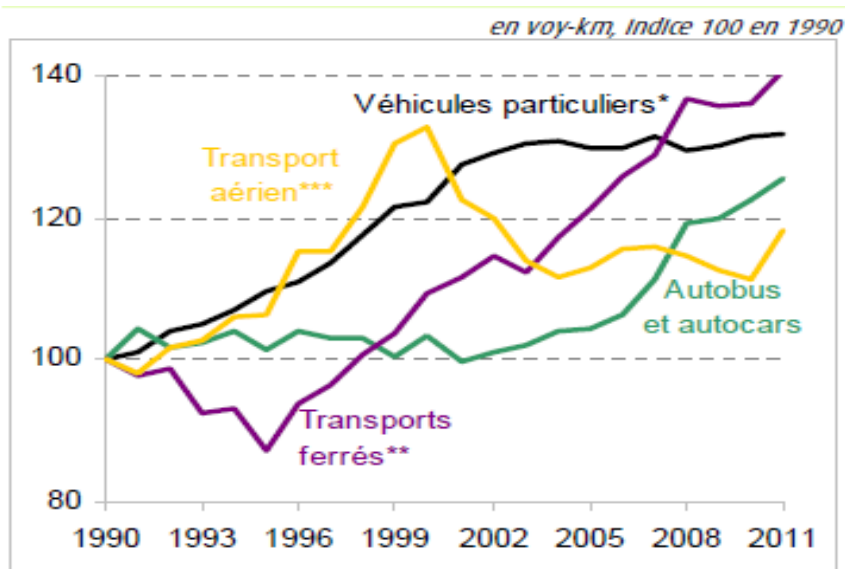
Le report modal est à promouvoir, mais restera d'effet limité. On doit attendre l'essentiel des progrès du rendement des véhicules et peut-être d'évolutions de volumes de trafic (rapprochement des lieux de production et de consommation, essoufflement du « juste-à-temps » industriel) favorisées par des augmentations significatives des coûts de transports. La mission a trouvé peu de réflexions exploratoires sur ces sujets.¹¹

¹⁰ La France a atteint un taux d'incorporation de 7 % dans les carburants en 2010, soit une réduction d'émissions estimée entre 3,5 % et 4,9 %. Elle a décidé d'utiliser des biocarburants de deuxième génération (utilisant la partie ligneuse de la biomasse) pour atteindre l'objectif communautaire de 10 % d'énergie renouvelable dans les transports en 2020.

Recommandation : développer la recherche sur les composantes de la demande de transport de marchandises à longue distance et sur ses déterminants

Les déplacements de voyageurs à longue et moyenne distance

Les transports ferroviaires ont bénéficié des progrès induits par les trains à grande vitesse et le renouveau des trains express régionaux (TER).



Sources : SOEs, d'après Bilan de la circulation, SNCF, RATP, STIF, Optile, Enquête annuelle sur les transports collectifs urbains (DGITM, Certu, GART, UTP), UTP, DGAC

La route restera prédominante, cependant :

- le report modal sur le rail, en progression forte depuis 1995, peut prendre une part plus importante que pour les marchandises,
- de nouvelles pratiques (covoiturage organisé, rabattements vers les gares) aidés par Internet et les réseaux sociaux se font jour, dont on ne sait pas encore quel impact elles auront,
- la demande apparaît moins rigide que pour les marchandises : les motifs professionnels peuvent diminuer au profit des communications électroniques (visioconférence, télétravail...), mais les déterminants de ces évolutions sont mal connus,
- la consommation des véhicules peut encore diminuer sérieusement (progrès des rendements des moteurs, limitations des vitesses, diminution des poids des véhicules, motorisation hybride...).

Les transports urbains ou périurbains

Les émissions dues aux déplacements en centre-ville pèsent peu (les distances sont courtes, les modes « doux » et les transports en commun se développent...) et les villes savent comment les réduire (- 27 % de circulation automobile à Paris en 10 ans). La majorité

¹¹ Par convention, nous attribuons l'effet du développement des biocarburants dans les transports au secteur « Agriculture UTCF ».

des kilomètres parcourus en véhicule individuel et donc la majorité des émissions sont dus en fait à des trajets reliant deux points de la périphérie ou la périphérie au centre : en effet, la motorisation électrique¹² est susceptible d'apporter de grands bouleversements dans ce créneau, à la fois dans les types de véhicules, dans la structure des services de déplacement (cf. « Yello » à La Rochelle ou « Autolib » à Paris) et dans les régimes de production et d'utilisation de l'électricité (v. ci-dessous « l'énergie 2.0 »). La «décarbonation» de ce créneau ne semble pas présenter de limite à long terme. Seul le rythme de déploiement de ces solutions est encore incertain.

Recommandation : favoriser les nouveaux services de mobilité décarbonées, notamment dans l'habitat diffus

L'industrie

En 2010, le « pouvoir de réchauffement global » (PRG)¹³ du secteur de l'industrie manufacturière représente 21,7 % du PRG total de la France métropolitaine hors UTCF alors qu'en 1990, il en représentait 28,4 %. La chimie ou la métallurgie, par exemple, ont réduit leurs émissions respectivement de 52 et 41 %, tandis que d'autres secteurs, moins émetteurs, les augmentaient. Les émissions de l'industrie agroalimentaire ont ainsi progressé de 33 %.

L'industrie fait ses choix sur des critères de rationalité économique et la question de la valorisation du carbone (quel qu'en soit le mode : quotas d'émissions négociables - dits « *cap-and-trade* » - fiscalité, réglementation...) y est décisive. À plus de 82 % les émissions du secteur de l'industrie manufacturière et de la construction concernent des installations soumises au système européen d'échange de quotas de CO₂.

Dans le cadre de la Convention cadre des Nations-unies sur le changement climatique (CCNUCC) et du Protocole de Kyoto, l'UE a décidé d'un système¹⁴ de quota d'émissions négociables (EU ETS en anglais¹⁵). Ce système couvre un peu plus de 40 % du total des émissions dans l'UE et plus de 82 % des émissions du secteur de l'industrie (les installations grosses émettrices). Dans le cadre de cette directive, chaque pays a déterminé un plan national d'allocation de quotas (PNAQ) qui fixe une limite légale des émissions de ces secteurs pour la période 2008-2012. De 30 €/t CO₂ éq. au début du système, le prix est tombé à moins de 6 € fin 2012 sous l'effet conjugué des efforts d'« efficacité carbone », et de la crise économique provoquant un excédent de quotas en circulation (15 % d'excédents pour la France).

La Commission européenne avait proposé de différer la mise aux enchères d'une partie des quotas pour soutenir leur prix sur le marché. Toutefois, elle semble y avoir renoncé sous la pression de plusieurs États membres. Un tel signal ne peut que démobiliser tous les acteurs économiques à réduire les émissions de gaz à effet de serre.

Recommandation : Dans l'attente d'un éventuel accord international prévoyant la mise en place de nouveaux mécanismes contraignants pour réduire les émissions de GES, le système européen de quota d'émission de GES (SCEQE) est le seul système communautaire d'incitation à la réduction des émissions utilisant un signal prix. La France doit apporter son plein soutien au renforcement adopté en 2009, à la vente aux enchères

¹² D'abord grâce au stockage d'énergie à bord (batteries, pile à combustible...).

¹³ LE PRG équivaut aux émissions de GES.

¹⁴ Ce type de système est souvent appelé « *cap-and-trade* » : plafonner et échanger.

¹⁵ *European Union Emission Trading System*.

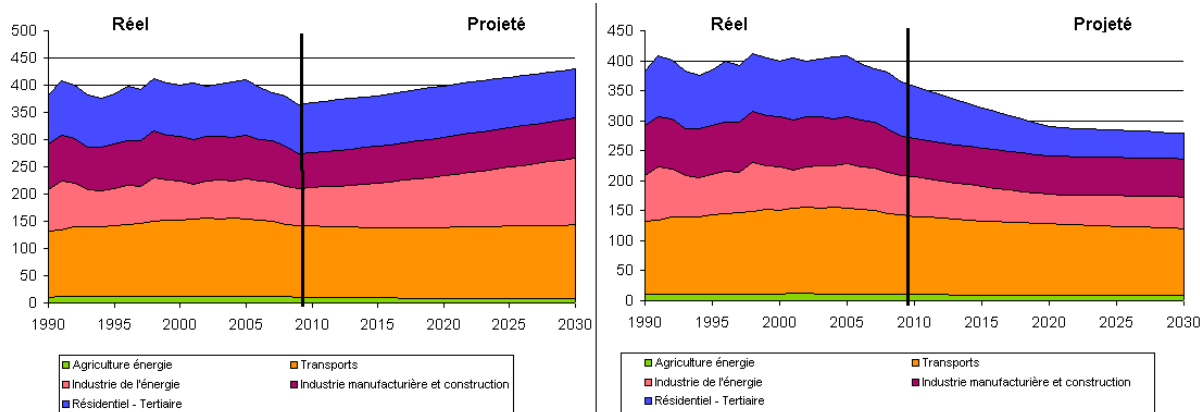
des quotas, à une répartition adéquate des mises aux enchères pour assurer un soutien du prix. Le SCEQE pourrait efficacement élargir la couverture des émissions de CO₂ par extension aux consommations diffuses de combustibles et carburants fossiles

Le secteur industriel a un potentiel très important de réduction des émissions, évidemment très différent selon les branches. Deux exercices prospectifs récents de natures contrastées éclairent la problématique.

La DGEC a produit des « Scénarios prospectifs Énergie-Climat-Air à horizon 2030 » (juillet 2011)¹⁶ :

- un scénario tendanciel intégrant les effets escomptés des mesures effectivement prises en 2010 ;
- un second scénario prenant en compte l'atteinte des objectifs fixés à l'horizon 2020 et intégrant les mesures du « Grenelle ».

La synthèse de ces travaux fournit une représentation graphique des évolutions des émissions de gaz à effet de serre de l'industrie, dans le scénario Pré-Grenelle (à gauche) et dans le scénario Grenelle (à droite), en Mt CO₂ éq., qui laisse un champ important aux mesures encore à prendre pour améliorer la performance à 2030.



Le rapport Perthuis, déjà cité, a une toute autre approche, de rétro-prévision (« *backcasting* »), faisant de l'objectif son hypothèse.

Le rapport retient une cible de réduction d'émissions de – 85 % entre 1990 et 2050, soit un effort supplémentaire de 50 % (environ 45 Mt CO₂ éq.), par rapport à un scénario tendanciel, pouvant être obtenu à hauteur de 30 % par la poursuite des gains d'efficacité énergétique, de 30 % par la récupération énergétique et le recyclage. Il reste 40 % à trouver dans la diffusion des techniques innovantes de type captage et stockage de CO₂. Beaucoup d'incertitudes pèsent sur ces techniques, dont un grand nombre de démonstrateurs existent dans le monde, mais dont il est très difficile d'évaluer le potentiel et la faisabilité.

Le rapport insiste sur la visibilité et la prévisibilité du signal prix du carbone, qui ne doit pas se développer au détriment de la compétitivité. On voit mal, dès lors, comment éviter de poser la question de la valorisation du carbone importé (et exporté).

¹⁶ La synthèse de ces scénarios est téléchargeable <http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/11-0362_5A_ET_note_synthese_sc_pros_v3.pdf>.

L'agriculture et l'UTCF

La difficile mesure des émissions liées à l'UTCF

Ce secteur est particulièrement complexe : il implique plusieurs GES différents (CO_2 , CH_4 , N_2O ...), et est à la fois émetteur et absorbeur de CO_2 . Régi par des phénomènes naturels difficiles à appréhender, il fait l'objet de difficultés sérieuses de mesure :

- incertitudes des chiffres est, par exemple, de 40 % sur le facteur d'émission du CH_4 en France est une amélioration de la connaissance sur les flux de carbone et d'azote dans les sols agricoles et forestiers et dans la biomasse qu'ils portent apparaît comme indispensable. Plusieurs programmes de recherche avec le concours de l'ADEME sont à l'œuvre.

Recommandation : Soutenir la recherche sur la connaissance des flux de carbone et d'azote dans les sols agricoles et forestiers.

- Les conventions de mesure sont contestables. Par exemple, au titre de la CCNUCC, tout végétal récolté est réputé émis immédiatement sous forme de GES, ce qui survalorise les usages énergétiques et décourage des actions vertueuses comme l'exploitation rationnelle de la forêt ou le stockage du bois dans la construction, les matériaux bio-sourcés et leur recyclage. Dans les nouvelles conventions, une possibilité est donnée de comptabiliser une durée de stockage de carbone hors forêt dans les matériaux produits dans chaque pays à partir de sa forêt ($\frac{1}{2}$ vie de deux ans pour le papier, 25 ans pour les panneaux, 35 ans pour les sciages) ; le déficit de la France en produits bois ne lui permet toutefois pas d'en bénéficier ;
- certaines imputations actuelles des émissions sont également contestables. Il faudrait attribuer les émissions énergétiques de l'agriculture à ce secteur (et non au secteur « énergie », mais en contrepartie attribuer les émissions dues à l'artificialisation des sols aux secteurs qui en bénéficient (et non à l'UTCF).

Des travaux sont en cours pour corriger certains de ces défauts, mais une évolution internationale significative est peu probable à court terme : la communauté internationale cherche à définir des règles universelles alors que les problématiques forestières tropicale et tempérée sont très différentes.

Recommandation : Œuvrer pour obtenir le changement des normes internationales de prise en compte des puits de carbone dans les inventaires de GES.

Recommandation : En attendant le changement des normes, orienter l'action publique vers la recherche de la meilleure efficacité réelle, et non la maximisation des résultats selon les normes de calcul internationales lorsque celles-ci sont inadéquates.

L'agriculture

Les sources principales d'émission de GES en agriculture (94 Mt CO_2 éq. En 2010, soit 18 % des émissions françaises), outre les émissions liées à la fourniture d'énergie (chauffage, engins, transports, comptées par convention dans le secteur « énergie ») tiennent en France pour l'essentiel :

- aux émissions de méthane (42,3 Mt CO_2 éq. de CH_4 en 2010, soit 8 % des émissions) venant à 90 % du cheptel bovin, se décomposant en :

- x fermentation entérique des animaux d'élevage (28,6 Mt CO₂ éq.),
- x gestion des déjections des animaux d'élevage (13,7 Mt CO₂ éq.),
- et aux émissions de N₂O dues aux engrais (51,9 Mt CO₂ éq. en 2010, soit 10 % des émissions).

Le secteur agricole fait l'objet de quelques exercices prospectifs du ministère chargé de l'agriculture et de l'ADEME à échéance de 2030 et 2050, qui révèlent des scénarios contrastés, mais qui en l'état actuel des connaissances et si on s'en tient à des hypothèses raisonnablement optimistes ne laissent guère espérer des réductions d'émissions de GES supérieures à un facteur 2.

Tous les scénarios d'amélioration font appel plus ou moins intensément aux mêmes types de mesures, combinées dans des assemblages et des calendriers différents :

- réduction des pertes et gaspillages ;
- fin de l'artificialisation des sols ;
- réduction des quantités d'engrais minéraux, production intégrée, agriculture biologique, développement du non labour ;
- agroforesterie et plantation de haies, pratiques stockant du carbone dans le sol et la biomasse : développement des légumineuses fourragères, stockage dans les sols ;
- augmentation des productions végétales protéagineuses et oléagineuses, et suppression concomitante des importations de tourteau de soja, réduction de la fermentation entérique, méthanisation et épandage des digestats comme fertilisants minéraux, meilleure gestion des fumiers ;
- sollicitation de la biomasse agricole et forestière, substitution de biomasse sur les marchés matériau et énergie, stockage de carbone dans la biomasse ;
- évolution des régimes alimentaires par baisse de la ration calorique individuelle et de sa teneur protéines animales...

Parmi ces études, les documents suivants méritent d'être cités :

- « **Prospective agriculture énergie 2030** » réalisée par le ministère de l'Agriculture, de l'alimentation, de la pêche, de la ruralité et de l'aménagement du territoire (centre d'études et de prospective) et le cabinet SOLAGRO en 2009-2010 explore quatre scénarios, dont le plus efficace en matière d'émissions de GES, dit « Agriculture écologique et maîtrise de l'énergie » produirait une réduction de - 61 %, mais sous des conditions très éloignées de la situation actuelle ;
- « **Agriculture et Facteur 4** » réalisé par le ministère chargé de l'agriculture et l'ADEME en juin 2012, également avec le cabinet SOLAGRO, Oréade Brèche et ISL distingue trois scénarios à 2050 :
 - x un scénario ALPHA « intensification écologique » aboutit à une réduction des émissions GES en 2050 de 41 % (facteur 1,7),
 - x un scénario BETA « alimentation autonomie et sobriété » aboutit à une réduction de 60 % (facteur 2,5),
 - x un scénario GAMMA « alimentation, efficacité et stockage » réduit les émissions de 66 % (facteur 3,2).

Le « facteur 4 » (- 75 %), n'est atteint pour aucun des scénarios étudiés, malgré des modifications majeures des assolements, des régimes alimentaires et des niveaux d'exportation.

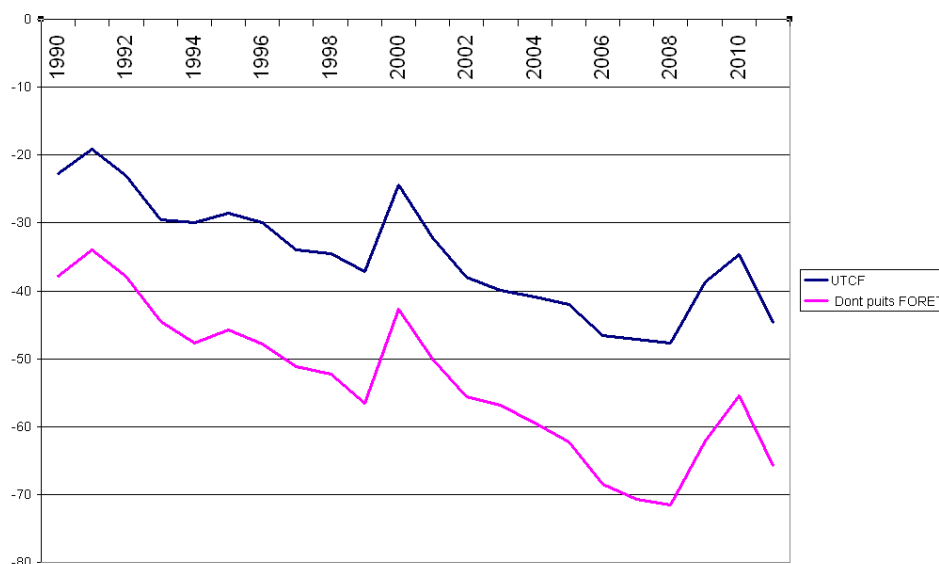
- **« Agriculture et effet de serre : état des lieux et perspectives »**, du Réseau Action Climat en septembre 2010 évoque deux pistes pour une politique active de réduction des émissions agricoles : l'inclusion de l'agriculture dans un marché de quotas carbone, ou bien la fiscalité sur le CH₄ et le N₂O (avec des effets prévisibles de déplacement des émissions). Une troisième option pourrait être d'agir sur la demande alimentaire compte tenu de l'importance des habitudes de consommation sur l'offre agricole.
- La feuille de route européenne pour une économie bas carbone compétitive en 2050 limite ses ambitions de diminution d'émissions pour le secteur agricole à des valeurs comprises entre - 42 et - 49 %.
- **Les scénarios ADEME 2030 et 2050** : l'ADEME a publié le 8 novembre 2012 une synthèse de sa « contribution à l'élaboration de visions énergétiques 2030-2050 ». A l'horizon 2050, les économies et l'essor des EnR permettent de réduire les émissions de 74 % (facteur 4) .
- **Le projet REACCTIF¹⁷ (MAAF, MEDDE, ADEME, INRA)** développe actuellement une approche destinée à évaluer l'efficacité technique et financière au niveau de l'exploitation des principales mesures évoquées ci-dessus, ce qui constitue effectivement la question principale pour leur déploiement au-delà d'expériences intéressantes, mais limitées. De telles études pourraient utilement être prises en compte pour faire évoluer la PAC.

L'utilisation des terres et leur changement

Les sols agricoles et forestiers et les productions qu'ils portent constituent d'importants réservoirs de carbone. Ils peuvent absorber du gaz carbonique (CO₂) plus qu'ils n'émettent de GES et fonctionner alors comme « puits », Mais l'inverse est également possible : dans certaines conditions, ils deviennent des « sources », Les changements de vocation des sols agricoles sont à effet « source » dans le cas de retournement des prairies pour la mise en cultures labourées, et de « puits » dans le cas contraire. Le bilan total UTCF de la France entière est un puits net en augmentation depuis 1990 (- 23 Mt CO₂ éq. à - 45 Mt CO₂ éq.). Le puits de la forêt (malgré un recul de la forêt guyanaise) est passé sur la même période de - 38 Mt CO₂ éq. à - 66 Mt CO₂ éq. . La différence est essentiellement due au retournement des prairies et à l'artificialisation des sols.

Puits de carbone (en Mt CO₂ éq.) depuis 1990 (source CITEPA).

¹⁷ Recherche sur l'atténuation du changement climatique par l'agriculture et la forêt.



Puits de carbone (en Mt CO₂ éq.) depuis 1990 (source CITEPA).

À ce stade, le domaine de l'UTCF apparaît donc comme l'indicateur ou le révélateur de phénomènes à l'œuvre, plus ou moins maîtrisés, à diverses échelles (extension urbaine et des infrastructures, abandon et boisement de certaines terres agricoles, absence de gestion d'une grande partie de la forêt privée). On peine à y discerner le reflet d'une stratégie d'ensemble d'aménagement du territoire.

Recommandation : Recenser les facteurs (y compris les normes réglementaires) qui favorisent actuellement l'artificialisation des sols.

Recommandation : Développer des recherches sur les causes de l'artificialisation des sols (tenant notamment à la dérégulation du marché foncier et au droit de l'urbanisme) qui favorisent l'habitat dispersé et les déplacements motorisés

Recommandation : Développer études et recherches sur les conséquences en termes d'émission de GES des différentes formes d'artificialisation des sols et notamment de l'éclatement urbain

La gestion forestière

La gestion forestière peut avoir un impact sur l'absorption de carbone sous forme de CO₂ : une forêt jeune continue de croître et d'absorber du carbone, alors qu'une forêt qui vieillit en absorbe de moins en moins jusqu'à devenir émettrice nette, la croissance ne permettant plus de compenser les émissions liées à la minéralisation des litières et du bois mort.

La forêt française est un puits de CO₂ très important qui a augmenté en valeur absolue de 66 % sur la période 1990 – 2010, essentiellement par accumulation de biomasse dans les forêts de métropole (la production est aujourd'hui supérieure de 40 % à son niveau de 1980, alors que la récolte est inférieure à la production depuis 40 ans). À long terme (quelques décennies), le puits forestier est menacé si les peuplements restent insuffisamment renouvelés.

La forêt et la destination du bois constituent donc un enjeu majeur : la photosynthèse est aujourd'hui de loin le processus le plus économique pour capter et stocker du CO₂. La mission a la conviction que cette ressource mérite une plus grande attention¹⁸.

La baisse des prix du bois matériau associée aux évolutions récentes (ébranlement des marchés internationaux par la crise, concurrence des pays émergents, délocalisations industrielles) et aux tempêtes de 1999 et 2009, handicapent la mobilisation de la ressource et compromettent son renouvellement, alors que le développement du bois énergie, produit peu valorisé, ne peut financer seul le renouvellement des forêts.

Recommandation : Envisager le bois stocké, comme un moyen compétitif de stockage et de séquestration du carbone, et mettre en œuvre un programme cohérent de mobilisation et de valorisation de la ressource forestière

Une gestion plus active des forêts constitue une réponse à la fois aux enjeux d'atténuation et aux enjeux d'adaptation des forêts aux effets du changement climatique : les travaux de la recherche devraient, à la lumière des acquis scientifiques des dernières années, aider la modélisation sylvicole et économique et éclairer la gestion du secteur UTCF dans les accords internationaux et européens. La question du financement de l'investissement forestier par un instrument carbone ou une fiscalité environnementale est à poser.

Recommandation : Développer des modélisations sylvicoles et économiques permettant de répondre à la nécessité d'une gestion plus active des forêts, en réponse aux besoins d'atténuation et d'adaptation aux effets du changement climatique

L'UE et les émissions du secteur Agriculture UTCF

Aucune mesure concrète à l'échelon européen n'a jusqu'ici eu pour finalité directe la réduction des émissions de GES du secteur agricole, même si plusieurs politiques visant à réduire les pollutions du secteur ont un effet indirect sur les émissions de GES. La feuille de route 2050 de la Commission n'affiche pas de trajectoire ou de valeurs objectifs pour le secteur UTCF.

La PAC 2013 est actuellement en discussion. Son programme de développement rural (2e pilier) devrait comporter la lutte contre le changement climatique parmi ses six priorités.

Enfin, l'UE s'est engagée à maintenir un puits forestier d'ici 2020 sans tenir compte des récoltes nécessaires à la partie « biomasse » du paquet énergie climat.

Recommandation : Développer les études et expérimentations technico-économiques explorant le déploiement des réductions des émissions de GES dans le secteur agriculture UTCF et en déduire les aides nécessaires via la PAC et/ou l'inclusion dans les marchés de carbone

Recommandation : Inscrire des objectifs de réduction des émissions de GES dans la négociation 2013 de la PAC et prévoir le soutien aux mesures techniques comme la méthanisation et l'agro-foresterie via l'inclusion de l'agriculture dans les marchés de carbone, ou via une ré-orientation des aides de la PAC en cours de période 2013/2020

¹⁸ Cette analyse est partagée par l'ADEME.

Le bâtiment

Le secteur du bâtiment a émis en 2011 :

- 91 Mt CO₂ éq. (18 % des émissions en France), dont :
 - 61 pour les logements (environ deux tonnes par logement et par an),
 - et 30 pour le tertiaire (bureaux, hôpitaux, commerces...).

Il a consommé la même année 68 Mtep d'énergie finale, soit 44 % de la consommation française.

La différence entre le ratio « énergie » et le ratio « CO₂ » tient à la prévalence du chauffage électrique.

Les scénarios prospectifs

25 des 36 millions de logements qui existeront en 2050 sont déjà construits.

La « Contribution de l'ADEME à l'élaboration de visions énergétiques 2030-2050 » avance les évolutions suivantes pour les émissions de gaz à effet de serre :

Mt Co ₂ éq	1990	2030	2050	% 2050/1990
résidentiel	66	26	9	-86,36 %
tertiaire	30	13	2	-93,33 %

La contribution du bâtiment s'y établit au niveau du facteur 10, un peu supérieur au scénario proposé par le rapport Perthuis.

Il s'agit là de scénarios volontaristes, partant de l'hypothèse de la réalisation du facteur 4 en 2050, et qui l'atteignent par construction. Tous les techniciens s'accordent à considérer qu'aucun obstacle de nature purement technique ne s'oppose à cette perspective. Les problèmes à résoudre sont de natures différentes :

- économique : une étude¹⁹ du Commissariat général au développement durable (CGDD) laisse entrevoir une loi des rendements décroissants. Elle comporte une matrice des « coûts de transition » entre les différentes classes²⁰ du diagnostic de performance énergétique : passer de G à F coûterait ainsi 50 €/m², mais passer de B à A coûterait 350 €/m². Il sera sans doute raisonnable de s'en tenir aux classes B voire C pour une part importante du parc existant ;
- esthétique (dans les centres anciens par exemple) : en l'état actuel des techniques, l'isolation par l'extérieur se heurte aux exigences esthétiques, tandis que l'isolation par l'intérieur « coûte » de précieuses surfaces habitables²¹ ;
- et de pratique sociale (cf. les « effets rebond »²²) : les consommations réelles sont en fait difficiles à calculer a priori : presque tous les bâtiments de bureaux « basse consommation » construits ces dernières années et ayant fait l'objet d'une vérification

¹⁹ Études et documents n° 58, novembre 2011.

²⁰ Les logements sont répartis en classes selon leur consommation énergétique (mesurée en kWh/m²/an). La classe A, la plus économe, regroupe les logements consommant moins de 50 kWh/m²/an.

²¹ Et, neutralisant l'inertie des murs, pose des problèmes de confort d'été.

²² On constate que les occupants ayant amélioré la performance énergétique de leurs locaux augmentent en général leur niveau de confort (par exemple en augmentant la température, neutralisant une partie de l'économie théorique : c'est ce phénomène qui est appelé « effet rebond ». Des études sont en cours pour en appréhender les modalités et le volume).

soigneuse des performances ont donné lieu, au moins la première année, à des déconvenues, les consommations réelles s'établissant à un niveau nettement supérieur aux calculs de conception.

Recommandation : Développer les recherches sur les comportements réels vis-à-vis des paramètres environnementaux

Recommandation : Dans le domaine du bâtiment, poser clairement le plus tôt possible les problématiques d'écart entre les économies théoriques et les économies constatées de façon à engager la recherche de solutions. Développer la recherche et les études permettant de comprendre les causes, pour s'efforcer d'y remédier

et plus généralement :

Recommandation : Poser le plus tôt possible la question des limites et des obstacles qui risquent d'être rencontrés dans la rénovation thermique lourde du parc de bâtiments afin de s'engager sans attendre dans la recherche de solutions

Les objectifs du Grenelle

La garantie de performance reste un sérieux enjeu. Un gisement existe manifestement dans la gestion de l'énergie, notamment dans le tertiaire. Les acteurs de l'efficacité énergétique « active » avancent qu'ils sont en mesure de garantir des réductions de consommation significatives, de l'ordre de 20 à 25 %, en intervenant sur des bâtiments tertiaires existants avec peu d'investissements, amortis en cinq à dix ans. La formule contractuelle proposée est celle du contrat de performance énergétique, avec obligation de résultat, avec ou sans préfinancement par l'opérateur.

À considérer les pratiques dans le tertiaire (températures constatées nettement supérieures à la norme réglementaire (19° C), mauvaise temporisation, etc.), on a le sentiment que la guerre au gaspillage n'est pas déclarée.

Le secteur du bâtiment a plus fait l'objet (notamment dans le cadre du « Grenelle environnement ») de débats sur les politiques à mettre en œuvre et les mesures à prendre que de travaux prospectifs.

Pour la construction neuve, le « Grenelle » a entériné deux étapes :

- fin 2012 : généralisation de la Réglementation thermique 2012 (RT 2012) et des bâtiments dits « basse consommation » ou « BBC » avec une consommation d'énergie primaire limitée (en moyenne) à 50kWh/m²/an, trois fois moins que dans la RT 2005 ;
- fin 2020 : généralisation des bâtiments dits « à énergie positive » ou « BEPOS », c'est-à-dire produisant plus d'énergie (renouvelable²³) qu'ils n'en consomment.

Pour les bâtiments existants, l'État s'est fixé, par la loi Grenelle 1, l'objectif d'une réduction « d'au moins 38 % » d'ici à 2020, de la consommation d'énergie, notamment grâce à la « rénovation complète » de 400 000 logements par an.

²³ Et « notamment le bois-énergie » ajoute curieusement le texte de la loi. Le bois-énergie est certes une énergie renouvelable, mais elle n'est pas produite dans, ou par, un bâtiment. À noter toutefois que l'usage du bois dans la construction limite la quantité de carbone « gris ». Selon un constructeur de maisons individuelles industrialisées en bois (maisons « Muse » de la société BH, groupe Bénéteau), une maison traditionnelle « pèse » 12,5 tonnes de CO₂, une maison « Muse » - 2 tonnes : la quantité de « carbone gris » y serait négative.

Ces politiques ont visé l'économie d'énergie, et non – du moins de manière explicite - la diminution des émissions de GES. La question de la diminution des émissions ne se superpose pas exactement à celle de la consommation d'énergie : la question de la décarbonation des énergies utilisées est posée. En particulier, le choix de mesurer en « énergie primaire » plutôt qu'en « énergie finale » peut dans certains cas encourager le recours aux hydrocarbures fossiles.

Recommandation : Redonner la priorité à la lutte contre les émissions de GES ; reconsidérer à cet égard le principe de l'évaluation en énergie primaire

Et en premier lieu, l'État et ses établissements publics doivent réduire d'au moins 40 % leurs consommations d'énergie et d'au moins 50 % les émissions de gaz à effet de serre avant 2020.

En matière de constructions neuves, les objectifs ont été mieux que respectés : la réglementation thermique RT 2012 est intégralement en vigueur depuis le 1er janvier 2013 et semble admise par l'ensemble des professionnels. Mieux, son application a été en fait largement anticipée.

En matière de bâtiments existants, la situation est plus mitigée et nous ne sommes pas sur la trajectoire prévue vers les -38 % en 2020, sauf peut-être pour les logements sociaux. Les causes de cette situation sont les suivantes :

- insuffisance de la distribution des aides, pourtant élevées (crédit d'impôt et prêt à taux zéro « éco PTZ »), liée pour partie aux complexités du système ;
- retard au démarrage du programme « Habiter mieux », destiné aux propriétaires occupant de faibles ressources ;
- essoufflement précoce du programme « État exemplaire », spécifique au parc immobilier de l'État, pourtant bien démarré au stade des diagnostics ;
- effets de la crise sur les disponibilités des ménages et leur propension à investir ;
- et, plus fondamentalement, problème de rentabilité intrinsèque, dans le tertiaire, mais aussi sans doute dans une bonne partie du logement. Aux prix actuels de l'énergie, et sans prise en compte de l'accroissement de valeur patrimoniale, les temps de retour des opérations de rénovation pour un objectif tel que la division par deux des émissions de GES sont plutôt de l'ordre de trente à quarante ans que de quinze ans.

Le Gouvernement a fixé un objectif ambitieux de rénovation (500 000 logements par an). Il ne sera atteint qu'au prix de mesures fortes. La mission suggère deux pistes de réflexion :

- même si les décisions d'investir des occupants n'obéissent pas à une logique pure de rentabilité économique, on imagine mal que des mouvements de grande ampleur puissent se développer trop loin des critères de rentabilité, sauf obligations réglementaires ;
- le monde de l'entreprise s'engage plus facilement dans ces voies nouvelles que les ménages : il est à la fois mieux informé, mieux armé pour étudier les projets au plan technique et financier et intéressé à l'activité économique qui peut en résulter, tandis que les ménages sont dispersés et manquent encore d'une information adaptée. L'idée de passer par les fournisseurs d'énergie pour aider les ménages à s'engager mérite d'être explorée²⁴.

²⁴ Déjà à l'œuvre dans le système des CEE en France, et qui se met en place au Royaume-Uni.

Recommandation : Confier aux grands opérateurs (notamment fournisseurs d'énergie) la mission de promouvoir des formules « clé en main » auprès de leurs clients, comportant étude technique et financière des travaux, offre de financement et remboursement intégré aux factures d'énergie

Recommandation : Donner aux opérateurs précités des obligations de résultat relatifs à cette procédure « clé en main » sur le mode des certificats d'économie d'énergie²⁵

Recommandation : Dimensionner ces obligations de résultat pour atteindre des objectifs fixés au niveau national en matière d'économies de GES (et non d'énergie)

Recommandation : Améliorer la connaissance du « gisement » d'économies et de la rentabilité globale de chaque catégorie de travaux selon les hypothèses d'évolution des coûts de l'énergie et tenir à jour cette connaissance. Promouvoir la recherche dans ce sens

Notons qu'en termes économiques, des obligations réglementaires de ce type équivalent, dans le secteur considéré, à donner un prix au carbone (éventuellement assez élevé) ; ce type de dispositif pouvant, dans le contexte français, être mieux accepté par la population qu'une taxation lourde²⁶.

La prise en compte de l'« énergie grise », enfin, incite à limiter la construction neuve au profit de la réhabilitation. Par ailleurs, toute construction nouvelle doit être l'occasion de réflexions approfondies sur les consommations d'énergie et les émissions de GES liées à la mobilité des occupants et usagers de ces nouvelles surfaces, dont le chauffage n'aura plus qu'un impact marginal.

L'énergie

Le secteur de l'énergie produit selon la manière de l'envisager :

- 12 % des émissions de GES si l'on se borne aux émissions nécessaires pour produire l'énergie (industrie énergétiques)²⁷ ;
- 94,3 % des émissions de CO₂ (71 % des émissions de GES) si l'on considère l'utilisation de l'énergie dans tous les secteurs de l'activité nationale²⁸.

Nous adoptons ici la seconde acception, qui implique donc d'envisager les relations avec les autres secteurs d'activité.

Le champ des incertitudes

²⁵ Les certificats d'économies d'énergie (CEE) reposent sur une obligation de réalisation d'économies d'énergie imposée par les pouvoirs publics aux vendeurs d'énergie. Ceux-ci sont ainsi incités à promouvoir activement l'efficacité énergétique auprès de leurs clients : ménages, collectivités territoriales ou professionnels. V. 4.2.4. du rapport.

²⁶ Les enquêtes sociologiques (notamment du CREDOC) sur le sujet montrent régulièrement que les Français sont « prêts à faire des efforts » pour l'environnement à condition que tout le monde en fasse. À cet égard, la réglementation, pourvu qu'on en contrôle l'application, est assez bien admise, car ressentie comme égalitaire.

²⁷ CITEPA SECTEN 2010.

²⁸ SOeS Chiffres clé du climat éd. 2011. Origine CITEPA.

Le secteur de l'énergie est le lieu d'incertitudes larges et évolutives de natures diverses :

- technologiques :
 - x sur les rythmes de maturation de techniques de production décarbonées – photovoltaïque notamment – ou de stockage de l'énergie – batteries, cycle hydrogène – qui constituent une clé du développement des énergies décarbonées intermittentes ;
 - x sur le développement des biocarburants de 2e et 3e générations ;
 - x sur les ressources exploitables en hydrocarbures non-conventionnels (gaz de schiste notamment) et sur leurs conditions techniques ;
- géopolitiques :
 - x sur la sécurité et les coûts de l'approvisionnement en combustibles et en certaines matières premières stratégiques ;
 - x et sur leur traduction économique (sur l'évolution des prix des combustibles fossiles) ;
- liées aux choix politiques concernant l'énergie :
 - x sur l'avenir de la production nucléaire ;
 - x sur l'exploitation des hydrocarbures non conventionnels ;
 - x sur la politique agricole ;
- liées au degré d'acceptation par la population de contraintes nées du développement des éoliennes ou de la séquestration souterraine du CO₂, etc.

Ces incertitudes interdisent à peu près toutes prévisions fondées en raison au-delà de 2025-2030 et peut-être à horizon plus court. Tout exercice de prospective est contraint de poser des hypothèses fortes.

De nombreux auteurs raisonnent en termes de substitution d'énergie moins carbonée à de l'énergie plus carbonée, sans prendre explicitement en compte que toute offre nouvelle se traduit partiellement par une augmentation de la consommation. Ce point est rarement intégré dans les études de prospective.

Recommandation : Développer la recherche sur les élasticités de la consommation d'énergie à l'offre, à court et à long terme, par secteur, etc.

Le rapport « Énergie 2050 » rédigé à la demande du ministre chargé de l'industrie, de l'énergie et de l'économie numérique par Jacques Percebois et Claude Mandil (février 2012) est structuré autour des options relatives au nucléaire. Selon ce rapport, « personne ne peut prédire ce que sera le paysage énergétique en 2050 », ce à quoi on ne peut que souscrire. Il plaide pour que la France ne se prive d'aucun moyen. Posant comme hypothèse qu'une centrale nucléaire est sûre si et seulement si elle est déclarée comme telle par l'autorité de sûreté nucléaire (ASN), il évite le débat sociétal et politique autour de cette source d'énergie et peut ainsi conclure à l'intérêt de son développement.

Les autres exercices de prospective attendent la décarbonation de l'énergie de sources diverses.

Pour le rapport « Christian de Perthuis », la décarbonation du secteur de l'énergie regroupant la production électrique, le raffinage et le transport des hydrocarbures, la fourniture de vapeur et de chaleur peut être quasi totale en 2050 dans le cadre d'une forte

accélération de l'efficacité énergétique, de la production d'énergies renouvelables (passant de 12 % à 40 %), et de centrales à gaz dont certaines pratiquant la capture et la séquestration du carbone. Le rapport suppose un croisement entre des coûts d'énergies renouvelables aujourd'hui élevés mais décroissants et des prix croissants des hydrocarbures, grevés d'un coût du carbone lui aussi croissant.

Les technologies décarbonées matures

La mission propose de considérer comme économiquement mature (c'est-à-dire qu'il est, du point de vue économique, raisonnable de développer) une technologie capable de produire de l'énergie décarbonée utile à un coût inférieur ou égal au coût de revient de l'énergie nucléaire de seconde génération (type EPR) tel qu'estimé dans les rapports récents de la Cour des Comptes et du Sénat, soit 70 à 90 € / MWh.

Les principaux gisements nouveaux exploitables dans cette catégorie portent essentiellement sur :

- la récupération de chaleur sous diverses formes : cogénération, géothermie, pompes à chaleur,
- l'hydraulique,
- la biomasse,
- le solaire thermique,
- l'éolien.

Recommandation : Encourager dès maintenant « sans modération » la récupération de chaleur, l'hydraulique, l'utilisation de la biomasse non valorisable, l'énergie éolienne...

Recommandation : Entreprendre une action pédagogique étendue, à la fois d'écoute et d'explication sur l'énergie éolienne terrestre

Les technologies décarbonées en gestation

Un ensemble de techniques ayant prouvé leur faisabilité technique laisse entrevoir des possibilités fructueuses pour l'avenir, mais ces techniques ne sont pas actuellement parvenues à un stade où leur exploitation en vue d'économies massives de GES dans les conditions du marché soit possible :

- soit pour des raisons de coût de revient, comme le photovoltaïque, environ 2,5 fois « trop cher » dans les techniques actuelles, le stockage électrochimique de l'énergie (batteries) ou les dispositifs en mer (éolien offshore, énergies marines...) ;
- soit pour des raisons encore de l'ordre de la mise au point technique, comme la capture et séquestration du CO₂ ou le cycle hydrogène-pile à combustible.

Ces techniques connaissent des successions de générations technologiques avec entre elles des ruptures plus ou moins grandes. Elles requièrent des efforts de recherche ciblés sur les générations technologiques susceptibles d'atteindre la maturité économique, sans qu'on puisse prédire leur avenir avec précision. Il est probable par exemple, que le solaire photovoltaïque n'atteindra pas la maturité économique dans les technologies actuelles mais grâce à des ruptures à venir permettant un saut quantitatif dans le rendement.

La question du stockage de l'énergie, notamment électrochimique, mérite un place prioritaire dans l'effort de recherche, si possible dans un cadre européen. On sait en effet qu'au-delà

d'un certain stade²⁹, le développement des énergies intermittentes sera tributaire des capacités de stockage de l'énergie : inertie thermique sous différentes formes, stockage hydraulique (stations de transfert d'énergie par pompage, solutions techniquement mature, mais onéreuse), batteries (dont le véhicule électrique sera sans doute un vecteur puissant de développement), cycle hydrogène (handicapé par un rendement médiocre).

L' « énergie 2.0 »

L'ensemble des développements technologiques en cours laisse entrevoir à échéance décennale l'apparition d'un modèle intégré décarboné fondé sur la combinaison intelligente :

- de production décentralisée d'énergie décarbonée, soit sur les bâtiments « BEPOS », soit hors urbanisation (éoliennes),
- de capacités de stockage, notamment dans les batteries des véhicules électrique³⁰ ou, sans doute plus tard, dans des réserves d'hydrogène,
- des « réseaux intelligents » permettant de gérer la mutualisation à l'échelon local d'abord, réduisant d'autant les besoins d'interconnexion à longue distance coûteux en réseaux et en pertes,
- et une évolution des structures de gestion vers une décentralisation des décisions.

Les conditions économiques pour le déploiement de ces modèles ne sont pas encore réunies.

A l'horizon 2025-2030, il n'est cependant pas impossible que les évolutions technologiques et géopolitiques rendent ces schémas viables et il faut l'envisager dès maintenant.

Recommandation : Faire des paris, notamment à l'occasion de la réflexion sur les normes de construction pour 2020, sur les développements de « l'énergie 2.0 », et en tout cas laisser ouvertes les possibilités de déploiement de ces systèmes

La stratégie publique de progression vers le facteur 4, dans un contexte de fluctuations importantes des coûts et d'incertitudes multifactorielles, implique qu'on étudie et qu'on tienne prêtes des mesures pour les temps de pénurie (réglementations, systèmes de quotas intelligents, par exemple) et des mesures pour les temps de détente (la taxation modulée du CO₂, permettant de lisser la hausse tendancielle des prix de l'énergie, par exemple).

Recommandation : Éviter une baisse des prix à la consommation dans le cas où l'arrivée des hydrocarbures non conventionnels réduiraient temporairement la pression sur les coûts d'approvisionnement, par exemple grâce à une modulation dans le temps de la taxation

Conclusions

***In fine*, tous secteurs confondus, l'ensemble des exercices prospectifs, si l'on en retient les versions « raisonnablement optimistes », débouche plutôt sur une réduction des émissions d'un facteur 2 ou 2,5 que d'un facteur 4. L'atteinte du facteur 4, si elle s'avère nécessaire pour la sauvegarde de nos civilisations, nécessitera probablement**

²⁹ On évoque souvent le chiffre de 30 % de la puissance installée, mais il doit être largement modulé selon les circonstances.

³⁰ Où nombre de brevets de base sont l'œuvre de scientifiques français.

des ruptures plus importantes dans les modes de vie, que les données disponibles aujourd'hui ne permettent pas de programmer.

Recommandation : Mettre à profit les moments de crise pour engager les transformations nécessaires, lorsqu'à la fois l'opinion en comprend la nécessité et que l'offre technologique est disponible

Mais l'avenir est-il joué ? On peut voir la réduction des émissions de GES d'ici 2050 (et au-delà) comme une histoire à rebondissements. En 40 ans (le délai qui nous sépare du premier choc pétrolier) crises et opportunités se succéderont dans des conditions imprévisibles aujourd'hui, qu'il appartiendra aux responsables politiques et économiques d'exploiter au fil de décisions au jour le jour, en suivant avec une volonté politique constante un fil conducteur qu'on peut définir comme la « valorisation du carbone » à des niveaux suffisants (et globalement plus élevés que ceux qui ont cours aujourd'hui) sous les diverses formes qu'elle pourra revêtir selon les secteurs et les circonstances. Dans un contexte où les informations disponibles se contredisent d'un jour à l'autre et où les décisions d'investissement engagent l'avenir lointain, des erreurs de pilotage seront commises, qu'on ne pourra détecter qu'a posteriori. Pour en commettre le moins possible, il importe que les pouvoirs publics disposent en permanence d'une information factuelle à jour, donnant le point des connaissances, tirant au fur et à mesure les leçons de l'expérience, évaluant les marges d'incertitude, et mettant en évidence les frontières du savoir. La mission s'est efforcée d'en produire une esquisse secteur par secteur, puis en considérant les interférences entre secteurs. La pire erreur serait de retenir l'action. Le présent rapport a constaté des consensus assez larges sur certains axes majeurs.

« La vraie générosité envers l'avenir consiste à tout donner au présent »
Albert Camus

Liste des recommandations (par ordre d'apparition dans le texte du rapport)

1. Organiser la fonction d' « observatoire du facteur 4 » avec les acteurs en place, en faisant converger système de mesure, évaluation des politiques publiques, évaluation des perspectives technologiques et économiques, vulgarisation et pédagogie.....[40](#)
2. Piloter le prix à la consommation finale des énergies fossiles carbonées (en l'ajustant au bon niveau grâce à une taxe notamment) en référence à un trend d'augmentation des prix à moyen terme cohérent avec les diminutions d'émissions souhaitées.....[65](#)
3. Éviter une baisse des prix à la consommation dans le cas où l'arrivée des hydrocarbures non conventionnels réduiraient temporairement la pression sur les coûts d'approvisionnement, par exemple grâce à une modulation dans le temps de la taxation.....[66](#)
4. La trajectoire permettant d'espérer l'atteinte les objectifs en 2050 passe vraisemblablement par une diminution des émissions en 2020 de 25 % et non de 20 %, ce qui suppose en chiffres ronds un effort de réduction de 3 % par an (au lieu de 2 %). La France doit défendre cette position dans les négociations européennes.....[76](#)
5. Accélérer dans le cadre d'Eurostat les travaux préalables indispensables pour pouvoir dès que possible mettre à l'agenda une valorisation européenne du GES importé.....[78](#)
6. Pour mieux répartir l'effort de réduction des émissions dans la durée en augmentant l'effort aujourd'hui et ne pas laisser à nos successeurs un effort irréalisable, envisager des « valeurs du carbone » ou des prix des énergies fossiles croissant rapidement dans les prochaines années et éventuellement moins vite par la suite.....[87](#)
7. Développer la recherche sur les composantes de la demande de transport de marchandises à longue distance et sur ses déterminants.....[100](#)
8. Favoriser les nouveaux services de mobilité décarbonée, notamment dans l'habitat diffus.....[102](#)
9. Dans l'attente d'un éventuel accord international prévoyant la mise en place de nouveaux mécanismes contraignants pour réduire les émissions de GES, le système européen de quota d'émission de GES (SCEQE) est le seul système communautaire d'incitation à la réduction des émissions utilisant un signal prix. La France doit apporter son plein soutien au renforcement adopté en 2009, à la vente aux enchères des quotas, à une répartition adéquate des mises aux enchères pour assurer un soutien du prix. Le SCEQE pourrait efficacement élargir la couverture des émissions de CO2 par extension aux consommations diffuses de combustibles et carburants fossiles.....[112](#)

10. Soutenir la recherche sur la connaissance des flux de carbone et d'azote dans les sols agricoles et forestiers.....[121](#)
11. Œuvrer pour obtenir le changement des normes internationales de prise en compte des puits de carbone dans les inventaires de GES.....[121](#)
12. En attendant le changement des normes, orienter l'action publique vers la recherche de la meilleure efficacité réelle, et non la maximisation des résultats selon les normes de calcul internationales lorsque celles-ci sont inadéquates.
.....[121](#)
13. Inscrire des objectifs de réduction des émissions de GES dans la négociation 2013 de la PAC et prévoir le soutien aux mesures techniques comme la méthanisation et l'agro-foresterie via l'inclusion de l'agriculture dans les marchés de carbone, ou via une ré-orientation des aides de la PAC en cours de période 2013/2020.....[122](#)
14. L'essentiel des méthodes propres à réduire les émissions de GES dans l'agriculture UTCF étant d'ores et déjà connu, développer les études et expérimentations technico-économiques explorant les conditions économiques et sociales de leur déploiement, et en déduire les aides nécessaires via la PAC et/ou l'inclusion dans les marchés de carbone.....[130](#)
15. Recenser les facteurs (y compris les normes réglementaires) qui favorisent actuellement l'artificialisation des sols.....[132](#)
16. Développer des recherches sur les causes (tenant notamment à la dérégulation du marché foncier et au droit de l'urbanisme) qui favorisent le développement de l'habitat dispersé et les déplacements motorisés.....[132](#)
17. Développer études et recherches sur les conséquences en termes d'émission de GES des différentes formes d'artificialisation des sols et notamment de l'éclatement urbain.....[132](#)
18. Envisager le bois stocké (par exemple dans la construction) comme un moyen compétitif de séquestration du carbone et mettre en œuvre un programme cohérent de mobilisation et de valorisation de la ressource forestière.....[134](#)
19. Développer des modélisations sylvicoles et économiques permettant de répondre à la nécessité d'une gestion plus active des forêts, en réponse aux besoins d'adaptation et d'atténuation nés des effets du changement climatique.....[134](#)
20. Dans le domaine du bâtiment, redonner la priorité à la lutte contre les émissions de GES ; reconsidérer à cet égard le principe de l'évaluation en énergie primaire.....[137](#)
21. Dans le domaine du bâtiment, poser clairement le plus tôt possible les problématiques d'écart entre les économies théoriques et les économies constatées de façon à engager la recherche de solutions. Développer la

recherche et les études permettant de comprendre les causes de ces écarts, pour s'efforcer d'y remédier.....	143
22. Confier aux grands opérateurs (notamment fournisseurs d'énergie) la mission de promouvoir des formules « clé en main » auprès de leurs clients, comportant étude technique et financière des travaux, offre de financement et remboursement intégré aux factures d'énergie.....	146
23. Donner aux opérateurs précités des obligations annuelles de résultat relatifs à cette procédure « clé en main » sur le mode des certificats d'économie d'énergie.....	146
24. Dimensionner ces obligations de résultat pour l'atteinte des objectifs fixés au niveau national en matière d'économies de GES (et non d'énergie).....	146
25. Améliorer la connaissance du « gisement » d'économies de CO2 dans le bâtiment et de la rentabilité globale de chaque catégorie de travaux selon les hypothèses d'évolution des coûts de l'énergie et tenir à jour cette connaissance. Promouvoir la recherche dans ce sens.....	146
26. Développer la recherche sur les élasticités de la consommation d'énergie à l'offre, à court et à long terme, par secteur, etc.....	153
27. Entreprendre une action pédagogique étendue, à la fois d'écoute et d'explication sur l'énergie éolienne terrestre.....	155
28. Encourager dès maintenant « sans modération » la récupération de chaleur, l'hydraulique, l'utilisation de la biomasse non valorisable, l'énergie éolienne.....	158
29. Faire des paris, notamment à l'occasion de la réflexion sur les normes de construction pour 2020, sur les développements de « l'énergie 2.0 » et en tout cas laisser ouvertes les possibilités de déploiement de ces systèmes.....	164
30. Développer les recherches sur les comportements réels vis-à-vis des paramètres environnementaux.....	166
31. Engager des programmes importants de sensibilisation, de formation et d'information sur le changement climatique et les moyens concrets de réduire les émissions de GES envers les « corps intermédiaires » de professionnels au contact du public.....	166
32. Poser le plus tôt possible la question des limites et des obstacles qui risquent d'être rencontrés dans la rénovation thermique lourde du parc de bâtiments afin de s'engager sans attendre dans la recherche de solutions..	167
33. Mettre à profit les moments de crise pour engager les transformations nécessaires, lorsqu'à la fois l'opinion en comprend la nécessité et que l'offre technologique est disponible.....	167

Introduction

La commande

Le programme de travail 2012 du Conseil général de l'environnement et du développement durable (CGEDD) prévoit une étude thématique sur la réalisation des engagements de la France en matière de réduction des émissions de gaz à effet de serre, comportant un bilan des trajectoires actuelles par rapport aux prévisions et le rassemblement d'éléments permettant à terme de contribuer à la répartition la plus rationnelle possible de l'effort entre les secteurs de l'économie.

L'objet

L'influence des émissions de gaz à effet de serre (notamment de gaz carbonique, CO₂ de méthane, CH₄, et de protoxyde d'azote, N₂O) sur l'évolution du climat dans le sens d'un réchauffement global (différencié suivant les zones de la planète) mais aussi d'une amplification des phénomènes climatiques (sécheresses, inondations...), géographiques (élévation du niveau des mers) ou chimiques (acidification des océans) potentiellement désastreux n'est plus à démontrer. Les États commencent à mettre en œuvre des politiques d'adaptation pour limiter les conséquences néfastes de ces changements désormais inéluctables. Mais il serait irresponsable de voir dans l'adaptation une alternative à l'atténuation : il est vital pour la planète que les États intensifient leurs efforts pour limiter l'ampleur du réchauffement en cours.

La France, pour sa part, est engagée dans la réduction de ses émissions de gaz à effet de serre au titre de conventions internationales qu'elle a signées, de directives européennes contraignantes qu'elle a notifiées et de lignes directrices européennes non contraignantes. Elle s'est donné à elle-même par la loi des objectifs propres, dont celui de diviser par 4 les émissions de GES entre 1990 et 2050. C'est cet objectif qui est couramment dénommé « facteur 4 ».

Conformément aux conventions internationales, cet objectif ne porte que sur les émissions produites sur le territoire national (y compris pour la fabrication de produits destinés à l'export) et pas sur les GES (dits « gris ») émis hors du territoire national pour la fabrication ou l'élimination de produits consommés en France (qui représentent environ le tiers de l'« empreinte carbone » des Français et sont en croissance) ; il ne porte pas non plus sur les transports internationaux.

La démarche

La mission a rencontré les responsables des principales directions générales de l'administration concernées et les principaux partenaires externes, pour prendre connaissance de leurs problématiques au regard des émissions de GES.

La mission a examiné le système d'observation statistique et de comptabilisation des émissions de gaz à effet de serre puis l'ensemble des études prospectives récentes, générales ou sectorielles. Ces études répondent à deux types différents :

- les unes recensent les mesures en cours, prévues ou prévisibles destinées à réduire les émissions et en tirent des prévisions à 2030 et/ou 2050. Elles aboutissent le plus souvent à des réductions inférieures au facteur 4 ;
- les autres partent de l'hypothèse qu'on atteindra la division par 4 et imaginent par « rétro-prévision » (« *backcasting* ») les itinéraires qui peuvent y conduire. Elles font en général appel à des hypothèses optimistes sur le développement et la maturation de techniques innovantes ;
- certaines combinent les deux approches.

L'objet de la mission n'est pas de réaliser un nouvel exercice de prospective, mais de contribuer à l'élaboration d'outils et d'éléments de doctrine en vue d'un pilotage plus efficace de la politique de réduction des émissions de GES. Avec le « facteur 4 », nous sommes en effet devant un projet collectif de long terme où la puissance publique aura une multitude de décisions successives à assumer, dans un univers jonché d'incertitudes essentielles :

- incertitudes technologiques, sur la faisabilité à grande échelle et le rythme de maturation de techniques nouvelles aujourd'hui plus ou moins avancées dans leur développement (énergies nouvelles, séquestration du CO₂, stockage de l'énergie...) ;
- incertitudes économiques, sur l'évolution à moyen et long terme des prix des énergies fossiles, sur les évolutions de la demande mondiale et sur les cycles et crises économiques qui nous attendent ;
- incertitudes politiques et sociales, relatives aux choix collectifs (par exemple sur le nucléaire), aux évolutions de comportement et à l'acceptation de technologies (nucléaire de nouvelle génération, éoliennes...) ;
- incertitudes géopolitiques sur la capacité de la communauté internationale à établir des règles partagées.

Dès lors, ce qui apparaît raisonnable un jour ne l'est plus le lendemain, alors que nombre de décisions engagent le long terme. Dans un tel contexte, il nous a semblé utile pour les pouvoirs publics de disposer d'un état des lieux synthétique des connaissances disponibles.

C'est à cet exercice de recensement et d'analyse à date donnée (fin 2012) que s'est livrée la mission. Cette d'approche aurait vocation à être complétée (la mission n'ayant pas la prétention d'avoir été exhaustive dans un domaine aussi foisonnant) et continûment actualisée pour nourrir le débat public et la décision.

Il y aurait ainsi place pour un observatoire permanent de la trajectoire vers le « facteur 4 », analysant les obstacles et les opportunités, offrant à la fois un tableau de bord tenu à jour des éléments pertinents et un lieu d'étalonnage et de confrontation des données. La mission ne prend pas parti sur les formes institutionnelles que pourrait revêtir une telle fonction, mais elle verse au débat cet exercice préfigurateur.

Les enjeux

L'information est un levier essentiel de la mobilisation contre le changement climatique : l'enjeu est de permettre à toutes les catégories d'acteurs publics et privés de mesurer le résultat de leurs efforts et le chemin restant à parcourir pour atteindre les objectifs résultant des engagements pris par la France. Le système d'information sur les émissions de GES doit pour cela répondre à des besoins diversifiés, au-delà des obligations institutionnelles de compte rendu :

- suivi de l'atteinte des objectifs nationaux résultant des engagements internationaux de la France ;
- suivi et évaluation des plans climats territoriaux ;
- sélection et évaluation (*ex-ante* et *ex-post*) des investissements publics et privés concourant à l'objectif ;
- évaluation *ex-ante* et *ex-post* des impacts carbone des mesures de politique publique, qu'elles aient ou non un objectif environnemental explicite (pour pouvoir, à terme, utiliser le critère de coût de la tonne de CO₂ évitée pour cibler les mesures) ;
- information des consommateurs sur l'impact GES des produits ;
- information du public sur les grandes tendances de l'évolution du climat et des émissions de GES.

Par-delà sa capacité à répondre à ces différents besoins, le système d'information sur les GES doit viser un objectif de cohérence : une information a d'autant plus de valeur et d'impact qu'elle s'inscrit dans une description d'ensemble d'un système, et qu'elle entre dans des dispositifs d'évaluation partagée, de réflexions et de débats collectifs.

1. <i>Organiser la fonction d' « observatoire du facteur 4 » avec les acteurs en place, en faisant converger système de mesure, évaluation des politiques publiques, évaluation des perspectives technologiques et économiques, vulgarisation et pédagogie.</i>
--

1. Éléments de méthode

1.1. Pourquoi une approche par secteur est-elle nécessaire ?

Une forme de rationalité économique voudrait qu'on réincorporât dans les coûts de marché les « déséconomies externes » grâce à la définition de prix tutélaires des nuisances et à la mise en place de taxations³¹ qui redonnent aux consommations leur coût complet. Dans le cas qui nous occupe, il s'agit de taxer :

- les combustibles fossiles pour les porter au prix qu'on estime convenable, si on est dans une optique de gestion optimale d'une ressource énergétique rare ;
- ou, ce qui en pratique aboutit à un résultat analogue, les émissions de GES (dans une optique « pollueur-payeur ») si on s'attache aux dégâts résultant à terme de ces émissions.

Dès lors, le jeu spontané des acteurs aboutirait à l'optimum économique recherché (dans notre cas, à la réalisation du « facteur 4 »). Il n'y aurait plus pour cela besoin de politiques incitatives, d'aides à l'isolation des logements ou de subventions aux transports publics³². Il n'y aurait pas non plus nécessité que les pouvoirs publics s'intéressassent aux coûts des actions engagées par les acteurs économiques pour économiser l'énergie ou réduire les émissions (dits « coûts d'abattement » et « coûts d'évitement »³³).

Force est de constater que nous sommes loin de l'équilibre économique général et qu'un certain nombre d'obstacles structurels s'opposent aujourd'hui à l'instauration de cette rationalité, qui supposerait probablement un renchérissement du prix de l'énergie supérieur à ce que les acteurs sont prêts à accepter.

Dans ces conditions, il existe nécessairement des investissements bénéfiques pour la collectivité qui ne seront jamais rentables pour les investisseurs privés, ce qui justifie les réglementations contraignantes et/ou les aides publiques, financées par le prélèvement obligatoire.

Définir de façon rationnelle les politiques publiques d'aide et d'investissement les plus efficaces exigerait une bonne connaissance des « coûts d'abattement » : il faut savoir combien on peut économiser de GES pour un euro investi dans chaque type d'action, de façon à hiérarchiser les actions à mener en fonction de leur rentabilité (dans « l'ordre de mérite »). La connaissance de ces « coûts d'abattement » est aujourd'hui lacunaire.

1.1.1. Les divers modes de régulation coexistant ou possibles : quotas négociables, fiscalité, réglementation, subventions

Les divers moyens dont se sont dotés ou peuvent se doter les pouvoirs publics peuvent être classés par nature :

³¹ Les permis d'émission négociables peuvent produire le même effet.

³² Du moins au titre des politiques énergétiques et climatiques...

³³ Le coût d'abattement de la tonne de CO₂ est la dépense à consentir pour réduire l'émission d'une tonne, le coût d'évitement est la dépense à consentir pour éviter l'émission d'une tonne.

- les réglementations,
- la fiscalité,
- les contingentements (régimes de permis d'émission),
- les aides et subventions,
- l'information et la communication.

Chacune de ces politiques nécessite, pour en prévoir les effets potentiels écologiques, économiques et sociaux, des bases de connaissance particulières, qui dans les faits sont inégalement disponibles :

- connaissances sur les « contenus en carbone » des produits et des actions³⁴,
- connaissances technico-économiques relatives à l'applicabilité des normes édictées et à leurs effets, attendus ou inattendus,
- connaissances des élasticités des comportements et des consommations aux paramètres financiers, subventions ou taxes,
- connaissance des logiques de comportement des acteurs dans un univers technoéconomique donné.

1.1.2. Investir dans l'ordre des bénéfices actualisés décroissants ?

Dans une économie parfaitement fluide, il serait naturellement souhaitable pour la collectivité de mettre en œuvre les différentes mesures possibles dans « l'ordre de mérite », en commençant par les plus « rentables en GES » suivant un ordre de bénéfice actualisé décroissant³⁵ ou, compte tenu des contraintes de financement, de « bénéfices actualisés/investissements » décroissants.

L'hypothèse qui a fondé cette mission est que nous sommes relativement loin de cet optimum, qu'on néglige certaines actions potentiellement très efficaces alors qu'on consacre des ressources excessives à des actions de moindre efficacité³⁶.

Le présent rapport s'intéresse à la disponibilité et à la fiabilité des données permettant d'apprécier le rapport coût-efficacité des mesures publiques dans le cadre de politiques sectorielles de réduction des émissions de GES. La mission s'est notamment intéressée à la disponibilité des coûts d'abattement des actions envisageables dans les différents secteurs. Les rigidités de l'économie réelle ont amené la mission à s'interroger sur la légitimité du principe de programmation « par ordre de mérite ».

³⁴ Étant supposées admises les connaissances essentielles sur l'effet des émissions de GES sur le climat, telles que décrites par les rapports successifs du GIEC.

³⁵ Et non suivant un ordre de taux de rentabilité interne décroissant, comme on le voit souvent dans la littérature (cf. 1.3.4.).

³⁶ Un exemple très anecdotique mais illustratif tiré de la vie des bureaux est donné en annexe 11.

1.2. La méthode retenue

1.2.1. Un inventaire des connaissances disponibles

La mission s'est efforcée, secteur par secteur, de faire l'inventaire critique des connaissances disponibles sur les points clés évoqués ci-dessus :

- disponibilité des données sur les coûts d'abattement et d'évitement des différentes actions envisageables dans chacun des secteurs. La notion même de coût d'abattement pouvant d'ailleurs être discutée... ;
- cartographie des problèmes et difficultés propres à chaque secteur : on a en effet des raisons de penser que certains sous-secteurs (comme les transports urbains ou la construction neuve) sont des terrains d'améliorations considérables et aujourd'hui non bornées, tandis que d'autres sous-secteurs (le transport de marchandises longue distance, les immeubles haussmanniens...) opposent des obstacles difficilement surmontables en l'état actuel de nos techniques ;
- crises et ruptures probables dans les 38 années qui nous séparent de 2050 :
 - x ruptures technologiques (innovations parvenant à maturité ou abandon de techniques),
 - x ruptures organisationnelles,
 - x ruptures quantitatives (pénuries, changements des habitudes de consommation).

Les crises, si destructrices soient-elles, créent des obligations d'agir fortement et de remettre en cause les structures. Il y a lieu de préparer et d'entretenir les corpus de connaissances qui seront utiles dans l'urgence. La mission s'efforcera d'esquisser une analyse de la situation.

1.2.2. Les différents types d'hypothèses qui sous-tendent les scénarios prospectifs

Les exercices de prospective décrivant des trajectoires aboutissant au facteur 4 donnent souvent l'impression que ce résultat pourra être atteint par une simple intensification d'efforts d'ores et déjà entrepris. Ils ne permettent pas à l'opinion de prendre conscience des ruptures qui, selon toute vraisemblance, seront nécessaires. Pour faciliter une bonne lecture de ces travaux, il serait souhaitable qu'ils fassent apparaître les différents facteurs de baisse des émissions qui sous-tendent les calculs, et les différents types de ruptures qu'ils impliquent par rapport aux tendances actuelles (« *business as usual* »).

Dans cette perspective, il conviendrait d'essayer de distinguer (par exemple) :

1) les effets du progrès technique dans les domaines des énergies renouvelables, du stockage de l'énergie, des processus industriels, du captage du carbone et de l'efficacité énergétique (en distinguant si possible, d'une part, les technologies existantes qu'il suffit de développer et de déployer et, d'autre part, les innovations sur

lesquelles on peut raisonnablement compter). Bien entendu, les scénarios techniques n'ont aucun intérêt pratique si l'on ne fournit pas des indications sur le coût des investissements nécessaires ;

2) les changements dans l'organisation et la régulation des activités productives (normalisation technique, éco-conception, durabilité des produits, écologie industrielle) ;

3) l'effet des politiques d'aménagement de l'espace et des transports (densification urbaine, développement de l'offre de transports collectifs, développement du télétravail) sans omettre d'en préciser le coût ;

4) les évolutions affectant les manières de consommer au niveau individuel (économie de fonctionnalité, covoiturage et autres pratiques de mutualisation) ;

5) les ruptures plus radicales avec les tendances longues d'augmentation de la consommation, assimilables à des formes de « décroissance » (diminution de la fréquence et de la longueur des déplacements, diminution de la surface habitée par habitants, diminution de la température intérieure).

Un scénario qui ne précise pas l'importance respective de ces différents leviers n'a qu'une faible valeur informative et ne permet pas à l'opinion et aux acteurs économiques d'anticiper la nature des changements auxquels ils doivent se préparer.

1.3. Les approches économiques globales

1.3.1. Coûts et modèles, les approches des économistes

Les premières tentatives de construction de modèles économiques pouvant aider à définir des politiques climatiques ont aujourd'hui un peu plus de 30 ans. Depuis lors, de nombreux modèles sont apparus, de plus en plus détaillés, témoignant des progrès importants réalisés, mais mettant en évidence des phénomènes donnant lieu à des débats, voire à des controverses. On dispose ainsi d'une littérature économique riche mais complexe sur l'évaluation des coûts de l'atténuation du changement climatique, dont il n'est pas facile de tirer des enseignements clairs pour la décision.

Les équipes de recherche travaillant sur la question ont produit un grand nombre de scénarios, dont le GIEC présente régulièrement des synthèses. Les rapports du GIEC montrent ainsi par exemple que pour atteindre un objectif donné d'évolution du climat, les coûts mesurés en variations de PIB sont non seulement très disparates, mais ils deviennent parfois des bénéfices. On note en outre qu'entre le 3^e rapport (2001) et le 4^e rapport du GIEC (2007), l'intervalle d'incertitude des estimations des coûts a augmenté.

Il est donc nécessaire de revenir sur les méthodologies et les notions sous-jacentes aux estimations de ces coûts. En effet, les raisons pour lesquelles le monde académique des auteurs de modèles et le monde politico-administratif des utilisateurs de ces travaux ont du mal à se comprendre résultent largement d'un manque de clarté dans les présentations faites par les premiers et d'une méconnaissance des concepts utilisés, notamment de coût, par les seconds. Il convient donc de préciser ces concepts.

La définition suivante du « coût de l'atténuation », est généralement admise aujourd'hui : « le coût d'une action est la différence de coût entre un scénario tendanciel, dit souvent « *business as usual* » et un monde dans lequel l'action considérée est mise en œuvre ».

Cette définition, qui pose les bases de l'approche par « comparaison de scénarios » sur laquelle s'appuient les travaux prospectifs actuels, mérite que l'on approfondisse les fondements et les implications d'une telle démarche. On reviendra ensuite sur ce que recouvre le concept même de coût et les relations entre trois manières de l'appréhender la question : coût technique, coût macroéconomique et coût en bien-être.

Les économistes ne se risquent plus aujourd'hui à des prévisions ou des prédictions à long terme. Dans le cadre particulier des études de l'atténuation du changement climatique, cette prudence élémentaire va de soi : l'horizon pertinent est très éloigné et la mise en place d'une économie « décarbonée » imposera des modifications importantes tant technico-économiques que dans les préférences mêmes des agents. Dans une telle situation, la seule manière utile de se projeter dans l'avenir est la prospective.

Une approche prospective explore ce que l'on nomme classiquement « l'éventail des possibles ». Ces avenir possibles – ou concevables – concernent plus particulièrement l'économie et l'environnement, avec une attention spéciale portée au secteur de l'énergie. On cherche à en déterminer des états futurs en projetant des scénarios contrastés reposant sur diverses visions de ce que pourraient être les évolutions de l'économie et des techniques. Ces évolutions sont prises en compte par des modèles quantitatifs qui doivent contribuer à en assurer la cohérence.

Cette méthodologie a été utilisée systématiquement dans les travaux du GIEC, depuis le début des années 1990. Elle constitue aujourd'hui le fondement de la plupart des travaux de modélisation visant à estimer les coûts de l'atténuation du changement climatique.

Dans la plupart de ces travaux, études, recherche ou expertise, les noms et les contenus des scénarios qui interviennent ne sont pas exempts d'ambiguïté. Ainsi, les scénarios de type tendanciel sont appelés assez indifféremment « au fil de l'eau », « de base », « de référence », « sans politique climatique », « sans contrainte carbone » et « *business as usual* » ou « *baseline* » en anglais. Les scénarios dans lesquels on lutte contre le changement climatique sont appelés quant à eux : « d'atténuation », « de stabilisation », « de politique climatique » ou encore « avec contrainte carbone ». Ces différentes appellations ne sont en fait pas synonymes et l'usage de l'une pour l'autre peut être à l'origine de difficultés d'interprétation. En France, depuis 1995-98, une circulaire sur l'évaluation des projets routiers a défini la « situation de référence » comme « la situation la plus probable en l'absence de projet » ; il n'en va malheureusement pas de même pour les scénarios de politique climatique et l'on ne sait pas toujours si un scénario baptisé en français *business-as-usual* contient ou non des éléments de lutte contre l'effet de serre. En outre, de multiples décisions comme la promotion des transports en commun ou des économies d'énergie, dont l'objectif premier n'est pas la politique climatique, peuvent avoir des effets sur cette dernière. Enfin, indépendamment de toute recherche de diminution des émissions de GES, des changements dans les modes de vie peuvent avoir une influence sur le climat. Tout cela montre que le concept de scénario de référence manque de robustesse.

1.3.2. L'évaluation d'une politique d'abattement : coût-avantage ou coût-efficacité ?

1.3.2.1. L'analyse coût-avantage

C'est, en théorie, la méthode la plus rationnelle pour évaluer une action ou décision publique. Fondée sur la maximisation sous contrainte de l'utilité sociale, elle a l'ambition de fournir une règle cohérente pour l'affectation de ressources financières limitées à des projets alternatifs. L'hypothèse sous-jacente, souvent contestée à juste titre, est que les impacts sociaux des actions publiques sont assimilables à une augmentation mesurable du bien-être collectif.

Au-delà des débats récurrents entre les tenants et les opposants de cette méthode, force est de constater que l'analyse *ex-ante* d'une décision publique ne serait-ce qu'en termes de coût et d'impact sur les finances publiques n'est pas dénuée d'intérêt...

Comme l'écrivait Roger Guesnerie en 2003 dans le rapport du Conseil d'analyse économique (CAE) intitulé « *Kyoto et l'économie de l'effet de serre* » : « la qualité du climat est, au sens large du terme, un bien économique. La stratégie de lutte contre les effets climatiques des gaz à effet de serre peut, et doit, donc s'appuyer sur le corpus du savoir économique. Il s'agit ici de mobiliser les concepts utiles et les résultats accumulés, d'évaluer leur pertinence, afin d'organiser une sorte d'analyse coût-avantage des politiques de la maîtrise du changement climatique ».

Pour mener à bien une telle analyse, il faut évaluer d'une part les coûts d'une politique de maîtrise de l'émission des différents gaz à effet de serre et d'autre part, les avantages d'une telle politique (ou, en prenant le point de vue symétrique, les dommages créés par le changement climatique).

– Les coûts

La réduction des émissions de gaz à effet de serre peut être obtenue en mettant en œuvre trois grands types de mesures :

- en améliorant les techniques existantes pour limiter leurs émissions, voire développer des technologies de séquestration du carbone,
- en réarrangeant, au sein d'un secteur, des techniques existantes pour faire jouer un rôle plus important à celles qui sont moins polluantes que les autres,
- et enfin en orientant la demande finale vers des produits dont la production est moins polluante par une action sur les prix relatifs.

L'évaluation des coûts des mesures de premier type relève d'études microéconomiques ; les rapports successifs du GIEC en proposent un grand nombre, nous y reviendrons. Les coûts des mesures du second type sont quant à eux approchés par des modélisations sectorielles, comme celle de la production de l'électricité. L'estimation des troisièmes types de coûts passe par la prise en compte des comportements des agents économiques finaux.

Toutes ces études peuvent être conduites indépendamment les unes des autres, c'est d'ailleurs ce qui s'est passé historiquement. Mais il est plus intéressant de les synthétiser dans le cadre d'une analyse d'équilibre partiel (avec par exemple une

demande d'énergie exogène) ou, mieux encore – mais cela requiert des techniques de modélisation plus complexes – dans le cadre d'un modèle d'équilibre général calculable (MEGC). Ces points sont développés plus loin.

– Les avantages

Les avantages d'une politique de division par quatre de l'émission de GES sont égaux à la diminution du coût économique des dommages engendrés par le changement climatique en l'absence de telles mesures. Leur évaluation est particulièrement délicate. Le rapport Stern précité sur l'économie du changement climatique (2006) a permis d'avancer dans cette voie.

– Le problème de l'actualisation

La pondération inter-temporelle des coûts et des avantages est un problème classique qui prend ici, avec l'horizon très éloigné du calcul à mener, une importance déterminante. L'actualisation, qui écrase les effets pris en compte au fur et à mesure que le temps passe est en outre incompatible avec les exigences de la solidarité intergénérationnelle du développement durable. C'est pourquoi les évaluations économiques sont réalisées la plupart du temps avec un taux d'actualisation très bas. Mais ce point fait l'objet de controverses et alimente certaines critiques à l'égard du rapport Stern.

Selon la première approche adoptée par le rapport, fondée sur les coûts probables des méthodes de réduction des émissions, les coûts annuels d'une stabilisation à environ 550 ppm CO₂ éq. devraient se chiffrer à environ 1 % du PIB mondial d'ici 2050, dans une fourchette allant de – 1 % (gains nets) à + 3,5 % du PIB.

Selon la seconde approche adoptée par le rapport, assise sur des comparaisons d'une vaste gamme d'estimations de modèles macroéconomiques, les coûts d'une stabilisation à 500-550 ppm éq. CO₂ étaient centrés sur 1 % du PIB d'ici 2050 sur une fourchette allant de – 2 % à + 5 % du PIB.

On peut, avec Christian Gollier (La finance durable du rapport Stern, Revue d'Économie Politique – 2007), critiquer les méthodes qui conduisent à une telle conclusion, mais on ne peut nier les qualités pédagogiques d'un rapport qui a modifié les termes du débat public sur les conséquences du changement climatique en y apportant un message clair fondé sur une expertise économique reconnue.

Les critiques qui lui ont été adressées se sont essentiellement concentrées sur la prise en compte du temps et du risque dans l'analyse coût-avantage. Il n'en reste pas moins que la mobilisation par Nicholas Stern des théories économiques et des outils d'analyse financière les plus évolués constitue une vraie percée dans le paysage du débat sur le climat. En particulier, l'intégration de primes de risque associées aux incertitudes sur les impacts du changement climatique constitue un apport décisif.

Dans l'article cité ci-dessus, Christian Gollier reprend point par point la méthode suivie par Nicholas Stern et remet en question certaines de ses conclusions. Sur la base d'hypothèses revues, il calcule que nous devrions être prêts à abandonner 5,61 % de notre consommation, immédiatement et pour toujours, pour échapper au risque de changement climatique. Alternativement, nous devrions accepter d'abandonner définitivement 0,1 % de taux de croissance du produit intérieur brut (PIB) réel.

– Les valeurs d'options

Le changement climatique induit par l'accroissement de la concentration des GES est irréversible à l'échelle humaine. Il ne reste à l'humanité que quelques dizaines d'années pour stabiliser les concentrations de GES dans l'atmosphère à un niveau considéré comme tolérable. La mesure du coût d'atteinte d'un tel objectif, à partir d'un niveau initial donné est une fonction convexe du temps, ce qui signifie que les coûts marginaux croissent fortement avec le délai que l'on s'accorde. Chaque instant qui passe accroît le coût, ou bien fait disparaître une possibilité (une option) de stabilisation ultérieure. Sous l'hypothèse – raisonnable – selon laquelle le temps accroît la qualité de notre connaissance sur l'effet de serre, ses dégâts et les méthodes permettant d'en limiter les conséquences, le calcul économique devrait utiliser ce que l'on appelle une valeur d'option³⁷ depuis les papiers de Arroyo et Fischer et Claude Henry en 1974 (*Environmental Preservation, Uncertainty, and Irreversibility, Quarterly Journal of Economics*) et Henry (*Investment Decisions under Uncertainty : The Irreversibility Effect, American Economic Review, 1974*).

Roger Guesnerie montre, toujours dans le rapport du CAE « *Kyoto et l'économie de l'effet de serre* », l'utilité d'introduire une telle notion. Pour cela, il suppose d'abord que la communauté internationale décide de plafonner les concentrations de GES à 550 ppm, par crainte d'une explosion du coût des dommages au-delà de ce seuil. Pour atteindre un tel objectif, le report de l'action est plaidable, comme l'indiquent d'ailleurs la plupart des modèles à long terme : il vaut mieux en effet ne pas accélérer l'obsolescence du capital existant, attendre que les énergies alternatives sans carbone viennent sur le marché à bas prix et faire ainsi payer les « réductions » à nos descendants, plus riches que nous.

Il imagine ensuite que, par exemple dans 20 ans, on dispose de nouvelles informations selon lesquelles la zone dangereuse des concentrations de GES commence en fait à 450 ppm. Ces informations imposeraient alors des mesures très coûteuses, ce qui justifierait des actions vigoureuses dès maintenant. C'est ce qu'Arrow, Fischer et Henry nomment l'effet d'irréversibilité. Pour réconcilier le calcul économique tel qu'on le pratique encore aujourd'hui, c'est-à-dire n'optimisant pas complètement les stratégies envisageables (qui tiendraient compte de l'acquisition d'information avec le temps) avec une procédure d'optimisation stochastique plus exhaustive, il faudrait introduire une valeur d'option convenable. Ce serait certes difficile, mais envisageable.

Si l'on revient au rapport Stern, on observe que la méthode utilisée par les rapporteurs ne traite pas de la manière dont les efforts à entreprendre doivent être répartis dans le temps, alors qu'il existe de fortes incertitudes sur les bénéfices à attendre des mesures prises. Ces mesures, qui impliquent la plupart du temps des investissements importants sont, elles aussi, irréversibles et donc soumises à l'effet qui vient d'être rappelé : elles devraient donc être mises en œuvre progressivement, en restant attentif et réactif à tout progrès dans la connaissance des phénomènes en jeu : l'utilisation de valeurs d'option adaptées aurait permis de prendre en compte ces phénomènes, ce qui n'est pas le cas.

³⁷ Valeur d'option : cette classe de valeur renvoie aux services environnementaux non encore utilisés mais qui pourraient l'être dans l'avenir. En consommant un bien aujourd'hui, on se prive du service qu'il pourrait rendre plus tard dans un contexte physique et informationnel encore inconnu aujourd'hui.

Ainsi, les analyses de type coût-avantage ne semblent pas adaptées à l'évaluation des politiques climatiques³⁸.

1.3.2.2. Les analyses coût-efficacité

L'estimation des coûts de l'atténuation la plus répandue aujourd'hui recourt à l'approche coût-efficacité : il s'agit de comparer un scénario de stabilisation, ou d'atténuation déterminé et un scénario dit de référence : un objectif étant fixé, on recherche comment l'atteindre au coût minimum.

L'article 2 de la Convention Cadre des Nations unies sur le Changement Climatique (UNFCCC) formule l'objectif : « stabiliser les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère à un niveau qui empêche toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique ». De nombreuses d'études ont donc choisi un objectif en termes de concentration GES à un horizon donné, généralement 2050 ou 2100.

Il n'en reste pas moins que l'opération à laquelle se livrent ces analyses est assez incertaine et que la notion même de coût de l'atténuation, qui se rattache au concept plus général de coût d'opportunité³⁹, est une construction hypothétique impossible à observer, puisqu'elle requiert la comparaison de deux états de l'économie et de l'environnement dont un seul, au plus, se réalisera. On peut aussi remarquer que si la comparaison de deux scénarios envisageant des modifications marginales d'une trajectoire de référence est légitime, la comparaison à très long terme de politiques conduisant à des bouleversements dans les modes de vie l'est beaucoup moins.

Si ces approches coût-efficacité éliminent la difficulté de l'évaluation monétaire des avantages, elles n'échappent pas à la nécessité de calculer les coûts de l'abattement. Or les coûts calculés dans les différentes études ne recouvrent pas les mêmes réalités économiques.

Avant d'envisager des modèles s'intéressant au changement climatique, il convient de préciser quelle est la définition retenue par les auteurs pour les coûts économiques d'une politique de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES). Une grande partie des difficultés, des malentendus et des erreurs d'interprétation des résultats des modèles et de leur comparaison est liée au fait que les concepts de coûts utilisés sont différents selon les études (*IPCC, International Panel on Climate Change*⁴⁰, 1996).

Parmi les études disponibles aucune n'est en mesure de fournir une évaluation complète des coûts sociaux. Elles peuvent en revanche fournir les informations suivantes :

- estimations des coûts financiers directs de mesures technologiques spécifiques,

³⁸ Une autre raison en faveur de l'abandon de cette approche tient à l'opposition « premier rang » vs « second rang », sur laquelle on reviendra plus loin.

³⁹ Le coût d'opportunité (de l'anglais *opportunity cost*) ou plus rarement coût d'option, coût alternatif, coût de substitution, coût de renoncement ou « coût de renonciation » désigne la perte des biens auxquels on renonce lorsqu'on procède à un choix, autrement dit lorsqu'on affecte les ressources disponibles à un usage donné au détriment d'autres choix. C'est le coût d'une chose estimé en termes d'opportunités non-réalisées, ou encore la valeur de la meilleure autre option non-réalisée.

⁴⁰ En français : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC).

- évaluations de l'effet des politiques à grande échelle sur l'activité économique globale,
- estimations de l'évolution du bien-être collectif suite à l'introduction des politiques de lutte contre le réchauffement climatique.

Une grande variété d'indicateurs est rapportée dans la littérature pour rendre compte des coûts de la réduction des émissions : des coûts d'investissement dans les technologies décarbonées, des courbes de coût marginal d'abattement qui sont très largement utilisées, par exemple dans le rapport McKinsey (2009) sur lequel on reviendra plus loin, des pertes de PIB, des pertes de consommation des ménages, des variations de surplus, etc. Une telle profusion entretient une certaine confusion, d'autant plus que dans les travaux de synthèse ces coûts sont allègrement mélangés.

Que mesurent ces indicateurs ? Sont-ils équivalents ? Que peut-on dire des liens entre les différents indicateurs ?

Il convient de revenir sur toutes ces notions afin de préciser de quoi on parle. On distingue en général trois grandes catégories de coûts, qui ne sont pas toujours bien définis et dont les liens mutuels sont complexes : les coûts techniques, les coûts macroéconomiques et les coûts en bien-être.

1.3.3. Les différentes catégories de coûts

1.3.3.1. Les coûts techniques

Les différents types de coûts présents dans les modèles sont tout d'abord les coûts directs industriels et financiers des mesures techniques spécifiques : ce sont des coûts microéconomiques (coûts initiaux de mise en place d'une nouvelle technologie plus coûts énergétiques et de fonctionnement annuels). Ils sont en général calculés en valeur actualisée sur l'ensemble du cycle de vie d'une technique ou d'un projet.

Pour évaluer ces coûts, on adopte le point de vue des entreprises qui les supportent et on ne considère que les éventuels gains futurs de coûts de fonctionnement. À chaque investissement peuvent ainsi être associés à la fois un niveau de réduction d'émissions de GES par rapport à une tendance préétablie et une valeur actualisée nette. Cela permet de construire une courbe de coût technique reliant le coût de l'investissement au niveau de réduction espéré par rapport à un scénario de référence.

Concrètement, il existe au moins trois méthodes pour construire une telle courbe :

- Approche partielle : chaque option technologique est évaluée séparément et les résultats sont comparés projet par projet, soit à un projet de référence soit à un scénario de référence. L'absence de prise en compte des interdépendances entre les actions conduit à une technique d'évaluation simple mais peu satisfaisante.
- Approche rétrospective : on compare un scénario d'abattement à un scénario de référence défini au préalable. Le premier incorpore un cadre d'analyse des usages énergétiques qui autorise la prise en compte des interdépendances dans le système énergétique. L'approche partielle précédente constitue la première étape de cette méthode, puis différentes options sont envisagées de manière

incrémentale dans l'ordre de leur efficacité énergétique. C'est mieux, mais plus compliqué et pas nécessairement réaliste.

- Approche intégrée : chaque point de la courbe de coût est la solution minimisant les coûts du système énergétique total en intégrant à la fois l'offre et la demande. Les options technologiques sont classées comme précédemment, puis des paniers de technologies sont construits pour simuler un grand nombre de scénarios d'émission et calculer les coûts associés. Enfin, le scénario à moindre coût est retenu pour chaque niveau d'abattement et une courbe enveloppe des coûts d'abattement est ainsi construite.

Ces coûts dépendent donc de données technico-économiques ainsi que de la valeur retenue des taux d'intérêt et du taux d'actualisation. Ils peuvent être négatifs si, par exemple, les économies d'énergies rendues possibles par l'adoption d'une nouvelle technologie représentent un montant supérieur à celui de la mise en place de cette technologie.

On peut s'interroger sur la pertinence d'une démarche consistant à classer les coûts en fonction de leur seule valeur actualisée nette (VAN). En effet, si ce critère est bien celui que recommande la théorie économique en avenir certain, les industriels, en pratique, tiennent compte d'autres critères. L'incertitude croissant avec l'échéance, à aversion du risque donnée et pour une même VAN, ils préféreront le projet dont le « temps de retour sur investissement » est le plus court. Cela illustre le caractère insuffisant de la VAN pour construire une courbe de coût technique réaliste.

La question qui se pose ensuite est l'affectation de la totalité de ces coûts à la politique de lutte contre l'effet de serre. En effet, ces investissements peuvent être décidés par les entrepreneurs pour un ensemble de raisons parmi lesquelles figure le respect d'une contrainte d'émission de GES. Il convient donc avant toute chose de s'interroger sur le caractère isolé de la mesure envisagée ou de son intégration à un ensemble d'autres mesures. Dans ce dernier cas, l'attribution d'une partie des coûts à la mesure précisément étudiée est délicate : c'est la difficulté classique des « coûts liés », qui n'a généralement pas de solution satisfaisante.

La meilleure évaluation de coûts techniques est fournie par les modèles «ascendants» (« *bottom-up* ») qui décrivent finement les technologies potentielles. Naturellement, au-delà de 2050, l'évaluation des coûts techniques par cette approche pragmatique n'est pas fiable et l'utilisation de ces modèles pour une évaluation des coûts à très long terme paraît hasardeuse.

En outre, la période d'étude étant longue, il faut actualiser les valeurs des tonnes de carbone abattues. En effet, une tonne abattue aujourd'hui n'est pas équivalente à une tonne abattue dans dix ans. En principe, seules des considérations physico-climatiques devraient permettre de résoudre cette question en fournissant le coefficient d'équivalence entre ces deux tonnes. Mais les règles du marché font croître le prix de la tonne de carbone au rythme du taux d'actualisation. Pour réaliser une courbe de coût dans un cadre « *bottom-up* », il convient donc de définir des hypothèses sur l'évolution du prix du carbone et la courbe trouvée dépend de ces hypothèses.

On définit ensuite les coûts pour un secteur donné, obtenus dans le cadre d'une analyse d'équilibre partiel, généralement effectuée par un modèle sectoriel qui intègre un ensemble de mesures afin d'obtenir des représentations cohérentes pour un secteur de l'économie. L'élaboration de ces scénarios utilise bien quelques indicateurs macroéconomiques (comme le taux de croissance) mais ils ne prennent pas en

compte les interactions entre le secteur considéré (énergie, transport, agriculture) et le reste de l'économie.

1.3.3.2. Les coûts macroéconomiques

La mise en œuvre d'une mesure de réduction des GES peut avoir des impacts au-delà du secteur où elle est intervenue. Ces effets, dits « d'équilibre général », se traduisent par une modification de l'ensemble des prix et une réaffectation de l'ensemble des ressources lorsqu'on modifie l'équilibre sur un seul marché. La prise en compte de l'ensemble de ces modifications nécessite un modèle macroéconomique dont l'objet principal, en économie dite « fermée », sans échanges internationaux, est précisément l'étude de ces interactions. Cette prise en compte des effets d'équilibre général est centrale, car ils peuvent modifier jusqu'au signe des évolutions obtenues dans le cadre d'un modèle d'équilibre partiel. L'intégration dans un cadre d'équilibre général permet de voir comment le choc introduit sur un marché se répercute sur les autres pour aboutir à une modification du niveau et de la composition du PIB. En outre, seuls des modèles d'équilibre général calculable (MEGC) permettent d'étudier l'impact de l'utilisation des recettes engendrées par une éventuelle taxe sur les émissions ou un marché de permis d'émissions négociables vendus aux enchères.

Dans les modèles qui fournissent de tels coûts, le lien entre le coût marginal calculé et le coût total calculé en points de PIB n'est plus direct. En effet, dans les MEGC, le coût marginal est calculé en fixant différents niveaux de taxe et en calculant les niveaux d'abattements correspondants. Il s'agit donc d'un « prix implicite » ou encore « prix fictif » (*shadow price*) pour le producteur qui rend compte d'un coût technique de réduction des émissions. Le coût total exprimé en termes de points de PIB témoigne d'un coût macroéconomique après prise en compte des effets retour, notamment via une modification de la fiscalité. Il ne correspond donc pas à l'intégrale sous la courbe de coût marginal d'abattement (CmA). Le coût marginal macroéconomique associé au coût total exprimé en points de PIB et qui représenterait la perte de revenu engendrée au niveau macroéconomique par l'abattement d'une tonne supplémentaire n'est jamais présenté. Il convient de garder à l'esprit que dans tous ces modèles, selon les scénarios de référence par rapport auxquels les coûts sont calculés, une même perte exprimée en termes de points de PIB peut cacher un coût total très différent, mais reflète mieux la notion d'effort qu'un coût total exprimé de manière absolue.

1.3.3.3. Les coûts en bien-être

Les modèles représentant un monde économique « ouvert », c'est-à-dire comportant des échanges internationaux, sont plus complexes encore. En termes statiques, en l'absence de mobilité du capital, les coûts en bien-être d'une politique d'abattement dans une économie ouverte peuvent se décomposer en deux : les coûts qui apparaissent dans une économie fermée et la modification des termes de l'échange, lesquels constituent le premier canal de transmission des effets d'entraînement. Les termes de l'échange évoluent en faveur du pays qui subit la contrainte environnementale et le bien-être est réduit dans les autres pays (et réciproquement, lorsque la contrainte affecte le bien importé par les pays subissant la contrainte).

L'introduction de la mobilité du capital complique encore l'analyse. Outre les coûts de production et les termes de l'échange, la contrainte sur le carbone modifie les taux de retour du capital dans les pays subissant la contrainte relativement à ceux qui ne la subissent pas. La mobilité des capitaux renforce la restriction qu'impose la contrainte

environnementale sur la frontière des possibilités de production tandis qu'elle « agrandit la frontière de production » des autres. Les balances des paiements sont modifiées, les soldes des comptes des transactions courantes des pays contraints se détériorent tandis que ceux des comptes financiers s'améliorent à la suite de l'accroissement de leurs investissements étrangers.

1.3.4. Des liens complexes entre les concepts et des erreurs dans l'interprétation des résultats

1.3.4.1. Qu'entendre par « coût du carbone » ?

Certaines manières de présenter des évaluations du coût de l'atténuation dans des études ou dans des tentatives de synthèse simplifiées créent un malentendu à propos des types de coûts qui viennent d'être décrits et laissent croire qu'ils constitueraient des notions comparables, voire identiques. Ainsi, le coût technique induit par le respect d'une contrainte carbone à l'échelle d'un pays est parfois rapporté au PIB de ce pays, notamment dans les publications comparant les efforts des différents pays. Et comme le coût macroéconomique est la plupart du temps exprimé par la variation du PIB entre un scénario de stabilisation et un scénario de référence, ces deux types de coûts sont exprimés en pourcentage de PIB, ce qui crée un gros risque d'erreur d'interprétation.

La notion de « prix du carbone » est également ambiguë : elle peut aussi bien recouvrir un coût technique, comme prix implicite associé à une contrainte portant sur le carbone, qu'un coût en bien-être, parfois calculé à partir d'un modèle intégré.

La manière simplifiée dont sont présentés certains résultats portant le nom de courbes de coût marginal d'abattement (CCmA) peut aussi conduire à des erreurs majeures d'interprétation. C'est en particulier le cas de ce que l'on appelle couramment la courbe McKinsey (2009) sur laquelle on revient plus loin.

Dans cette représentation graphique, présentée sous le nom de CCmA, on lit à une date donnée les coûts (en € ou en \$ par tCO₂ éq, par exemple) associés à la réduction d'une unité supplémentaire des émissions de GES pour chaque niveau de réduction des émissions, par rapport à un scénario dit de référence. Ces graphiques fournissent donc une représentation du « potentiel d'abattement » à une date donnée, pour une valeur donnée du carbone. Le coût marginal d'abattement correspond alors au prix implicite du carbone associé à une contrainte carbone donnée. Le coût technique total d'une contrainte carbone se calcule en « intégrant sous la CCmA ».

On peut aussi construire une CCmA en utilisant un modèle d'équilibre général. À un prix donné du carbone, on fait correspondre les réductions dans les émissions de GES induites par l'introduction de ce prix dans l'ensemble des marchés de l'économie. Mais les deux types de CCmA ainsi obtenues n'ont pas grand-chose à voir entre elles et leur comparaison n'est pas licite.

Plus généralement, les trois notions de coût évoquées ci-dessus ne sont pas comparables. Des travaux récents du Centre International de Recherche sur l'Environnement et le Développement (le CIRED), par exemple un article de Hourcade et Gherzi (« *Measuring the costs of climate policies* » - 2009), montrent que le prix implicite du carbone associé à une contrainte carbone donnée et le coût macroéconomique de cette même contrainte ne sont même pas corrélés. Ils montrent en effet que dans les résultats de six modèles analysant les coûts de la mise en œuvre

du protocole de Kyoto, le classement des pays selon les prix du carbone n'est pas le même que selon les pertes de PIB. Par exemple, les États-Unis ont en général un coût marginal moins élevé mais un coût macroéconomique plus important que les autres régions du monde.

Le coût macroéconomique étant le meilleur indicateur des efforts économiques à réaliser, la comparaison des prix du carbone peut conduire à des erreurs. On peut noter que la raison qui incite nombre de décideurs à se focaliser sur la valeur du carbone est la sensibilité des opinions publiques aux prix et à la taxation des énergies en général et des carburants en particulier.

Chacun des concepts de coût examinés ci-dessus est important et leur connaissance apporte quelque chose à l'analyse d'ensemble du problème de l'évaluation des politiques publiques d'abattement des GES, mais chacun d'eux approche un aspect différent de la réalité. Il n'y a donc rien d'étonnant à ce que les évaluations qui en découlent puissent différer. Mais comme toutes portent le nom de « coûts », il peut en résulter des erreurs d'interprétation naturelles, ou provoquées par une présentation « stratégique » des résultats, mettant en évidence l'indicateur qui véhicule le message souhaité.

La confusion dans les messages transmis par les études ou les synthèses simplificatrices est encore amplifiée par une autre erreur : on laisse souvent entendre que l'évaluation d'un coût technique se ramenant à celle d'investissements matériels est quelque chose de plus robuste (car cela apparaît simple et facile à appréhender) qu'une variation d'un certain pourcentage du PIB ou d'une utilité collective (qui serait quelque chose de compliqué et abstrait), alors qu'en fait ces notions sont toutes deux des résultats issus de modèles, dépendant de nombreuses hypothèses sur les spécifications et entachées d'incertitudes sur les données d'entrée.

La manière dont on présente les résultats peut aussi exercer une influence déterminante sur l'impression perçue. Le coût macroéconomique d'une politique climatique calculé comme une perte de PIB et mesuré en milliers de milliards d'euros peut paraître considérable, mais devenir plus modeste s'il est présenté comme égal à un faible pourcentage du PIB à une date donnée ou encore comme un retard de quelques années pour accéder à un niveau de richesse donnée.

Il convient, pour finir cette partie consacrée aux coûts, d'évoquer la distinction entre le coût total, le coût marginal et le coût moyen. Le coût total estime la valeur totale du coût de la politique de réduction des émissions tandis que le coût moyen la rapporte à l'effort fourni. Enfin, le coût marginal, en donnant le coût de réduction d'une tonne supplémentaire, indique à quel niveau une éventuelle taxe sur le carbone doit être fixée pour obtenir de manière décentralisée un niveau de réduction désiré.

Ces trois coûts renvoient à des concepts différents. Ainsi, si le coût marginal est l'indicateur le plus souvent utilisé (car il est égal au prix payé par chacun pour l'émission d'une tonne de carbone dans un système de taxe comme dans celui de permis négociables), c'est un mauvais indicateur du coût total de réduction des émissions, qui est égal à la somme (l'intégrale) des coûts marginaux : dans certains cas, les coûts marginaux de réduction sont faibles et le coût total de réduction est élevé et vice versa.

Dans les représentations graphiques des différentes fonctions de coût, et notamment du coût marginal, il faut aussi s'intéresser à l'axe des abscisses : selon les modèles,

on y rencontre jusqu'à quatre échelles différentes, signifiant quatre approches différentes du problème. Les coûts présentés peuvent être :

- des coûts par tonne abattue par rapport au scénario de référence ;
- des coûts par tonne abattue par rapport à une année de référence ;
- des coûts en fonction du pourcentage de réduction des émissions par rapport à un scénario de référence ;
- ou encore des coûts en fonction du pourcentage de réduction des émissions, mais par rapport à une année de référence.

Dans une approche simplement statique de l'économie, il suffit de connaître les émissions dans le scénario de référence pour rapporter à un même référentiel ces quatre types de coûts. Cette transformation est bien plus complexe dans une vision dynamique de l'économie. Cependant, même en statique comparative, il convient de prendre garde à ce que mesure l'axe des abscisses lors des interprétations réalisées des coûts présentés par les modèles. C'est pourquoi on peut regretter que les scénarios de référence utilisés par les modélisateurs pour évaluer les coûts ne soient que très rarement précisés, car ils jouent un rôle essentiel dans la détermination de ces derniers.

La dynamique du signal prix pose d'autres problèmes encore : dans les modèles de simulation, le coût marginal présenté est celui qui prévaut à la fin de la période considérée. Mais cela ne renseigne pas sur le chemin temporel suivi par le signal prix pour atteindre l'objectif de réduction désiré : la taxe est-elle introduite directement à ce niveau et maintenue constante tout au long de la période ou bien a-t-elle été introduite progressivement ?

Le coût marginal en fin de période ne constitue donc qu'une information partielle sur la politique à suivre pour atteindre un niveau de réduction des émissions donné, elle doit être complétée par la présentation du chemin temporel suivi par le signal prix. En cas d'introduction progressive d'une taxe, le coût total doit être calculé comme la somme sur les différents niveaux de taxe adoptés au cours de la période considérée des « intégrales sous la courbe de coût marginal ».

L'introduction d'une mesure environnementale a des effets qui s'inscrivent dans trois temporalités différentes : l'échelle des flux financiers, les coûts et les éventuelles économies se déroulent dans le temps. Néanmoins, la comparaison de flux est un exercice délicat et l'on cherche à exprimer avec un scalaire les résultats qui se déroulent dans le temps. Intervient alors une démarche d'actualisation qui pose le problème de la valeur du taux d'actualisation à retenir. La deuxième échelle est celle des flux techniques : il existe un décalage entre les dépenses engagées et les abattements obtenus, lié aux différences d'inertie des secteurs concernés. La troisième échelle des temps est enfin celle des flux d'abattement physique.

Il convient de vérifier la cohérence de ces différentes échelles dans la démarche de modélisation conduisant à estimer des coûts. Mais il faut aussi prendre garde à l'évolution dynamique des coûts, en effet, une CCmA n'est définie qu'à un moment donné. Elle donne la valeur du signal à envoyer pour atteindre un objectif de réduction donné à ce moment. Or, une politique de réduction des émissions de GES n'a de sens que si elle est suivie dans le temps. Rien ne permet de dire qu'en maintenant constant le signal prix, on obtienne toujours la même réduction.

Il faut donc identifier les facteurs qui peuvent entraîner un déplacement dans le temps de la CCmA. Dans la mesure où nombre de ces facteurs dépendent du chemin d'abattement qui sera suivi, il faut mettre en évidence les éventuels phénomènes d'entraînement au cours du temps, pour déterminer les dates optimales de mise en œuvre des actions à mener.

Les travaux sur ces questions mettent en évidence l'importance de prendre en considération l'ensemble des déterminants des émissions dans l'estimation du CmA dynamique.

La forme de la CCmA dépend de la dynamique des abattements et l'omission de ces déterminants peut conduire à surestimer le coût marginal des abattements. En général, étaler l'effort de réduction des émissions dans le temps est économiquement efficace.

Une distinction doit être opérée entre l'échéancier de la mise en œuvre de la politique de réduction des GES et l'échéancier des abattements. En présence d'effet d'apprentissage, la mise en œuvre rapide de mesures de réduction des émissions est souhaitable. En raison de l'inertie dans les changements technologiques, une action à court terme est souhaitable pour abattre davantage dans l'avenir, mais un niveau donné d'abattement à un moment donné ne constitue pas une bonne mesure de l'effort. La nécessité de cette distinction est renforcée par la prise en compte de l'inertie dans les stocks de capital. Les coûts d'atténuation dépendent des hypothèses sur la durée de vie du capital des équipements et des usines existantes. Par exemple, une modification des infrastructures de transports et de l'architecture des villes ne peut se faire que très lentement et ne permettra de réduire les émissions qu'à un horizon éloigné.

Rappelons pour finir que la progressivité dans l'introduction d'une taxe permet de réduire (mais pas d'éviter) le coût de transfert des industries en déclin vers les industries en croissance. Ce transfert résulte de la modification de la demande en réponse à une augmentation des prix de l'énergie.

1.3.4.2. Coût marginal et coût moyen

Dans la mesure où le coût marginal d'abattement est nécessairement supérieur (ou égal) au coût moyen, il n'est pas surprenant que les tenants d'une action ambitieuse contre le changement climatique insistent sur ce dernier tandis que leurs opposants mettent en avant le coût marginal. Il est important de garder à l'esprit la distinction entre le coût marginal d'abattement et le coût moyen d'abattement pour plusieurs raisons : tout d'abord l'incertitude sur le coût marginal est intrinsèquement plus forte que celle sur le coût moyen ; par ailleurs, ces deux coûts sont susceptibles de diverger. La confusion peut bien sûr être évitée en présentant ces deux coûts unitaires, ainsi que le coût total, afin de disposer d'un diagnostic précis des coûts techniques des politiques climatiques.

Bien que les coûts de l'atténuation s'étalent a priori sur plusieurs années, voire plusieurs décennies, les résultats d'estimation des coûts sont présentés sous une forme compacte, afin d'être utilisables dans les débats. Deux modalités principales sont choisies pour garder cette forme compacte :

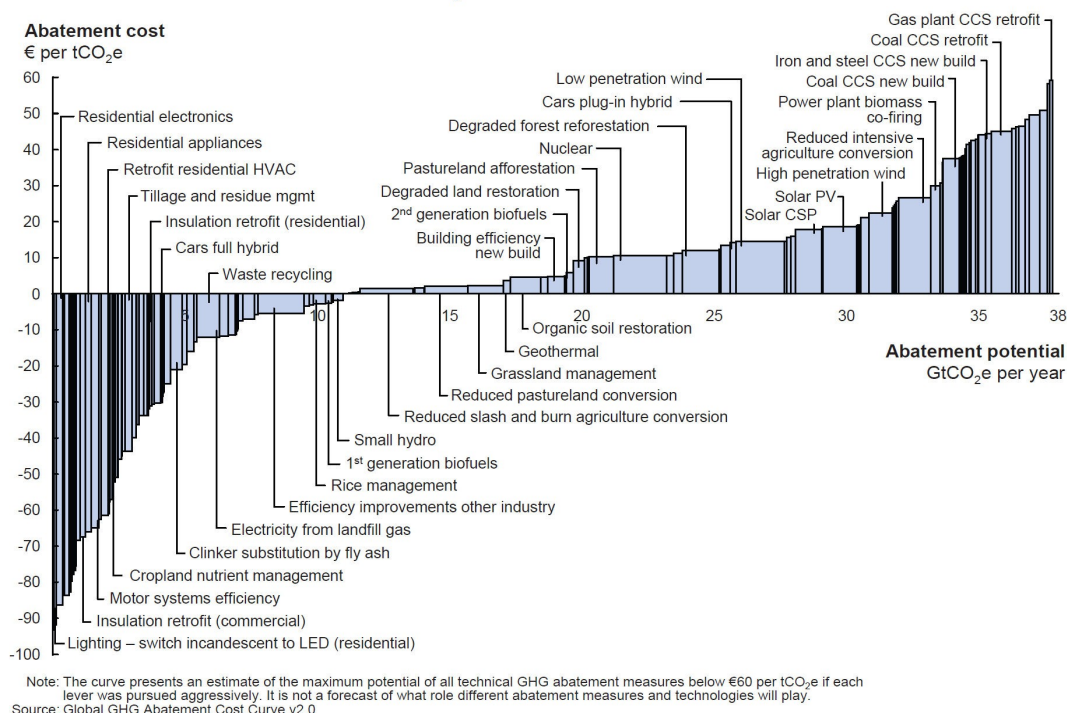
- la première présente les coûts à une date donnée, par exemple une variation de PIB entre un scénario de stabilisation et un scénario de référence en 2030 ;
- la seconde rapporte la somme actualisée des coûts (coûts techniques d'investissement ou coûts macroéconomiques comme des variations de PIB) sur une période donnée.

La prédominance de ces deux modalités vient de leur apparente simplicité. Pourtant, la mesure à une date donnée peut induire en erreur lors de la comparaison de politiques climatiques : la politique ayant le coût moindre à un instant donné peut cacher une augmentation importante des coûts après cette date. Sans entrer dans le détail des débats sur le taux d'actualisation approprié, la seconde modalité permet de prendre en compte l'ensemble de l'horizon temporel que l'on souhaite considérer pour l'analyse des conséquences d'une politique. Mais l'information sur le profil temporel des coûts est perdue si bien qu'il devient impossible de détecter si une stratégie engendre des pics de pertes dans sa mise en œuvre.

Coût marginal et coût moyen recouvrent ainsi des notions théoriques bien différentes. Il n'en reste pas moins que certaines études entretiennent une confusion malsaine entre les deux. Pour les économistes, il ne fait pas de doute que la notion de coût marginal d'abattement est centrale, la construction de courbes de coût marginal d'abattement (CCmA) est quelque chose de naturel dans un univers économique « de premier rang » où la référence à un prix unique du carbone s'impose et où la simple intersection de la CCmA avec la droite horizontale d'ordonnée égale au prix du carbone fournit un potentiel d'abattement. Mais pour les décideurs, cette notion est souvent considérée comme complexe et certaines études, comme celle de McKinsey (*Pathways to a Low-Carbon Economy Version 2 of the Global Greenhouse Gas Abatement Cost Curve – 2009*) contribuent à entretenir la confusion.

1.3.4.3. La courbe de coûts d'abattement de McKinsey

Global GHG abatement cost curve beyond business-as-usual – 2030



Non seulement la (trop) célèbre courbe, reproduite ci-dessus, n'est pas présentée de manière précise dans le corps du rapport produit par le bureau d'études, mais ses utilisateurs économistes la considèrent systématiquement comme une courbe de coût marginal d'abattement et la commentent comme telle, alors que ses auteurs indiquent, mais seulement dans l'annexe III, intitulée Méthodologie, qu'il s'agirait d'une courbe de coût moyen⁴¹. Quant aux utilisateurs plutôt décideurs, ils paraissent considérer tantôt cette courbe comme fournissant des coûts moyens, les coûts totaux étant estimés par l'aire des rectangles qui la constituent, tantôt, dans une vision encore plus confuse, comme donnant des coûts totaux d'abattement !

L'approche de McKinsey est bien différente de celle des chercheurs qui travaillent sur le sujet : les concepts sont flous, la méthodologie imprécise, voire contradictoire ; mais un dernier point achève de la disqualifier : les sources ne sont pas fournies, elles sont même considérées comme relevant du secret. En d'autres termes, les auteurs de cette étude demandent à leurs lecteurs de leur faire confiance. L'annexe méthodologique clame que « tous les coûts sont fondés sur les coûts actuels et des projections, lesquelles sont fondées sur les meilleures méthodes d'estimation disponibles, comme des modèles (quand il en existe), des dires d'experts et des extrapolations qualifiées (*educated*) ». On est loin de l'approche des chercheurs : ces affirmations sont invérifiables, comme les valeurs fournies pour les coûts d'abattement. En outre, le calcul de ces coûts, qui sont des coûts d'opportunité, encourt deux critiques :

- l'ambiguïté qui s'attache à leur nature économique (coûts marginaux ou coûts moyens),

⁴¹ « The height of each bar represents the average cost of avoiding one metric tonne of tCO₂e in the year of the analysis by each opportunity. The cost reflects the total active capacity of that opportunity, thus is a weighted average across sub-opportunities, regions, and years » .

- et l'insuffisante description du scénario de référence évoqué dans la formule présentée :

$$\frac{\text{Coût total de l'option efficace en carbone} - \text{Coût total de la situation de référence}}{\text{Emissions de la situation de référence} - \text{Emissions de l'option efficace en carbone}}$$

Enfin, si les contraintes sociales, politiques, institutionnelles dans le cadre desquelles s'inscrit toute action visant à limiter l'émission de GES sont évoquées, de même que les coûts de transaction qu'elles induisent, ces derniers sont explicitement exclus de l'estimation fournie alors que, selon toute vraisemblance, ils sont considérables. Cette limitation est explicitement citée dans le rapport des auteurs (toujours en annexe).

Rappelons pour finir deux autres caractéristiques de cette courbe qui en limitent encore l'intérêt : d'une part, elle a été construite à partir de données de coût d'une année fixe, pour un horizon déterminé et d'autre part, elle repose sur l'hypothèse d'une valeur du coût du carbone de 60 \$ par tonne de CO₂ équivalent. Tout changement dans ces hypothèses modifierait la courbe, mais d'une manière impossible à déterminer.

1.3.4.4. Autres études disponibles sur les coûts d'abattement

D'autres institutions, comme Bloomberg⁴², se sont risquées à publier des courbes de coût d'abattement... La plupart des critiques suscitées par les courbes de McKinsey se transposent *mutatis mutandis*, ce n'est pas plus satisfaisant sur le plan scientifique.

D'autres travaux sont apparus récemment comme une étude de l'Union française de l'électricité (UFE) : « Un instrument clé de pilotage de la politique énergétique : l'ordre de priorité des actions d'efficacité énergétique - 2012 ». On y voit des représentations graphiques qui évoquent la courbe de McKinsey mais la logique sous-jacente est différente : différentes actions envisageables pour lutter contre l'effet de serre sont classées par taux de rentabilité internes (TRI). Il suffit de rappeler ici que la seule utilisation raisonnable du TRI consiste à le comparer au taux d'actualisation en vigueur : s'il lui est supérieur, l'investissement sera dit rentable, sinon il ne le sera pas. Mais comparer deux actions, deux investissements comme deux actions dites d'efficacité énergétique en comparant leurs TRI est dénué de sens (même si nombreux sont ceux, dans l'entreprise comme l'administration, qui s'obstinent à le faire).

1.3.5. Les types de modèles mis en œuvre

Les coûts et les modèles qui les utilisent ou les calculent sont intimement liés. Schématiquement, les modèles se classent en deux catégories, dites souvent « *bottom-up* », ou « modèles d'ingénieurs » et « *top-down* », ou « modèles d'économistes ».

⁴² Bloomberg New Energy Finance. Carbon Markets – 2010.

1.3.5.1. Les modèles « *bottom-up* » du système énergétique

Ils sont fondés sur des stylisations détaillées de la production et de la transformation de l'énergie. La disponibilité des ressources naturelles, la croissance et la demande finale de services énergétiques en constituent des variables exogènes. Les modèles d'optimisation inter-temporelle du système énergétique visent la gestion optimale du système énergétique en cherchant le mélange de techniques qui minimise les coûts de production énergétiques. Et les modèles de simulation construisent dans un cadre d'équilibre partiel des scénarios à partir de représentations du comportement de certains acteurs.

1.3.5.2. Les modèles « *top-down* »

Ils regroupent trois grandes familles :

- les modèles de croissance optimale, construits sur un principe de maximisation inter-temporelle d'un agent agrégé unique ;
- les modèles macro-économétriques, qui projettent des scénarios futurs à l'aide de relations économétriques calibrées sur les données passées ;
- et les modèles d'équilibre général, représentant l'ensemble des marchés et leurs interdépendances ainsi que l'ensemble des équations de budget des agents représentatifs.

Il existe un lien fort entre la notion de coût envisagée et l'outil de modélisation mis en place : les modèles « *bottom-up* » ne fournissent que des coûts techniques et les modèles « *top-down* », qui peuvent a priori évaluer les trois types de coûts évoqués précédemment ne fournissent pas de résultats sous la forme de coûts techniques, car les représentations des technologies qu'ils utilisent sont trop agrégées pour conduire à des résultats utilisables.

Aucun discours économique sur la question du coût des politiques climatiques ne peut être tenu sans s'appuyer sur (au moins) un modèle. Mais ces modèles sont évidemment loin d'être exempts de toute critique. Ainsi les modèles « *bottom-up* » reposent sur une vue très partielle de l'économie et négligent les aspects budgétaires qui sont pourtant déterminants dans l'évolution des techniques ; les modèles « *top-down* » quant à eux ne maîtrisent pas bien les possibilités techniques offertes ; ils sont en outre très agrégés et essentiellement monétaires.

1.3.5.3. Les modèles hybrides

Depuis quelques années, on voit apparaître et se développer des modèles hybrides dans lesquels sont associées des représentations détaillées des systèmes techniques et une modélisation macro-économique prenant en compte les interdépendances des différents secteurs économiques. L'un de ces modèles, Imacim-R est développé par le Centre international de recherche sur l'environnement et le développement (CIRED) ; il a été utilisé, conjointement avec d'autres outils, dans les travaux de la commission présidée par Alain Quinet visant à déterminer la valeur tutélaire du carbone (rapport du Conseil d'analyse stratégique publié par la Documentation française en 2009).

Tous ces modèles fournissent des résultats variés et parfois divergents, pour autant qu'ils puissent être comparés. Leurs auteurs sont peu enclins à publier des études de sensibilité selon les paramètres d'entrée de leurs constructions. Quelques travaux disponibles montrent que la prise en compte des incertitudes sur ces paramètres introduit pour un même modèle des variations dans les résultats du même ordre de grandeur que les variations existant entre des modèles différents. Cela n'a au fond rien d'étonnant quand on considère l'horizon éloigné de ces études, mais on ne peut que regretter le faible nombre des publications sur la question.

Quand le dernier rapport du GIEC énonce, « une stabilisation entre 710 et 445 ppm CO₂ éq. en 2050 impliquerait, à l'échelle de la planète, des coûts macroéconomiques moyens se situant entre une hausse de 1 % et une baisse de 5,5 % du PIB mondial », il ajoute une évaluation de l'incertitude selon laquelle il existe dans la démarche suivie une large concordance mais un degré moyen de preuve. Cette formulation prudente s'explique sans doute par les règles du GIEC, qui exige que les textes des documents dits « résumés destinés aux décideurs » soient approuvés au mot près par l'assemblée générale (les représentants des États) en lien avec l'équipe des auteurs de chaque chapitre.

Au-delà des aspects qui viennent d'être rapidement passés en revue, deux importantes critiques de fond se sont fait jour et se développent sous la plume des spécialistes. Elles sont d'ailleurs liées ; il s'agit d'une part de l'insuffisante prise en compte de la temporalité des mesures envisagées déjà évoquée précédemment et d'autre part de l'aspect irréaliste d'une approche économique de premier rang pour fonder les modèles, sur lequel il convient de revenir.

Les indicateurs de coûts retenus dans la plupart des études et des recherches publiées pour traduire les coûts de l'atténuation des émissions de GES sont très synthétiques : le coût à une date donnée, un coût actualisé... Ce qui ne permet pas de mettre en évidence le profil temporel des coûts et notamment l'existence d'un pic entre une phase croissante et une phase décroissante, typique de ce que devrait être l'évolution de « coûts de transition ». Cette situation est regrettable, car l'analyse du profil temporel des coûts est centrale pour la décision politique : l'importance d'un coût élevé pendant une certaine période, plutôt à court terme pèse davantage dans la décision qu'une information sur le coût à long terme d'une mesure. Le danger du réchauffement climatique intervient bien sûr à long terme, mais les décisions pour tenter de le limiter doivent être prises maintenant et donc acceptées socialement.

1.3.5.4. Un « optimum de second rang »

La grande majorité des modèles utilisés, voire mis au point pour contribuer à l'évaluation des politiques publiques climatiques, repose sur une logique économique dite « de premier rang » (où l'on recherche un optimum de Pareto dans un cadre parfaitement concurrentiel) alors que l'on se situe à l'évidence dans un environnement économique « de second rang »⁴³, à cause des contraintes notamment environnementales qui sont à l'œuvre.

Si c'est une évidence pour certains, ce n'est pas le cas pour la majorité des économistes. Ainsi, Nicholas Stern exprime en 2009 sa surprise de voir l'économie du

⁴³ L'optimum « de second rang » est la situation la meilleure que l'on puisse atteindre lorsque, pour des raisons structurelles, l'optimum général (dit « de Pareto ») n'est pas atteignable. Les théories du « second rang » avancent que, les actions les plus profitables ne sont pas forcément celles qui rapprochent l'économie de l'optimum de Pareto.

changement climatique marquée par une large ignorance des difficultés de l'économie de second rang⁴⁴. Les économistes sont en majorité néoclassiques sur le long-terme, ce qui les conduit à mobiliser des outils reposant sur les notions d'équilibre et d'optimum de type Walras-Pareto, en postulant notamment, l'allocation optimale des ressources et l'utilisation complète des facteurs de production, le long d'un chemin de croissance stabilisée. Il en résulte la représentation d'un monde de premier rang qui méconnaît les mécanismes de second rang.

On ne peut pourtant pas dire qu'il s'agit là de découvertes récentes de la science économique : dans un article célèbre intitulé « *The general theory of second best* », publié en 1956 dans *The Review of Economic Studies*, Lipsey et Lancaster écrivent, « il est bien connu que l'accès à un optimum de Pareto requiert la satisfaction simultanée de toutes les conditions d'optimum alors que si l'on introduit dans un système économique une contrainte qui empêche l'une de ces conditions d'être satisfaite, les autres conditions, bien que toujours accessibles ne sont en général plus souhaitables ». Deux autres articles célèbres de la littérature économique, signés par Roger Guesnerie⁴⁵, contribuent à mettre les choses au point : dans un monde de second rang, les coûts d'opportunité sociaux ne coïncident plus avec les prix de marché. Alain Bernard et Marc Vielle appliquent explicitement ces idées au cas de l'atténuation du changement climatique en 1999 dans une communication lors d'une réunion de l'Agence internationale de l'énergie à Paris⁴⁶ : ils y précisent que « dans un contexte de second rang rien ne garantit l'égalité entre le coût marginal social d'abattement et les coûts marginaux individuels d'abattement, c'est-à-dire les taxes sur les agents et en particulier sur les entreprises ».

Ils en déduisent que les bases sur lesquelles les permis négociables doivent être échangés entre pays sont les coûts marginaux sociaux d'abattement et non pas des taxes sur la pollution et qu'il appartient donc à chaque gouvernement de gérer ce système, aboutissant à des prix « nationaux » du carbone. Dans un cadre de second rang, la réduction des coûts de l'atténuation ne passe donc pas par une valeur du carbone unique au niveau mondial.

Les travaux pionniers sur ces thèmes de Chichilnisky et Heal (1994)⁴⁷ et Shiell (2003)⁴⁸ ont depuis été poursuivis et l'on envisage la question d'une manière plus large encore, par exemple Meunier et Ponssard (2012)⁴⁹, qui vont plus loin dans la logique du second rang et analysent le croisement de prix nationaux et de prix sectoriels du carbone.

La poursuite de ces travaux de recherche, dans un cadre de concurrence imparfaite dynamique et de second rang envisage des pistes prometteuses de prix du carbone différenciés selon les pays et les secteurs qui conduisent à des pertes d'utilité

⁴⁴ Document de travail publié en 2009 sous l'égide de la fondation Enrico Mattei « *Imperfections in the economics of public policy, imperfections in markets, and climate change* »,

⁴⁵ « *Second-best pricing rules in the Boiteux tradition : Derivation, review and discussion* » publié dans le *Journal of Public Economics*, en 1980 et « *The genealogy of modern theoretical public economics : from first best to second best* », publié dans la *European Economic Review* en 1995.

⁴⁶ « *The pure economics of tradable pollution permits* ».

⁴⁷ Chichilnisky and Heal (1994), « *Who should abate carbon emissions ? An international viewpoint* » *Economics Letters*.

⁴⁸ Shiell (2003), « *Equity and efficiency in international markets for pollution permits* » *Journal of Environmental Economics and Management*.

⁴⁹ Meunier et Ponssard (2012), « *A sectoral approach balancing global efficiency and equity* » *Environmental and Resource Economics*.

collective (mesurée par le surplus social) inférieures à celles auxquelles conduit un prix unique du carbone. Ces politiques requièrent cependant la négociation de transferts compensatoires et il ne faut pas minimiser les difficultés de leur mise en œuvre.

À noter qu'Alain Bernard et Marc Vielle sont deux des pères du modèle GEMINI-E3 de l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL). C'est un modèle d'équilibre général calculable de l'économie mondiale, dynamique à plusieurs secteurs et plusieurs pays et régions qui, comme le modèle Imacim-R, a été utilisé par la commission présidée par Alain Quinet. Le troisième modèle utilisé par cette commission est le modèle POLES du Laboratoire d'Économie de la Production et de l'Intégration Internationale (LEPII). C'est un modèle de simulation à long terme du système énergétique mondial avec des scénarios économiques exogènes, mais une endogénéisation de l'ensemble des variables caractérisant la consommation, la transformation, la production et les prix de l'énergie, pour chacun des grands pays ou régions du monde. C'est un modèle d'équilibre partiel dynamique.

Si l'on s'intéresse d'une manière générale aux modèles économiques climatiques, il faut aller chercher l'information à sa source académique : les élèves de Jean-Charles Hourcade au CIRED ont produit ces dernières années d'excellentes thèses⁵⁰. Les modèles disponibles y sont décrits et critiqués, et la lecture des travaux de ces jeunes économistes permet d'assister à la naissance, à la mise au point et à des utilisations très pertinentes du modèle Imacim-R.

Le rapport Quinet a déjà cinq ans et depuis sa publication, les trois modèles évoqués plus haut ont encore progressé, mais ils étaient déjà très aboutis à l'époque où la commission s'était réunie et leurs auteurs savaient bien que le problème qu'ils avaient à traiter était en fait posé dans un monde de second rang. Cette commission a ainsi fait travailler la fine fleur de la modélisation académique sur le sujet et elle a produit un rapport particulièrement bien rédigé. Il n'en reste pas moins que l'expression « second rang » ou son équivalent anglais « *second best* » n'y apparaît pratiquement pas alors que les modèles utilisés étaient capables de prendre en compte ce phénomène. Il ne faut pas s'en étonner si l'on se réfère simplement au titre du rapport : « *La valeur tutélaire de carbone* ». Les travaux de cette commission ont été placés d'emblée dans un cadre de premier rang et la question posée était bien la recherche d'un prix unique du carbone.

1.3.6. Prix de l'énergie, prix du fossile et prix du CO₂ ; trop de fossile disponible

Deux membres de la mission ont rencontré Henri Prévot, ingénieur général des mines honoraire, actuellement consultant en politique de l'énergie, auteur de plusieurs ouvrages, notamment « *Trop de pétrole !* », Seuil 2007, et « *Avec le nucléaire – un choix réfléchi et responsable* », Seuil, juin 2012⁵¹.

⁵⁰ Par exemple :

Olivier Sassi (L'impact du changement technique endogène sur les politiques climatique – 2008),

Renaud Crassous (Modéliser le long-terme dans un monde de second rang : application aux politiques climatiques – 2008),

Céline Guivarch (Évaluer le coût des politiques climatiques – de l'importance des mécanismes de second rang – 2010),

Henri Prévot fait observer d'entrée de jeu que la contrainte liée à l'épuisement annoncé de nos ressources en énergie fossile (pétrole, gaz, charbon) et la menace d'un réchauffement climatique important résultant en particulier des émissions anthropiques de gaz carbonique sont deux choses contradictoires. Pour gagner la lutte contre l'effet de serre, il faut laisser in situ plus de la moitié des ressources en énergies fossiles accessibles au prix que nous serions prêts à payer pour les extraire, sans doute plus de 100 \$ par baril.

L'énergie fossile étant ainsi trop abondante, il ne faut pas attendre d'action de régulation du fonctionnement du marché : les mesures à mettre en place doivent être imposées de manière politique, pour corriger la logique marchande. Cela ne veut pas dire, bien au contraire, que l'analyse économique ne serait pas pertinente pour préparer les décisions, mais il s'agit de faire de l'économie publique, économie politique comme on disait autrefois, là où le libre jeu des marchés conduit avec certitude à la catastrophe.

Henri Prévot fait également connaître ses idées sur un site Internet qui propose notamment des tableaux de modélisation des coûts des politiques publiques de choix énergétiques pour la France, dont les hypothèses sont modifiables par les visiteurs du site (www.hprevot.fr/). Ces tableaux interactifs reposent sur des hypothèses économiques simples et explicites et leur logique est essentiellement comptable. Elle est lisible au travers des équations que le tableur permet d'éditer. On est loin de la sophistication des modèles économiques évoqués plus haut dans ce chapitre, qui tentent de représenter le mieux possible des interactions complexes dans un univers dynamique.

Ces tableaux permettent de se faire une idée des quantités de GES en jeu : pour diviser nos émissions par quatre, il faudrait diminuer nos émissions de carbone de plus de 370 Mt CO₂ éq. par rapport à ce qui serait émis si l'on ne se préoccupait pas de l'effet de serre. La contribution des énergies renouvelables (éoliennes, solaire photovoltaïque, géothermie, etc.) ne devrait pas dépasser le dixième de cette quantité. Il faut donc faire une économie de plus de 330 Mt CO₂ éq., à répartir entre les économies d'énergie, la biomasse... Les tableaux croisés d'Henri Prévot permettent de situer les différentes techniques envisageables : éolienne, biocarburants, voitures hybrides et électriques, piles à combustible, mesures d'isolation des bâtiments, etc. dans un ensemble complet et cohérent en « emplois-ressources » d'énergie. Cette démarche très simple remet bien les idées en place.

Les réflexions d'Henri Prévot ne se limitent pas à clarifier les idées sur les quantités en jeu, mais portent aussi sur les prix et les coûts afin de classer les différentes mesures d'abattement possible. Armé d'un solide bon sens économique, nourri par une vie professionnelle largement consacrée à l'économie de l'énergie, Henri Prévot conteste vigoureusement, lui aussi, l'idée d'un prix unique du carbone (ou du CO₂). Il ne le fait pas en adoptant une posture de théoricien et n'évoque pas explicitement l'opposition « premier rang » vs « second rang », mais son discours s'y ramène facilement, dès lors qu'il critique, non sans raison, les hypothèses irréalistes d'un marché parfaitement concurrentiel pour le CO₂. Ces hypothèses sont en effet nécessaires pour justifier que l'on s'attache à rechercher un optimum de premier rang.

Henri Prévot explique en effet que puisque les émissions de GES résultent majoritairement de la combustion de ressources carbonées fossiles, pratiquement

⁵¹ Si la mission s'associe aux réflexions décrites ici, elle n'épouse pas *ipso facto* toutes les convictions d'Henri Prévot, notamment sur l'avenir des énergies renouvelables décarbonées.

toutes importées, fixer une limite des émissions de CO₂ (par exemple en application du facteur 4) revient à fixer une limite de consommation de ces ressources. Cette limite de consommation des ressources carbonées fossiles induit un coût pour la société qui est la différence entre ce que l'on dépense pour respecter cette limite et ce qui serait dépensé sans cette limite : on retrouve ici la notion de coût d'abattement, qui est un coût d'opportunité.

Toute décision prise pour réduire les émissions de CO₂ a un « coût du CO₂ évité » que l'on calcule en rapportant aux émissions de CO₂ évitées les dépenses supplémentaires, le calcul étant fait en utilisant un même taux d'actualisation pour les dépenses et pour les quantités de CO₂ évitées.

Pour respecter une limite globale d'émissions au niveau national, il est possible de classer les décisions à prendre par « coût du CO₂ évité » croissant. Le coût du carbone évité par la décision dont le coût du carbone évité est le plus élevé est le coût du CO₂ « marginal » du programme de diminution des émissions.

Le coût du CO₂ d'un programme de réduction des émissions dépend de la limite d'émission, des dépenses à engager pour limiter les émissions et aussi du prix de l'énergie fossile. Si le prix de l'énergie fossile est suffisamment élevé, la consommation sera suffisamment diminuée pour que la limite d'émission de CO₂ soit respectée sans qu'il ait été nécessaire de prendre des décisions justifiées par la volonté de diminuer ces émissions. Le « coût du CO₂ évité » est alors nul.

Henri Prévot en conclut que dès lors que l'on se donne comme but de respecter une limite d'émission de CO₂, fixer une valeur « tutélaire » du CO₂ indépendante du prix de l'énergie fossile est une erreur.

Pour toute décision qui permet de diminuer la consommation d'énergie fossile, il existe un niveau de prix de l'énergie fossile (fioul, gaz, carburant pétrolier) qui rend cette décision économiquement intéressante. Ce niveau de prix ne dépend pas (ou guère) du prix réel de l'énergie fossile. Henri Prévot propose de l'appeler « prix de l'énergie fossile équivalent à la décision ». Les décisions dont le coût du CO₂ évité est inférieur au coût marginal du programme de réduction des émissions ont toutes un prix de l'énergie fossile équivalent inférieur à une certaine valeur, que l'on pourra appeler « valeur de référence » - exprimée en € par MWh de gaz ou par mètre cube de fioul ou par litre de carburant. Cette valeur est indépendante du prix de l'énergie fossile. Elle peut donc servir de critère de coût commode pour distinguer une décision utile d'une décision inutilement coûteuse : une décision utile est une décision qui serait économiquement intéressante si les prix à la consommation finale du fioul, du gaz et du carburant étaient respectivement égaux aux valeurs de référence.

Si le prix à la consommation finale était égal à la valeur de référence, il suffirait, pour respecter la limite d'émission de CO₂, que soient prises toutes les décisions répondant au critère de coût.

2. Piloter le prix à la consommation finale des énergies fossiles carbonées (en l'ajustant au bon niveau grâce à une taxe notamment) en référence à un trend d'augmentation des prix à moyen terme cohérent avec les diminutions d'émissions souhaitées.

3. Éviter une baisse des prix à la consommation dans le cas où l'arrivée des hydrocarbures non conventionnels réduiraient temporairement la pression sur les coûts d'approvisionnement, par exemple grâce à une modulation dans le temps de la taxation.

Il faut noter que le pilotage à l'aide d'un prix tutélaire du CO₂ censé refléter le coût des dommages n'est pas équivalent au pilotage du prix des hydrocarbures (outre le fait qu'il induit des coûts administratifs beaucoup plus lourds) pour deux raisons. D'une part, on ne sait pas chiffrer le coût des dommages des émissions de CO₂. D'autre part, il est judicieux d'ajouter au prix de marché un coût reflétant le coût des dommages à condition que le marché concurrentiel fonctionne correctement, c'est-à-dire qu'il soit exempt de rentes de rareté ou de monopole. Si on connaissait bien le coût des dommages causés par les GES, on pourrait intégrer la déséconomie par un prix tutélaire de l'émission, ce qui n'est pas le cas.

Payer un dommage ne conduit pas à la même logique que respecter une limite. Ce qui détermine la consommation fossile, donc les émissions, c'est le prix final de l'énergie, pas le « prix du CO₂ ». Si le prix des énergies fossiles carbonées est suffisamment élevé à l'importation, nul besoin de prix du CO₂, autrement dit, le prix du CO₂ peut être nul pour atteindre l'objectif d'émission. Les décisions qui seront prises sur la base du prix de l'énergie élevé suffiront à atteindre l'objectif CO₂. En revanche, si les prix des énergies fossiles sont inférieurs aux « valeurs de référence » définies ci-dessus, correspondant aux quantités qu'on veut économiser pour parvenir au facteur 4, il faut mettre en place une « taxe carbone ».

2. Engagements et système d'observation

2.1. Le cadre de réflexion

2.1.1. Énergie et gaz à effet de serre

Contenir l'élévation moyenne de température du globe dans la limite de 2° C en 2100, suppose que l'humanité décide de garder sous terre de l'ordre de la moitié des ressources d'hydrocarbure accessibles⁵². Si l'humanité brûle l'ensemble des hydrocarbures dont elle dispose dans les prochaines décennies, le changement climatique produira des effets dramatiques et ingérables.

Cependant, alors que le changement climatique constitue, de l'avis unanime des experts, une menace plus grande que la pénurie énergétique, les économies d'énergie sont beaucoup plus présentes dans les préoccupations concrètes de tout un chacun. On en comprend les raisons.

Les deux problématiques de l'énergie et du changement climatique sont étroitement liées :

- la raréfaction à terme des combustibles fossiles, pourvoyeurs principaux d'énergie dans les sociétés contemporaines
- les changements climatiques provoqués par les émissions de gaz à effet de serre, résultant pour leur plus grande partie de la combustion des combustibles fossiles.

Globalement, économiser les combustibles fossiles réduit, toutes choses égales par ailleurs, les émissions de CO₂, et les politiques d'économies d'énergie vont dans le sens d'une réduction des émissions de GES.

En revanche, le desserrement de la contrainte énergétique par la mise sur le marché de nouvelles catégories de combustibles fossiles (tels les gaz de schistes) tend à augmenter les émissions de GES et à accélérer le changement climatique.

Sur certains points importants, les politiques visant en priorité la réduction des émissions peuvent se séparer de celles qui visent les économies d'énergie : ainsi, on verra parmi d'autres exemples, que la politique du bâtiment, telle qu'elle ressort du Grenelle Environnement et de la réglementation dite « RT 2012 », centrée sur les économies d'énergie, n'est sans doute pas optimale du point de vue des émissions de GES.

2.1.2. L'énergie parmi les secteurs de l'économie

Dans la présentation statistique la plus courante, on présente l'énergie comme un des secteurs de l'économie, au même titre que l'industrie (hors énergie), les transports, le bâtiment ou l'agriculture, et le présent rapport utilisera cette nomenclature commode.

⁵² Sauf à capter et stocker la majorité du CO₂ émis, ce qui n'est techniquement pas envisageable à échéance prévisible...

Cependant, pour le sujet qui nous occupe, l'interférence est permanente entre les possibilités offertes et les choix opérés dans le domaine de l'énergie, d'une part, et les orientations à donner aux autres politiques sectorielles :

- selon le « contenu en carbone » de l'électricité, les choix en matière de motorisation des véhicules pour réduire les émissions pourront être différents ;
- selon le régime d'intermittence de la production de l'électricité, les choix à faire en matière de construction ne seront pas les mêmes au regard de l'inertie thermique et des possibilités de stockage de l'énergie ;
- selon l'état des techniques agro-industrielles et les politiques agricoles et forestières, la contribution du secteur « Agriculture – utilisation des terres, leur changement et la forêt » à la production énergétique sera sensiblement différente, etc.

2.1.3. Les implications sociales, politiques et diplomatiques

L'énergie (énergie domestique et transports individuels) est un poste de dépense de première nécessité dans le budget des ménages, proportionnellement plus lourd pour les ménages modestes que pour les plus riches. L'instabilité potentielle des cours des hydrocarbures constitue une inquiétude sérieuse pour ceux qui n'ont guère de marges financières, d'autant plus que les ménages modestes occupent fréquemment des logements « énergivores » éloignés des lieux de travail et des services. Il faut donc être conscient que toute intervention sur les prix de l'énergie a des conséquences sociales dont il faut se préoccuper. En d'autres termes, toute action ayant pour effet une augmentation du budget énergie des ménages (globalement souhaitable du point de vue du climat) doit s'accompagner d'actions redistributives dont l'ampleur et la forme sont à déterminer à l'aune des budgets les plus précaires.

La mission tient à le souligner bien que, ni qualifiée ni mandatée pour traiter cet aspect, elle n'ait pas plus avant abordé la question.

À cette pression sur les budgets familiaux s'ajoute sans doute un sentiment d'inquiétude général pour l'avenir qui rend l'action publique dans ce secteur politiquement délicate.

Le prix de l'énergie constitue également une composante de la compétitivité économique. À ce titre, selon que le dispositif privilégie les permis d'émission (gratuits ou mis aux enchères, abondants ou restreints), les certificats d'économie d'énergie, la taxation du carbone ou la taxation de l'énergie en général, selon que les systèmes sont conçus à l'échelle de la France, de l'Europe ou à l'échelle mondiale, la compétition économique en sera affectée différemment. La mission n'a pas non plus traité explicitement cet aspect, qui est cependant resté présent à son esprit⁵³.

Enfin, si le périmètre de cette mission est limité au territoire français, il est clair que les efforts diplomatiques tendant à faire converger les positions des 193⁵⁴ pays parties à la Convention cadre des Nations unies sur le changement climatique vers un diagnostic commun et vers des actions lourdes et coordonnées de lutte contre le changement climatique pourraient, s'ils se concrétisaient, avoir une efficacité égale ou supérieure à

⁵³ V. 4.2.5. ci-dessous.

⁵⁴ Fin 2011.

certaines investissements limités au périmètre hexagonal. En ce sens, l'exemplarité dont veut témoigner l'ambition française du « facteur 4 » n'est un atout que si elle est valorisée au plan diplomatique. La 21^e Conférence des parties à la CCNUCC, qui se déroulera en 2015 probablement à Paris en offrira l'occasion.

2.2. L'état des engagements et des prévisions d'émission de gaz à effet de serre

2.2.1. Les fondements scientifiques du « facteur 4 », rappel sommaire

2.2.1.1. Les travaux du GIEC⁵⁵

Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) a été Installé en novembre 1988 par l'Organisation météorologique mondiale (OMM) et le Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE), qui l'ont chargé d'évaluer les informations scientifiques relatives au changement climatique, de mesurer les conséquences environnementales et socio-économiques de ce changement et de formuler des stratégies de parade réalistes.

Le GIEC a publié plusieurs évaluations de fond qui ont en particulier permis aux Conférences des Parties à la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC), signée en 1992, de disposer des éléments scientifiques nécessaires.

Le 4^e rapport de synthèse du GIEC est paru en 2007. Il fait le point des changements climatiques constatés, établit l'origine anthropogénique (« avec un degré de confiance très élevé ») des causes⁵⁶, présente des prévisions des évolutions attendues à moyen et long terme selon divers scénarios, discute des mesures à prendre pour atténuer l'évolution d'une part, et pour s'y adapter d'autre part. On y lit parmi les « conclusions robustes » :

« Le réchauffement du système climatique est sans équivoque (...), L'essentiel du réchauffement général moyen constaté depuis 50 ans est très probablement attribuable à l'augmentation de concentration des GES anthropiques. Il est probable que le réchauffement anthropique survenu depuis trente ans a joué un rôle notable à l'échelle du globe dans l'évolution observée de nombreux systèmes physiques et biologiques ».

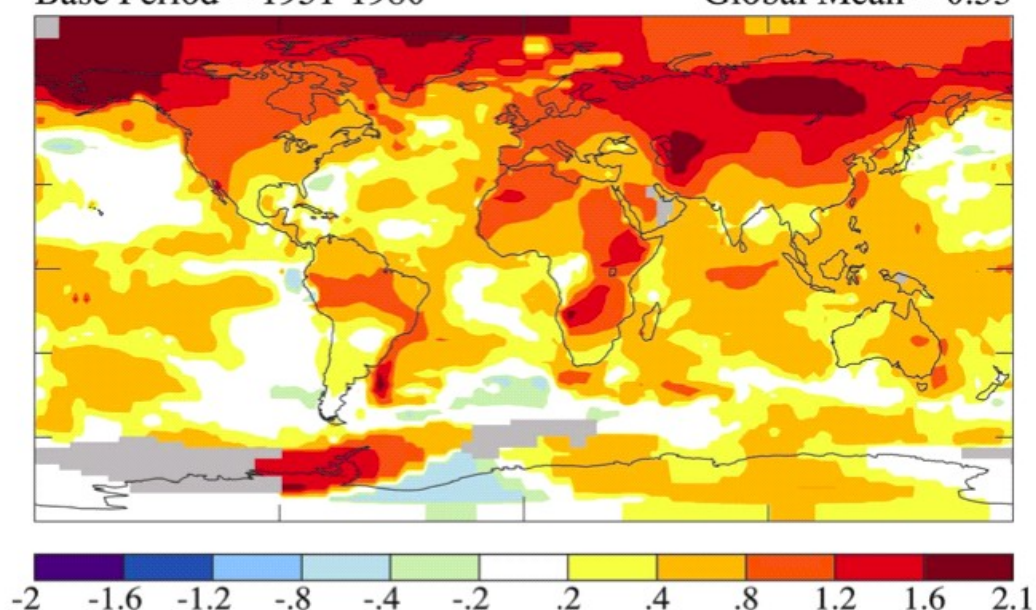
⁵⁵ IPCC, *International Panel on Climate Change* en anglais.

⁵⁶ On peut affirmer, avec un degré de confiance très élevé, qu'en moyenne, les activités humaines menées depuis 1750 ont eu globalement un effet de réchauffement net, avec un forçage radiatif de + 1,6 [+ 0,6 à + 2,4] W/m².

2001-2005 Mean Surface Temperature Anomaly (°C)

Base Period = 1951-1980

Global Mean = 0.53



Réchauffement constaté entre la période 1951-1980 et la période 2001-2005 (GIEC).

Au cours de la conférence de Copenhague (15e conférence des parties de la CCNUCC, du 7 au 18 décembre 2009), 192 chefs d'État ou de gouvernement ont signé un accord reconnaissant la validité des travaux du GIEC et la nécessité de limiter la hausse globale de la température du globe à 2° C.

Le prochain rapport du GIEC paraîtra en 2014. D'ores et déjà, les travaux intermédiaires disponibles laissent prévoir des conclusions plus pessimistes que celles de 2007⁵⁷, à la fois du fait d'une plus forte sensibilité du climat aux émissions que dans les modèles antérieurs, et d'un dérapage des trajectoires d'émission depuis 2007.

Notons que les efforts de limitation entrepris aujourd'hui ne montreront guère d'effet à court ou moyen terme : compte tenu de l'inertie des phénomènes physiques qui entrent en jeu, ce n'est qu'à long et très long terme que les courbes de réchauffement divergeront largement selon les politiques programmées aujourd'hui.

2.2.1.2. Le rapport Stern et les autres travaux internationaux

À la demande du Gouvernement britannique (Chancelier de l'Échiquier), une commission présidée par l'économiste Nicholas Stern a cherché à évaluer les preuves et faire mieux comprendre l'économie du changement climatique. Elle a notamment fait une première estimation des coûts pour l'économie mondiale des évolutions climatiques à prévoir et du coût des mesures nécessaires pour limiter le réchauffement climatique. Le rapport paru en 2006 a pu être pris en compte dans les recommandations du 4e rapport du GIEC.

⁵⁷ Notamment sur le réchauffement à 2100 (on évoque dorénavant plus couramment 4° C que 2° C), mais aussi sur le profil du réchauffement moyen, peu perceptible dans les premières décennies (celles où il faudrait prendre des décisions efficaces) et poursuivant sa hausse après 2100, très au-delà de la plage de valeurs où les modèles sont encore capables d'en décrire les conséquences possibles.

- Pour un réchauffement de 2° à 3° C, le coût du changement climatique, selon ce rapport, pouvait être équivalent à une perte permanente d'environ 0 % à 3 % de la production mondiale totale en comparaison de ce qui aurait pu être réalisé dans un monde sans changement climatique.
- Avec un réchauffement de 5° à 6° C – qui est une possibilité réelle pour le siècle prochain – les modèles existants estiment une perte moyenne de 5 % à 10 % du PIB mondial, les pays pauvres subissant des coûts supérieurs à 10 % du PIB. Si on y ajoute les effets « non marchands », la possibilité, non écartée par le GIEC, d'une réaction plus forte que prévue du système climatique aux émissions de GES et l'inégale répartition des dommages sur la planète, cela augmenterait le coût total du changement climatique dans le scénario d'inaction (« *Business as usual* ») pourrait atteindre jusqu'à l'équivalent d'une réduction d'environ 20 % de la consommation par habitant.
- En revanche, selon le rapport, il est probable que, pour une trajectoire menant à une stabilisation à 550 ppm éq. CO₂, le plafond du coût annuel attendu des réductions d'émissions se situera autour de 1 % du PIB d'ici 2050 dans une fourchette allant de – 1 % (gains nets) à + 3,5 % du PIB.

Ce rapport, le premier d'envergure sur cette question, a fait par la suite l'objet de critiques méthodologiques Nicholas Stern lui-même devant réévaluer à la hausse, en 2008, les conséquences des émissions de GES. Si la quantification des dommages est effectivement très incertaine, l'ampleur des risques n'a pas été contestée par la communauté scientifique, et ces travaux font figure de précurseurs⁵⁸.

2.2.2. Les engagements de la France

2.2.2.1. Origine des engagements

La Convention Cadre des Nations unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC ou Convention de Rio), adoptée en 1992, a pour objectif de stabiliser les concentrations de GES dans l'atmosphère à un niveau qui évite toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique. Cette Convention couvre l'ensemble des gaz à effet de serre non couverts par le protocole de Montréal⁵⁹, à savoir les gaz à effet de serre direct : dioxyde de carbone (CO₂), protoxyde d'azote (N₂O), méthane (CH₄), chlorofluorocarbones (HFC), perfluorocarbures (PFC) et hexafluorure de soufre (SF₆) ainsi que les gaz à effet de serre indirect, SO₂, NO_x, CO et COVMN.

L'effet de serre de ces divers gaz n'étant pas le même en intensité et en durée, des coefficients d'équivalence ont été adoptés dans le cadre de cette convention (v. Annexe 3.) de façon à avoir une unité commune de mesure : la tonne de CO₂ équivalent (t CO₂ éq.)⁶⁰.

⁵⁸ V. en « 1.3.2.1. Les analyses coût avantages » une analyse des méthodes du rapport Stern.

⁵⁹ Protocole de 1987 « relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone » modifiant la Convention de Vienne sur la protection de la couche d'ozone adoptée en 1985,

⁶⁰ On trouve parfois l'unité tonne de carbone équivalent (t C éq.). 1TCéq. = 44/12 tCO₂éq. = 3,67t CO₂ éq.

2.2.2.2. Le protocole de Kyoto

La Convention a été renforcée par l'adoption du Protocole de Kyoto le 11 décembre 1997. Ce Protocole fixe un objectif de réduction pour les émissions agrégées du « panier » de six gaz à effet de serre direct pour 38 pays industrialisés. Ces derniers se sont engagés à réduire globalement leurs émissions de GES de 5,2 % sur la période 2008-2012, par rapport au niveau de 1990. Pour sa part, l'Union européenne (UE) s'est engagée à réduire ses émissions globales de 8 %.

Pour la France, cet accord fixe un objectif de stabilisation des émissions sur la période 2008-2012 au niveau de 1990 (année de référence). Les émissions prises en compte dans le protocole sont celles qui sont produites dans chaque pays. En particulier :

- Les émissions dues aux transports internationaux aériens et maritimes ne sont pas comptabilisés, compte tenu des difficultés d'imputation aux pays en cause ;
- Les émissions relatives à des produits exportés sont comptabilisées dans le pays d'origine. Les émissions d'un pays ne reflètent pas son « empreinte carbone », c'est à dire l'ensemble des émissions dues à ses consommations finales (l' « empreinte carbone » des Français était, en 2007, supérieure de 39 % aux émissions produites sur le territoire).

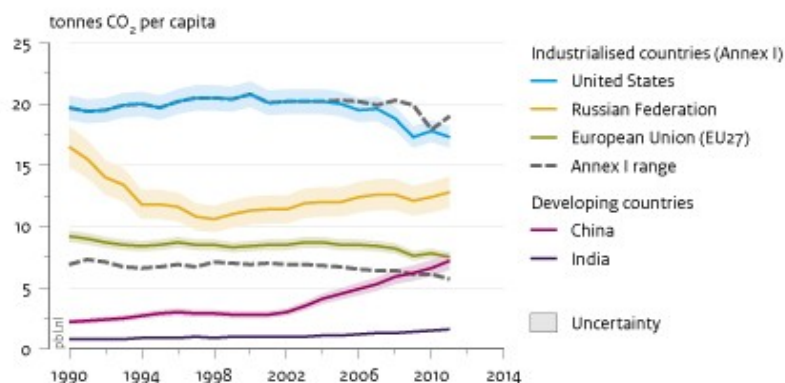
La France et l'Union européenne ont ratifié le Protocole de Kyoto le 31 mai 2002. Le Protocole est entré en vigueur le 16 février 2005.

2.2.2.3. L'évolution du contexte international depuis Kyoto

Depuis le protocole de Kyoto, le contexte international a connu des bouleversements qui changent les données de base de la répartition de l'effort entre les pays. En 1997, les émissions de l'Europe étaient majoritaires dans le bilan mondial, ce qui justifiait qu'elle prît à son compte une part importante de l'effort tandis que la Chine et les autres pays émergents, émetteurs modestes, étaient dispensés d'obligations. Aujourd'hui, les pays émergents produisent une part majoritaire des émissions avec un taux de croissance préoccupant (7,2 t CO₂ éq./habitant en Chine en 2011, supérieure aux émissions moyennes des habitants de l'UE, et en croissance de 9 % par an⁶¹). On ne peut plus attendre de la seule Europe une contribution majoritaire à la solution du problème et les pays émergents doivent prendre leur part dans la limitation des émissions.

⁶¹ Estimation produite en 2012 par l'agence néerlandaise de l'environnement.

CO₂ emissions per capita from fossil fuel use and cement production in top 5 emitters



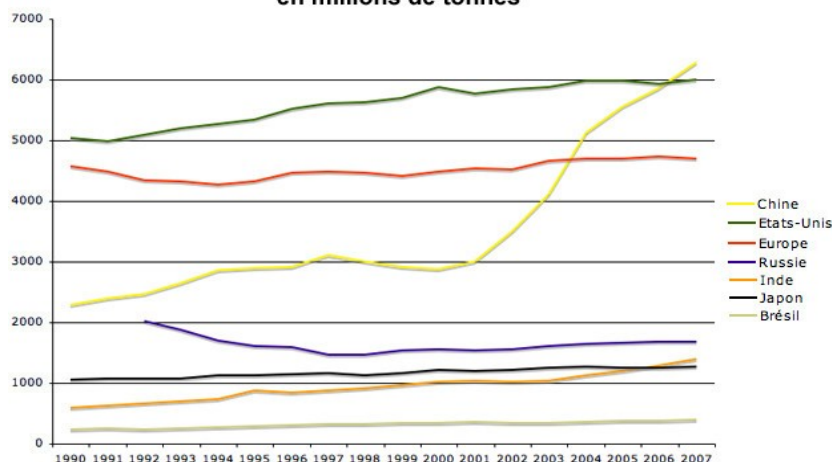
Source: EDGAR 4.2; UNPD, 2010; Olivier et al., 2012

www.pbl.nl

Émissions dues aux carburants fossiles et au ciment⁶²

Cela étant, un argument tirant motif de la (relative) petite taille de notre pays pour conclure à la vanité des efforts nationaux n'aurait évidemment aucune valeur rationnelle : n'importe quel maire de grande ville chinoise ou n'importe quel gouverneur américain pourrait proférer le même sophisme, fondant ainsi l'inaction universelle...

Émissions de CO₂ dues à la consommation énergétique en millions de tonnes



Source : Agence Internationale de l'Énergie (AIE)

2.2.2.4. Les recommandations du GIEC et le G8

C'est en considération des différences de coût global évoquées par exemple dans le rapport Stern, montrant que les mesures visant à limiter le réchauffement étaient sur le moyen et long terme globalement beaucoup moins coûteuses que la gestion des conséquences du réchauffement que le G8 a adopté en 2009 la recommandation du GIEC visant à diviser par un facteur 2 les émissions mondiales de GES entre 1990 (année de référence) et 2050, pour ne pas dépasser une concentration de 450 ppm de

⁶² « annex 1 range » : moyenne des pays de « l'annexe 1 » du protocole de Kyoto.

CO₂ éq. dans l'atmosphère. Les émissions ne devront pas dépasser 0,6 t C éq. / habitant (2,2 t CO₂ éq.), ce qui pour la France (2,0 t C éq., soit 7,5 t CO₂ éq. /habitant en 1990) exige un facteur de réduction environ égal à 4 (« Facteur 4 »). Une telle réduction laisserait espérer une limitation à 2° C environ (entre 1,5° C et 3,9° C) du réchauffement moyen au cours du 21^e siècle.

2.2.2.5. Le « facteur 4 » en France, les engagements du « Grenelle » et la loi française

C'est le 19 février 2003, en ouvrant la 20^e session du GIEC, que le Président de la République française Jacques Chirac a évoqué la nécessité de diviser les émissions mondiales de GES par 2, ce qui pour la France pouvait signifier une division par « quatre ou cinq » de ses émissions.

Cet engagement, qui plaçait la France très en pointe sur le sujet, a été inscrit dans la loi POPE du 13 juillet 2005, notamment dans son article 2 :

« (...) La lutte contre le changement climatique est une priorité de la politique énergétique qui vise à diminuer de 3 %⁶³ par an en moyenne les émissions de gaz à effet de serre de la France. En conséquence, l'Etat élabore un « plan climat », actualisé tous les deux ans, présentant l'ensemble des actions nationales mises en œuvre pour lutter contre le changement climatique.

En outre, cette lutte devant être conduite par l'ensemble des États, la France soutient la définition d'un objectif de division par deux des émissions mondiales de gaz à effet de serre d'ici à 2050, ce qui nécessite, compte tenu des différences de consommation entre pays, une division par quatre ou cinq de ces émissions pour les pays développés».

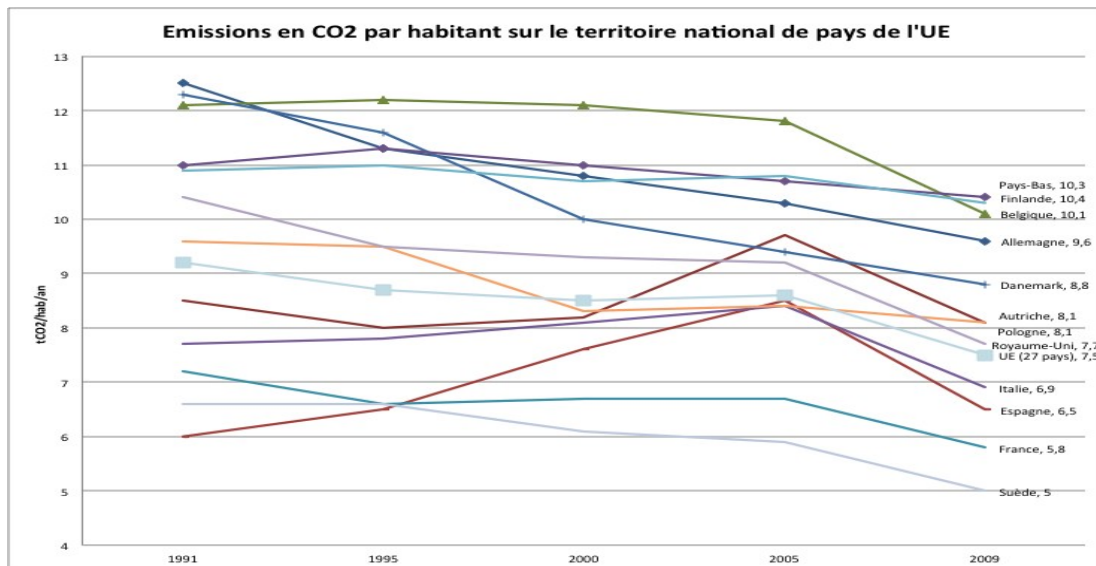
Cet objectif a été réaffirmé au cours du Grenelle Environnement.

En juillet 2008, le G8 s'est rallié à l'objectif de division par deux des émissions d'ici 2050.

2.2.2.6. Le « paquet climat-énergie » européen et les prévisions de l'Union européenne

Les émissions de GES rapportées à la population des différents pays membres de l'Union étant très différentes (5,6 t CO₂ éq. en France, 9,6 t en Allemagne), l'Union ne s'est pas donné d'objectif de convergence, mais des objectifs de réduction proportionnelle laissant intactes les différences relatives entre les pays membres.

⁶³ Une diminution de 3 % par an pendant produit effectivement une division par 4 en 45,5 ans.



(Émissions hors UTCF) Source INSEE, EEA, IEA Eurostat.

L'Union européenne a ainsi adopté un plan d'action (dénommé communément « Paquet climat-énergie ») en décembre 2008 (directives du 23 avril 2009)⁶⁴, prévoyant entre autres de réduire les émissions de GES de 20 % au sein de l'Union à échéance de 2020 (décision n° 406/2009/CE du 23 avril 2009), chaque pays recevant des objectifs contraignants (- 14 % pour la France⁶⁵).

Plus récemment, le Conseil européen du 9 mars 2012 a adopté une « feuille de route vers une économie compétitive à faible intensité de carbone à l'horizon 2050 » pour parvenir à un « facteur 5 » en 2050 sur le territoire de l'Union, comportant les « points de passage » suivants pour atteindre le but :

- - 25 % (par rapport à 1990) en 2020,
- - 40 % en 2030,
- - 60 % en 2040,
- - 80 % en 2050.

Pour le moment, ces chiffres n'ont qu'une valeur indicative.

On peut observer que cette trajectoire, comme la plupart des exercices de prévision relatifs au facteur 4, remet à plus tard l'essentiel de l'effort, puisqu'une autre manière de présenter les réductions envisagées est de constater que ces prévisions correspondent à un effort de réduction de :

- - 25 % en 30 ans (1990-2020) pour la période actuelle,
- puis - 25 % en 10 ans (2020-2030),
- puis - 33 % en 10 ans (2030-2040),

⁶⁴ Le « paquet » comprenait aussi à l'échéance 2020 l'amélioration de 20% de l'efficacité énergétique et une proportion de 20 % (23 % pour la France) d'énergie renouvelable dans le « mix ».

⁶⁵ Pour les secteurs non visés par les quotas d'émission (v. 4.2.1.1.).

- puis - 50 % en 10 ans (2040-2050),

alors que rien ne permet de penser qu'une réduction de 1 % sera plus facile dans 20 ou 30 ans qu'aujourd'hui...

Ainsi, cet échancier, non ventilé ni par secteurs ni par pays, reporte l'essentiel de l'effort relatif sur l'avenir lointain, alors que rien n'indique que les gains seront plus faciles plus tard⁶⁶. La mission rejoint sur ce point les conclusions du rapport de la commission Perthuis considérant que la trajectoire souhaitable pour l'Europe et la France passe plutôt par un effort de - 25 % que - 20 % d'émissions de GES en 2020. Une trajectoire répartissant également l'effort relatif annuel entre 2012 et 2050 correspondrait à une décroissance des émissions régulière de 3,58 % par an, qui se traduirait par des diminutions de :

- - 25 % en 2020,
- - 48 % en 2030,
- - 64 % en 2040,
- - 80 % en 2050.

4. La trajectoire permettant d'espérer l'atteinte les objectifs en 2050 passe vraisemblablement par une diminution des émissions en 2020 de 25 % et non de 20 %, ce qui suppose en chiffres ronds un effort de réduction de 3 % par an (au lieu de 2 %). La France doit défendre cette position dans les négociations européennes.

La « feuille de route » esquisse un partage de l'effort entre secteurs assez peu réaliste, où par exemple toute l'électricité serait décarbonée en 2050, alors qu'on construit encore actuellement en Europe des centrales à combustibles fossiles.

⁶⁶ Deux arguments militeraient pour un profil différent :

- en économie, on rencontre le plus souvent des rendements décroissants : les premiers efforts sont les plus faciles, puis le coût marginal de l'unité gagnée (la t CO₂ économisée) augmente.
- la t CO₂ émise en 2012 crée plus de dommages sur le climat à 2100 que la t CO₂ émise en 2050, parce qu'elle agit plus longtemps.

L'argument tiré de la richesse de nos descendants, supposée supérieure à la nôtre, est de l'ordre du souhaitable, et non de la vérité établie. L'espoir d'avancées technologiques facilitant les choses n'est pas non plus de l'ordre du programmable.

2.3. Les outils de mesure : organismes, sources et méthodes

2.3.1. Les obligations de compte rendu et la nature des rapports

2.3.1.1. Les obligations au niveau européen⁶⁷

La Communauté européenne a mis en place, pour répondre à ses engagements en tant que Partie à la Convention des Nations unies sur le changement climatique, un mécanisme de surveillance des émissions de CO₂ et autres gaz à effet de serre (décisions 280/2004/CE et 2005/166/CE) destiné à surveiller, dans les États membres, toutes les émissions anthropiques de GES non réglementés par le protocole de Montréal et évaluer les progrès réalisés en vue de respecter les engagements en ce qui concerne ces émissions.

Dans le cadre de cette lutte contre le changement climatique, le Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie (MEDDE) doit répondre à de nombreuses obligations de rapportage, internationales, communautaires et nationales, dont notamment :

Date de rapportage du rapport mécanisme de surveillance et communication nationale⁶⁸ :

Institution	Cadre institutionnel	Rapport à fournir	Périodicité	Horizon projection	Dernier rapport fourni
Secrétariat des Nations unies	Convention Cadre des Nations unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC)	Communication nationale	Tous les 4-5 ans	2020	Janvier 2012
Commission européenne	Protocole de Kyoto	Rapport sur les mécanismes de surveillance	Tous les 2 ans	2010 2015 2020	01/03/11

2.3.1.2. Les obligations au titre des lois « Grenelle »

L'article 17 de la loi du 16 décembre 2010 (dite « Grenelle II ») codifié à l'article L229-25 du code de l'environnement oblige les collectivités territoriales de plus de 50 000 habitants et les personnes morales de droit privé au-dessus d'une certaine taille à produire des bilans de leurs émissions de GES, à les publier et à les mettre à jour tous les trois ans.

Un pôle de coordination des inventaires territoriaux a été créé avec la participation du CITEPA et de l'Institut national de l'environnement industriel et des risques (INERIS). Notons que les inventaires d'émission de GES sont souvent conduits en parallèle avec la mesure d'autres polluants atmosphériques.

2.3.1.3. Les formes de comptes rendus

Il faut distinguer les inventaires et les bilans, même s'ils sont établis à partir de la même collecte de données.

⁶⁷ Ce paragraphe reprend le rapport du CITEPA.

⁶⁸ Source CITEPA.

Globalement, les inventaires doivent être établis sans double compte et être exhaustifs. Le format des inventaires utilisés pour les comptes rendus internationaux répondent à des normes issues des travaux du GIEC et inscrites dans la CCNUCC.

Mais les inventaires peuvent être établis à toutes les échelles. Il subsiste aujourd'hui quelques incohérences dans les inventaires territoriaux (par exemple, le traitement des émissions des véhicules, au kilomètre parcouru ou d'après le débit des pompes à essence).

Les conventions qui sous-tendent les inventaires sont hélas différentes des normes internationales de la statistique publique, ce qui conduit, sur la base des mêmes recueils de données à deux familles d'exploitation.

Le bilan GES, lui, a vocation à éclairer une entité sur l'ensemble des émissions dont elle est responsable, ce qui implique de tenir compte des émissions indirectes. L'ADEME a notamment développé une méthode dite « Bilan carbone » désormais gérée par une association ad hoc. En pratique, les bilans territoriaux ou sectoriels ne sont ni comparables, ni additionnables⁶⁹ (bien qu'ils utilisent les données des inventaires).

Enfin, la question de l'importation et de l'exportation de GES au travers des flux de marchandises et de services traversant l'entité considérée est particulièrement difficile : les engagements au titre de la CCNUCC (et du protocole de Kyoto) ne concernent que les émissions produites à l'intérieur du territoire considéré. La prise en compte des échanges externes pose des problèmes techniques : comment évaluer le « contenu en CO₂ » d'un objet produit dans un pays étranger dont on connaît mal les modes de production et le « mix énergétique » ? cette donnée peut avoir pourtant une grande importance (près de 40 % du CO₂ « consommé » en France est produit sur un territoire étranger⁷⁰) et les bilans territoriaux qui n'en tiendraient pas compte seraient de peu de valeur. Les travaux entrepris dans le cadre d'Eurostat ont permis depuis peu des avancées en ce domaine (cf. 2.3.2.3.).

5. Accélérer dans le cadre d'Eurostat les travaux préalables indispensables pour pouvoir dès que possible mettre à l'agenda une valorisation européenne du GES importé.

2.3.2. Les sources principales

2.3.2.1. Le CITEPA

Le CITEPA est une association régie par la loi de 1901 créée en 1961 par des industriels concernés par la pollution atmosphérique (secteur de l'énergie, etc.). Les missions du CITEPA concernent à la fois les GES et les polluants atmosphériques (40 substances suivies).

En France, le CITEPA est la cheville ouvrière de la mesure des émissions de GES.

– Le système d'inventaires et de bilans GES

⁶⁹ Par exemple, les émissions liées à la restauration de l'entreprise A gérée par le traiteur B pourront figurer à la fois au bilan GES de A et de B.

⁷⁰ Chiffre 2007, Source SOeS 2012.

C'est la Direction générale de l'Énergie et du Climat (DGEC) qui a la responsabilité des inventaires et des comptes rendus en matière d'émissions de GES. Ceux-ci sont établis dans le cadre du système national d'inventaire des émissions et de bilans dans l'atmosphère (SNIEBA) conformément à l'arrêté du 24 août 2011 qui complète et modifie l'arrêté du 29 décembre 2006.

La coordination du système est assurée par le GCIE (groupe de concertation et d'information sur les inventaires d'émissions), où sont désormais représentés l'ensemble des acteurs concernés (ministères, ADEME, INSEE, collectivités, etc.).

La DGEC sous-traite les travaux de collecte et de mise en forme des données au CITEPA. Celui-ci assure la réalisation des inventaires nationaux, les inventaires territoriaux (prévus par la loi Grenelle et servant notamment de base à l'établissement des plans climat-énergie territoriaux – PCET) étant réalisés par l'INERIS.

– Les méthodes et les processus de recueil et de traitement de l'information

Les inventaires sont établis conformément aux normes fixées dans le cadre de la convention cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC) (*Common reporting format*). Ces normes fixent également les principaux facteurs d'émission, même si chaque pays doit s'appuyer sur des données spécifiques plus précises (les *guidebooks* fournissent des facteurs par défaut). Le respect de ces normes fait l'objet de vérifications (revues par les pairs), avec une exigence croissante de traçabilité (les rapports d'inventaires sont audités à travers des revues des pairs sur place « *peer reviews in country* »). En termes de qualité des inventaires, la France est bien considérée.

Au plan technique, le CITEPA entretient des relations permanentes avec tous les acteurs de l'économie pour mettre à jour en permanence ses données et ses méthodes. Pour les émissions liées au secteur de l'énergie, le CITEPA s'appuie sur les données du Service de l'Observation et des statistiques (SOeS) du Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie (MEDDE) avec lequel les relations sont étroites. Pour l'aérien, le CITEPA travaille avec la Direction générale de l'aviation civile (DGAC). Pour l'agriculture, il travaille avec le MEDDE, l'ADEME et le Ministère de l'agriculture, de l'alimentation et de la forêt (MAAF) pour affiner les méthodes d'estimation du CH₄ et du N₂O, en associant les instituts techniques agricoles et l'Institut national de la recherche agronomique (INRA). Pour l'utilisation des terres, leur changement et la forêt (UTCf), s'ajoute à ces partenaires l'Institut géographique national (IGN) désormais chargé de l'inventaire forestier national.

2.3.2.2. Le SOeS : les statistiques de l'énergie

La sous-direction de l'énergie du SOeS est chargée d'établir les statistiques de l'énergie. La combustion d'énergie fossile étant à l'origine de 70 % des émissions, la sous-direction est un acteur important du système d'information sur les GES. Elle fournit au CITEPA l'essentiel des informations relatives aux flux d'énergie (production et consommation). Pour évaluer la consommation des différents types d'énergie par secteurs d'activité, elle utilise notamment les facteurs d'émission de l'ADEME. Les données relatives au renouvelable thermique (biomasse...) sont également fournies par l'ADEME. Les données produites concernent principalement les quantités d'énergie (en Tep ou Kwh), mais la sous-direction publie également des informations conjoncturelles sur les émissions de CO₂ directement déduites des données sur l'énergie. La sous-direction participe en tant qu'expert aux travaux du GCIE.

2.3.2.3. L'intégration des données sur les GES dans les comptes économiques

L'inventaire européen NAMEA (*National Accounting Matrix Including Environmental Accounts*) a pour but d'étendre les comptes nationaux en y intégrant des données environnementales. Les émissions atmosphériques (y compris les GES) constituent le domaine le plus avancé des comptes de type NAMEA. Cet outil a déjà permis d'évaluer le bilan carbone de la France en intégrant le contenu carbone des importations. La méthodologie de NAMEA, mise au point par Eurostat en 2009, est fondée sur l'utilisation des techniques de la comptabilité nationale. Le tableau entrées-sorties (TES) qui détaille notamment le contenu des produits en consommations intermédiaires et en importations dans une nomenclature en 40 secteurs économiques - permet de calculer le contenu en énergie et en GES pour chaque groupe de produits. Pour calculer le contenu en GES des importations, on utilise les données fournies par les TES des principaux pays exportateurs. Cette méthode permet de calculer l'empreinte carbone du pays⁷¹, c'est-à-dire ses émissions de GES (en fait CO₂ + CH₄ + N₂O) liées à la consommation finale des ménages (ensemble des biens et services consommés, y compris produits importés, transports, chauffage, services), au fonctionnement des administrations et aux investissements.

Un rapportage à Eurostat existe depuis plusieurs années sur une base volontaire ; il va devenir obligatoire à partir de 2013 (règlement européen 691/2011, annexe 1). Les données de la plupart des pays de l'UE sont d'ores et déjà disponibles sur la base de données des comptes environnementaux d'Eurostat. Pour la France, les chiffres publiés permettent d'ores et déjà de constater que l'empreinte carbone de la nation a augmenté d'environ 15 % entre 1995 et 2010 (contrairement aux émissions sur le sol français qui décroissent légèrement sur la même période).

Le rapprochement des données physiques et économiques permet d'envisager différents types d'analyse des facteurs d'évolution des émissions. Le SOeS procède déjà à des analyses a posteriori⁷², mais il semble possible d'aller plus loin. Les comptes physiques par branches sur lesquels s'appuient les travaux sur l'empreinte carbone, ainsi que certains des résultats des calculs réalisés dans ce cadre pourraient servir dans des exercices de modélisation macroéconomique. On pourrait aussi envisager d'analyser l'impact de la distribution des revenus et de la fiscalité, etc. Le service économique de l'ADEME et le CAS ont manifesté l'intention de mener des travaux de ce type, ce qui paraît très souhaitable.

2.3.3. Incertitudes et traçabilité

2.3.3.1. Les marges d'incertitude et la traçabilité

On peut considérer que, sur le champ couvert par les conventions internationales et les travaux du CITEPA, la traçabilité et la précision des mesures sont suffisantes pour les usages actuels (hors agriculture et UTCF).

Le CITEPA précise les marges d'incertitudes des données qu'il publie. Certaines données sont connues avec une précision très satisfaisante, parfois inférieure à 1 % (par exemple les données des entreprises soumises aux déclarations d'émissions au

⁷¹ 9 t CO₂/pers ou pour CO₂+CH₄+N₂O 12 tCO₂e/pers.

⁷² cf. Etudes & Documents (revue du SOeS) n° 27, pp. 30-32.

titre des quotas d'émissions), d'autres font l'objet d'estimations plus incertaines selon des méthodes habituelles de la statistique.

Les problèmes les plus difficiles concernent le domaine agriculture et UTCF, notamment parce qu'il comporte une importante activité d'absorption (la forêt française, sous-exploitée, est aujourd'hui un « puits de carbone » non négligeable, mais fragile à moyen terme) qui présente des difficultés particulières d'estimation. Pour les émissions agricoles (CH_4 et N_2O) l'incertitude peut être très grande (430 % pour les émissions de N_2O des sols agricoles), car les phénomènes bio-géochimiques complexes qui s'y déroulent sont éminemment variables en fonction du sol (au sein d'une même parcelle) et du climat.

Outre le cas de l'agriculture, la fiabilité de l'information est très dégradée :

- lorsque les produits en cause traversent les frontières ou s'ils sont élaborés à partir de composants importés,
- et notamment lorsque le même produit peut être obtenu selon des modes de production distincts, dont l'impact en termes de GES peut être très différent. On cite l'exemple du « *blue jean* » qui, selon le lieu de provenance du coton peut avoir une empreinte carbone variant du simple au double⁷³.

2.3.3.2. Les « facteurs d'émission »

Pour estimer les émissions correspondant à une unité d'un produit, on utilise des coefficients appelés « facteurs d'émission ». Par exemple, un camion, de caractéristiques et de chargement déterminé sera réputé émettre n kg de CO_2 équivalent au 100 km. Il ne s'agit pas de l'émission d'un camion particulier un jour donné, mais d'une moyenne d'émissions calculée sur l'ensemble des camions du même type. Ces facteurs d'émission font l'objet d'ajustements permanents en fonction de l'évolution des techniques, ce qui constitue une part importante de l'activité du CITEPA.

Les facteurs d'émission, calculés pour l'essentiel par le CITEPA, sont répertoriés dans les bases de données des ministères et du Groupe de coordination et d'information sur les inventaires d'émissions (GCIIIE), et utilisés par la base carbone de l'ADEME pour le calcul de ses « bilans carbone » ; l'accès à cette base, qui était encore récemment d'accès libre en format PDF sur Internet, s'est récemment restreint, l'ADEME se réservant la possibilité de rendre l'accès payant⁷⁴.

On peut regretter qu'à l'ère de l'Open data et de la directive « INSPIRE » ces données d'intérêt public voient ainsi leur accessibilité handicapée, alors qu'on devrait faciliter, tant pour les particuliers que pour les organisations, les efforts de chacun en vue de calculer ses émissions de GES (principe 10 de la déclaration de Rio).

⁷³ Étude INRETS pour l'ADEME et le PREDIT « *Chaines logistiques et consommation d'énergie : cas du yaourt et du jean* », Christophe Rizet et Basile Keita, juin 2006.

⁷⁴ www.basecarbone.fr.

2.4. État des émissions et trajectoires suivies

2.4.1. L'accès aux données

Il est difficile pour le grand public de se procurer des données récentes sur les émissions de GES. Le SOeS édite chaque année un opuscule intitulé « *chiffres clés du climat* », très complet et de bonne qualité pédagogique, mais l'édition 2013 ne donne des chiffres que jusqu'à 2010.

Le rapport du CITEPA au titre de la CCNUCC, paru en mars 2012, donne les chiffres jusqu'à 2010, compte tenu d'un délai normal de 14 mois pour établir les statistiques d'une année. Sa forme (1364 pages au total) est évidemment moins conviviale que celle de la publication précitée.

La fraîcheur des informations a son importance : les chiffres d'émission de 2009 sont particulièrement bas du fait de la crise économique aiguë qui a marqué cette année-là, et l'ampleur du rebond attendu pour 2010 est une donnée essentielle et légitimement attendue.

Le travail statistique a ses exigences de rigueur qui impliquent des délais incompressibles, encore plus longs lorsqu'on fait appel à des sources extérieures à la France (les données comparatives sur l'empreinte carbone de la France, comparée à celle des autres pays, éditées par le SOeS en mars 2012 n'ont pas pu porter au-delà de 2007). S'il s'agit d'analyser des tendances relativement monotones de long terme, la difficulté est mineure. En revanche, notre société est avide de nouvelles fraîches pour nourrir et animer le débat public et on peut se demander s'il n'y aurait pas place, en complément des inventaires rigoureux, pour des informations sur les tendances d'évolution des émissions, moins précises mais plus rapides.

2.4.2. Évolution globale des émissions

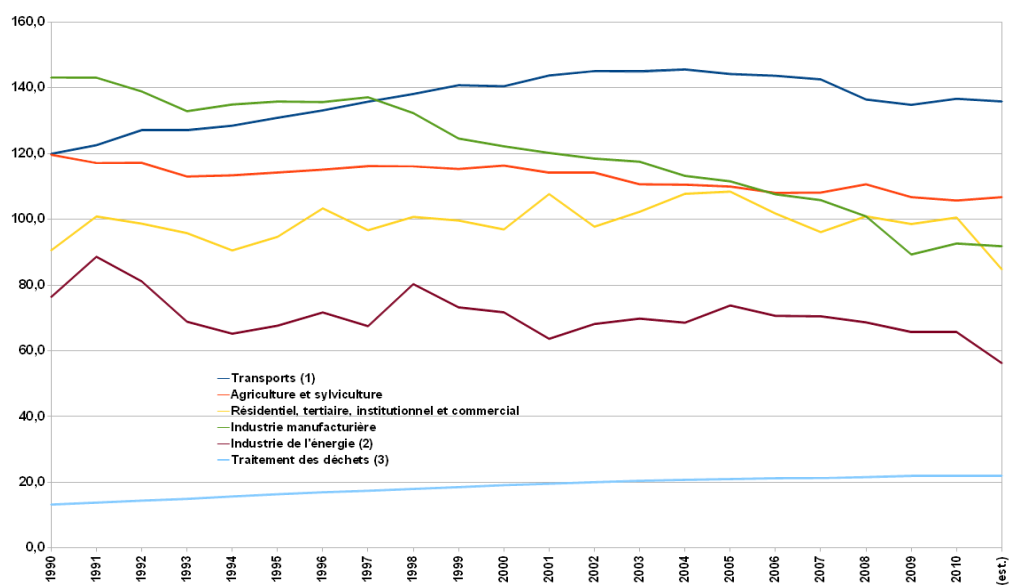
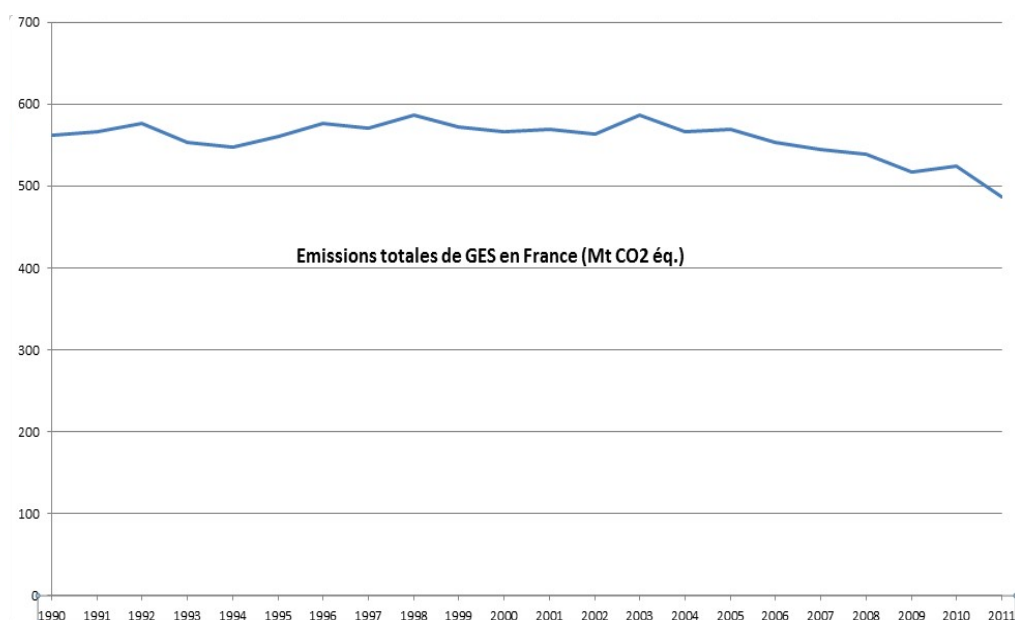
Le CITEPA publie les données suivantes :

Émissions de gaz à effet de serre par secteur en France
En millions de tonnes d'équivalent CO₂

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	*2011 (est.)
Transports (1)	119,9	122,6	127,2	127,1	128,5	130,9	133,1	135,8	138,1	140,8	140,5	143,8	145,1	145,0	145,6	144,2	143,7	142,6	136,5	134,8	136,7	135,9
Agriculture et sylviculture	119,6	117,1	117,2	113,0	113,4	114,3	115,1	116,2	116,1	115,3	116,4	114,3	114,1	110,7	110,6	110,0	108,1	108,1	110,7	106,8	105,7	106,8
Résidentiel, tertiaire, institutionnel et commercial	90,6	100,9	98,7	95,8	90,5	94,7	103,3	96,7	100,7	99,6	96,9	107,7	97,8	102,3	107,8	108,4	101,8	96,1	100,9	98,6	100,5	84,8
Industrie manufacturière	143,2	143,1	138,9	132,9	134,9	135,8	135,7	137,1	132,3	124,6	122,2	120,2	118,5	117,5	113,2	111,6	107,6	105,8	100,9	89,3	92,6	91,8
Industrie de l'énergie (2)	76,4	88,6	81,1	68,9	65,2	67,6	71,7	67,5	80,3	73,2	71,7	63,6	68,2	69,8	68,6	73,8	70,6	70,5	68,7	65,8	65,8	66,2
Traitement des déchets (3)	13,2	13,8	14,4	15,0	15,7	16,4	17,0	17,4	18,0	18,5	19,1	19,6	20,0	20,5	20,7	21,0	21,2	21,3	21,6	22,0	22,0	22,0
Ensemble	562,9	586,1	577,5	552,7	548,3	559,7	575,9	570,7	585,6	572,1	566,8	569,1	563,7	565,7	566,5	569,0	563,0	544,5	539,2	517,2	523,9	498,6

Notes : périmètre du protocole de Kyoto (Métropole, Guadeloupe, Martinique, Guyane, La Réunion, Saint-Martin, Saint-Barthélemy) hors UTCF (utilisation des terres, leurs changements et la forêt) ;
(1) trafic domestique uniquement ; (2) y compris incinération des déchets avec récupération d'énergie ; (3) hors incinération des déchets avec récupération d'énergie, et hors captage de biogaz.

Ces évolutions d'émissions sont figurées dans les graphiques suivants :



Émissions par secteur de 1990 à 2011 (en Mt CO₂ éq. Source : CITEPA 2012

2.5. L'exploration de l'avenir : les travaux de programmation et de prospective

2.5.1. Les prévisions publiques

La prospective a pour objectif d'explorer des avenir possibles et de mettre en évidence des risques (menaces) ou des opportunités d'action. Un certain nombre de travaux de prospective relatifs au « facteur 4 » ont été entrepris à l'initiative des pouvoirs publics. Citons :

2.5.1.1. Le rapport « Pierre Radanne » (2004)

Ce rapport commandé à l'initiative de la mission interministérielle de l'effet de serre (MIES) étudie neuf variantes d'évolution possible. Il produit une analyse économique où la « rente d'efficacité énergétique » finance largement la lutte contre l'effet de serre.

Selon ce rapport, la première mesure à prendre est d'adopter sans tarder une « valeur de dérive » des prix de l'énergie à venir, puis une valeur du carbone à intégrer dans les choix d'investissement. Il plaide pour une fiscalité carbone. Il donne une valeur du CO₂ correspondant à la trajectoire vers le facteur 4 variant de 111 à 277 €/t CO₂ éq. selon les scénarios envisagés.

2.5.1.2. Le rapport « Christian de Boissieu » (2006)

Le rapport du groupe de travail « *Division par quatre des émissions de gaz à effet de serre de la France à l'horizon 2050* » réuni sous la présidence de Christian de Boissieu (août 2006) prenait en compte un certain nombre d'exercices antérieurs, dont le rapport « Prospective 2050 » du CGPC, les travaux de la Direction générale de l'énergie et des matières premières _ observatoire de l'énergie (DGEMP-OE) de 2005 sur le « facteur 4 », de la MIES (Pierre Radanne, 2004), de Greenpeace (Dr Wolfram Krewitt), d'Henri Prévot, de Négawatt...

Le rapport se conclut par une liste de 28 recommandations propres à faciliter la réalisation du « facteur 4 ». Une partie (en fait les recommandations de caractère « pratique ») a été reprise dans les débats du « Grenelle » et est aujourd'hui pour une part notable appliquée, les recommandations d'ordre stratégique ou de cohérence politique sont restées moins suivies.

2.5.1.3. Le rapport « Alain Quinet » (2008)

Le rapport de la commission réunie par le Centre d'analyse stratégique et présidée par Alain Quinet sur « *La valeur tutélaire du carbone* » (juin 2008) avait pour objet de proposer une nouvelle valeur du carbone pour l'évaluation des choix d'investissements publics et, plus généralement, pour l'évaluation environnementale des politiques publiques (la valeur jusque-là admise 27 € / t CO₂ éq. résultant du rapport « Boiteux » de 2001).

C'est sur la base de l'objectif européen de mars 2007 de réduire de 20 % les émissions de gaz à effet de serre à l'horizon 2020 puis de 60 % à 80 % d'ici à 2050, conforme aux engagements politiques de la France, que la commission a défini le

référentiel carbone à l'horizon 2050. Le cheminement de la commission a alors consisté à déterminer la trajectoire de valeurs du CO₂ qui permette d'atteindre les objectifs politiques européens de mars 2007 (dans une démarche « coût-efficacité » et non « coût-avantage »).

Les valeurs recommandées par la commission devaient augmenter progressivement :

- en 2010 : 32 €/ t CO₂ éq.
- en 2020 : 56 €/ t CO₂ éq.
- en 2030 : 100 €/ t CO₂ éq.
- en 2050 : autour de 200 €/ t CO₂ éq. (150 € – 350 €)

Le propos de la commission ne portait que sur la valeur à prendre en compte dans les choix d'investissement public, mais par construction, ces valeurs étaient celles qu'il aurait fallu par exemple donner à une taxe carbone généralisée pour que le jeu des acteurs économiques aboutisse de lui-même aux réductions d'émission projetées⁷⁵.

La commission considérait que les valeurs du carbone proposées restaient valables pour un prix du pétrole compris entre 50 et 100 euros le baril et pour un prix du charbon compris entre 60 et 120 euros la tonne. Une révision pourrait devenir nécessaire si la tendance de prix des énergies fossiles s'écartait durablement de cette fourchette.

2.5.1.4. Le rapport « Christian de Perthuis »

Le rapport du Comité « *Trajectoires 2020 – 2050, vers une économie sobre en carbone* » présidé par Christian de Perthuis a été publié en octobre 2011.

Les travaux du Comité ont systématiquement recherché les voies d'une politique climatique qui conjugue ambition élevée sous l'angle de la réduction des émissions de gaz à effet de serre et impacts positifs sur la croissance économique, la compétitivité industrielle et l'emploi.

- Ils mettent l'accent sur la politique de développement des filières industrielles, l'effort de recherche et développement et la diffusion de l'innovation au sein du tissu économique.
- Ils plaident pour des politiques qui rendent prévisibles à long terme les objectifs fixés aux agents économiques et les incitations économiques qui les aideront à les atteindre, notamment grâce à une généralisation de la tarification du carbone dans l'économie.
- Ils montrent les avantages de viser à 2020 une réduction de 30 % plutôt que de 20 % (cf. nos observations en 2.2.2.6.).

⁷⁵ La commission prend soin cependant de préciser que son propos n'est pas de préconiser l'instauration d'une fiscalité non différenciée : d'autres modes d'internalisation (comme les quotas) sont possibles.

Le comité propose une répartition de l'effort de réduction entre les secteurs de l'économie, reflétée dans le tableau suivant :

	1990		2005		2050		
	(Mt CO2e)	Part du total (%)		Part du total (%)		Part du total (%)	Évolution /1990 (%)
Total	562	100	561	100	140	100	– 75
Résidentiel – Tertiaire	91	16	108	19	13	9	– 85
Industrie manufacturière	143	25	112	20	21	15	– 85
Transports	120	21	144	26	41	29	– 66
Agriculture	120	21	110	20	59	42	– 51
Industrie de l'énergie	76	14	74	13	13	2	– 96
Traitement des déchets	13	2	13	2	3	2	– 76

Émissions de gaz à effet de serre par secteur pour atteindre l'objectif de « facteur 4 » en 2050 en France.

Cette répartition se fonde sur une estimation à dire d'expert des possibilités techniques envisageables dans chaque secteur (hors considérations de coûts ou de rentabilité). Elle fait l'hypothèse d'un développement à grande échelle de la capture et séquestration du carbone (CSC) d'ici 2050, qui n'est naturellement pas assuré.

2.5.1.5. L'exercice conduit par l'ADEME en 2012

L'ADEME a pris, au long de l'année 2012, l'initiative de mettre à profit l'expertise de ses différents services pour conduire un exercice de prospective dont la publication est concomitante avec le présent rapport (décembre 2012). L'exercice porte sur l'ensemble des secteurs, considérant que l'énergie décarbonée économisée dans un secteur donné (essentiellement les bâtiments dans un premier temps) pouvait être reportée sur d'autres usages, et y réduire le recours aux énergies fossiles.

L'exercice se donne deux horizons successifs : jusqu'à 2030, l'étude procède par extrapolation des possibilités techniques actuelles, à l'aide d'hypothèses « raisonnablement optimistes » sur leurs évolutions. En revanche, entre 2030 et 2050, elle procède par « rétro-prévision » en postulant l'atteinte du « facteur 4 » et en en déduisant les évolutions nécessaires.

L'étude présentera des déclinaisons sectorielles de ses conclusions, non encore publiées au moment de la rédaction du présent rapport.

2.5.2. Le rapport d' « *Entreprises pour l'environnement* » (2011)

« Entreprises pour l'environnement » (EPE) est une association qui regroupe la majorité des grandes entreprises françaises, et est affiliée au « *World Business Council for Sustainable Development* » (WBCSD). WBCSD et EPE ont produit un rapport intitulé « Donner un prix au carbone – le prix du carbone, outil de la politique de changement climatique ». Ce texte prend position pour l'instauration « de toute urgence » d'un prix du carbone croissant au cours du temps, permettant que les acteurs économiques investissent d'abord dans les mesures les moins coûteuses puis dans l'ordre croissant des coûts d'abattement.

Les travaux d'EPE aboutissent à des valeurs du CO₂ sensiblement plus élevées que celles préconisées dans le rapport Quinet.

2.5.3. Observation sur le « prix du carbone »

Les études tendant à proposer un « prix du carbone » pour les années à venir (Boiteux, Quinet, Entreprises pour l'environnement) ont pris pour hypothèse le respect d'une trajectoire d'émission assez proche de celle que propose la « feuille de route » européenne. Les résultats donnent un prix relativement faible aujourd'hui pour augmenter pratiquement d'un facteur 10 en 40 ans.

Il apparaît à la mission que ce résultat reflète en partie dans les chiffres l'observation qu'elle a faite sur la « feuille de route » européenne qui choisit de repousser l'essentiel de l'effort à plus tard. Le taux de croissance élevé du prix du carbone, partant d'un prix bas, est la traduction d'une « préférence pour le présent » excessive, voire d'une procrastination dangereuse dissimulée sous les apparences d'une progression régulière.

6. *Pour mieux répartir l'effort de réduction des émissions dans la durée en augmentant l'effort aujourd'hui et ne pas laisser à nos successeurs un effort irréalisable, envisager des « valeurs du carbone » ou des prix des énergies fossiles croissant rapidement dans les prochaines années et éventuellement moins vite par la suite.*

3. Le secteur des transports

3.1. L'état des lieux

Les émissions de gaz à effet de serre dues aux transports sont estimées par le CITEPA en incluant les émissions des véhicules étrangers sur le territoire métropolitain, et en excluant du total national les émissions liées aux trafics maritimes et aériens internationaux ; elles sont publiées notamment par la Commission des comptes des transports de la nation (cf. son 49e rapport de juin 2012).

Après avoir crû de 1990 à 2004, elles décroissent depuis 2005 :

3.1.1. Émissions de CO₂ et des autres gaz à effet de serre

L'émission principale est celle de CO₂ (exprimé en Mt, les autres gaz étant exprimés en kt) :

niveaux en millions de tonnes, évolutions en %

		1990	2010	2011(p)	2011/ 1990
CO ₂	Tous transports	118	127	126	7
(Mt)	Total (hors UTCF)	390	372	346	-11
CH ₄	Tous transports	39	9	8	-79
(kt)	Total (hors UTCF)	2 962	2 927	2 917	-2
N ₂ O	Tous transports	3	4	4	38
(kt)	Total (hors UTCF)	292	191	198	-32
HFC (*)	Tous transports	0	4 913	4 913	ns (*)
(kt eq CO ₂)	Total (hors UTCF)	3 736	16 625	16 644	345

Source : Citepa / rapport Secten - avril 2012

() avant 1990, les transports émettaient un autre gaz réfrigérant que les HFC, non mesuré*

La forte croissance des émissions de HFC depuis 1990 reflète le développement de la climatisation des véhicules, notamment des voitures particulières mais aussi des trains et des véhicules frigorifiques.

La route est à la fois le transport dominant et le principal émetteur.

3.1.1.1. Les émissions de gaz à effet de serre par type de transport

en millions de tonnes d'équivalent CO₂

	1990	1995	2000	2009	2010	2011 (p)
Transports (1)	119,5	129,4	138,7	130,9	133,2	132,5
Routier	112,5	121,6	129,7	123,6	125,1	124,2
Ferroviaire	1,1	0,8	0,8	0,5	0,5	nd
Fluvial	0,9	1,0	1,0	1,1	1,2	nd
Maritime (1)	1,6	1,6	1,5	1,1	1,0	nd
Aérien (1)	3,5	4,4	5,7	4,6	5,4	nd
(Maritime hors bilan) (1)	7,9	7,1	9,4	8,1	7,9	nd
(Aérien hors bilan) (1)	8,5	10,6	14,2	15,9	16,0	nd
Résidentiel / tertiaire	90,2	94,0	96,1	99,6	101,8	85,6
Industrie manufacturière	157,0	151,3	140,8	106,8	111,0	110,4
Industrie de l'énergie	73,4	64,2	68,2	61,6	61,7	53,0
Agriculture/sylviculture	112,7	108,5	111,6	104,0	102,9	104,3
Total hors UTCF (2)	552,8	547,4	555,4	503,1	510,7	485,8
UTCF (2)	-21,0	-30,5	-29,5	-42,0	-38,1	-38,1
Total avec UTCF	531,8	516,9	526,0	461,1	472,6	447,7
(Biomasse hors bilan)	41,7	42,7	39,4	50,9	56,3	56,8

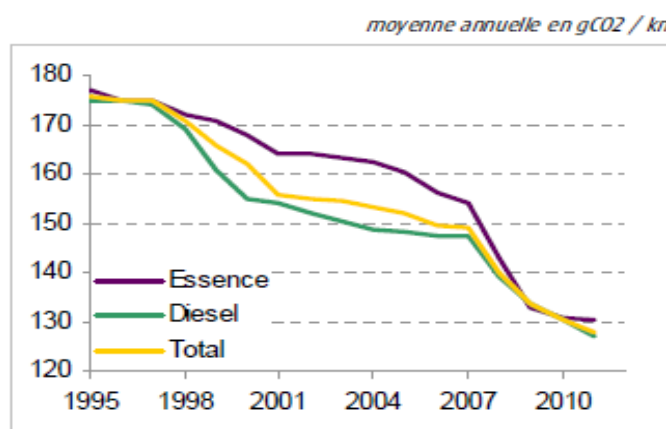
Source : Citepa / rapport Secten - avril 2012

(1) Les bilans d'émissions tiennent compte uniquement de la circulation effectuée avec du carburant acheté sur le territoire et consommé dans l'année.

(2) UTCF : utilisation des terres, leurs changements et la forêt.

Les progrès les plus sensibles enregistrés ont concerné les voitures particulières qui ont modéré leurs émissions unitaires (en partie par la part grandissante prise par le diesel moins émetteur de CO₂ au km), puis par les véhicules lourds grâce à une optimisation des transports ; par contre les émissions des véhicules utilitaires ont augmenté du fait à la fois de la croissance du trafic (+50 % entre 1990 et 2010) et du faible progrès de la consommation unitaire.

Émissions de CO₂ selon le véhicule et la motorisation



Source : S0eS, Ademe

niveaux en millions de tonnes, structure en %

	Niveau 2010 (Mt)	Structure 2010 (%)	Evolution 10/90
Voitures particulières	69,3	57,4	3,9
Diesel	48,4	40,1	216,6
Essence	20,6	17,0	-59,9
GPL	0,3	0,3	129,9
Véhicules utilitaires	21,9	18,1	29,8
Diesel	21,0	17,4	81,5
Essence	0,9	0,7	-83,5
Véhicules lourds	28,0	23,2	5,4
Diesel	28,0	23,2	5,3
Essence	0,0	0,0	177,4
Deux roues	1,5	1,3	157,2
TOTAL	120,7	100,0	9,0
dont Diesel	97,4	80,7	82,3
dont Essence	23,0	19,1	-57,4

Source : Citepa / rapport Secten - avril 2012

Émissions conventionnelles par km des nouvelles voitures particulières

3.1.2. Le lien avec la problématique énergie

Il convient de rappeler l'évolution des consommations d'énergie par secteur dans le domaine des transports :

	Niveaux					évolutions / an		
	1990	2000	2009(r)	2010(r)	2011(p)	2011p/ 2010	2001/ 1992	2011 / 2001
Transports ferroviaires SNCF (3)	0,90	0,93	0,84	0,83	0,83	-0,2	0,3	-1,1
Gazole	0,37	0,26	0,17	0,16	0,16	-0,2	-3,4	-4,7
Electricité	0,53	0,67	0,67	0,67	0,67	-0,3	2,2	0,0
Transports routiers de marchandises	11,85	16,73	14,56	15,18	15,45	1,8	3,1	-0,8
Essence (français)	1,68	0,80	0,34	0,30	0,25	-16,7	-7,0	-10,8
Gazole (tous P.T.A.C.)	10,15	15,89	14,19	14,86	15,17	2,1	3,9	-0,5
P.T.A.C. <= 3,5t (VUL français)	3,23	5,53	6,37	6,65	6,80	2,2	4,2	2,1
P.T.A.C. > 3,5t, français + étrangers	6,92	9,10	7,82	8,20	8,37	2,1	2,3	-0,8
GPLc (VUL français, P.T.A.C. <= 3,5t)	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	-10,5	8,0	-4,8
Gaz naturel véhicules (utilitaires français)	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,0		
Transports urbains de voyageurs	0,28	0,35	0,44	0,45	0,45	1,6	1,9	2,7
Gazole	0,20	0,24	0,26	0,27	0,28	2,2	1,1	1,5
Electricité	0,08	0,09	0,10	0,10	0,10	-0,8	1,3	0,7
Gaz naturel véhicules	0,00	0,00	0,07	0,08	0,08	2,5		
Transports routiers de voyageurs (gazole uniquement)	0,43	0,52	0,61	0,62	0,63	1,1	0,6	2,0
Navigation intérieure (fioul)	0,07	0,06	0,34	0,34	0,35	1,2	-0,6	19,1
Transport maritime (diesel marine, fioul) (1)	2,47	2,92	2,49	2,41	2,59	7,4	0,0	-1,2
Transport aérien (carburacteur, essence aviation) (2)	3,95	6,29	6,36	6,44	6,70	4,0	3,9	0,6
Oléoducs (électricité)	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	-0,8	0,0	-3,5
Transports individuels	21,84	24,77	24,08	24,31	23,93	-1,6	1,5	-0,3
Deux roues	0,19	0,35	0,52	0,52	0,52	0,0	7,5	4,1
Voitures particulières (y compris taxis et VUL étrangers)	21,64	24,42	23,56	23,79	23,41	-1,6	1,5	-0,4
Essence	17,20	13,62	7,97	7,76	7,24	-6,7	-2,3	-6,1
Gazole	4,40	10,58	15,49	15,91	16,04	0,8	8,6	4,2
GPL	0,03	0,22	0,09	0,11	0,13	12,9	22,5	-5,3
Ensemble	41,82	52,61	49,73	50,62	50,96	0,7	2,1	-0,3

Source : SOEs, d'après SOEs, DGEC, CPDP

(1) livraisons en France aux soutes maritimes françaises et étrangères, hors lubrifiants (hors périmètre du bilan de l'énergie)

(2) livraisons en France aux aéronefs français et étrangers

(3) Électricité uniquement de traction et non pas du secteur du transport ferroviaire (valeurs inférieures au bilan de l'énergie).

(p) données provisoires

(r) données révisées

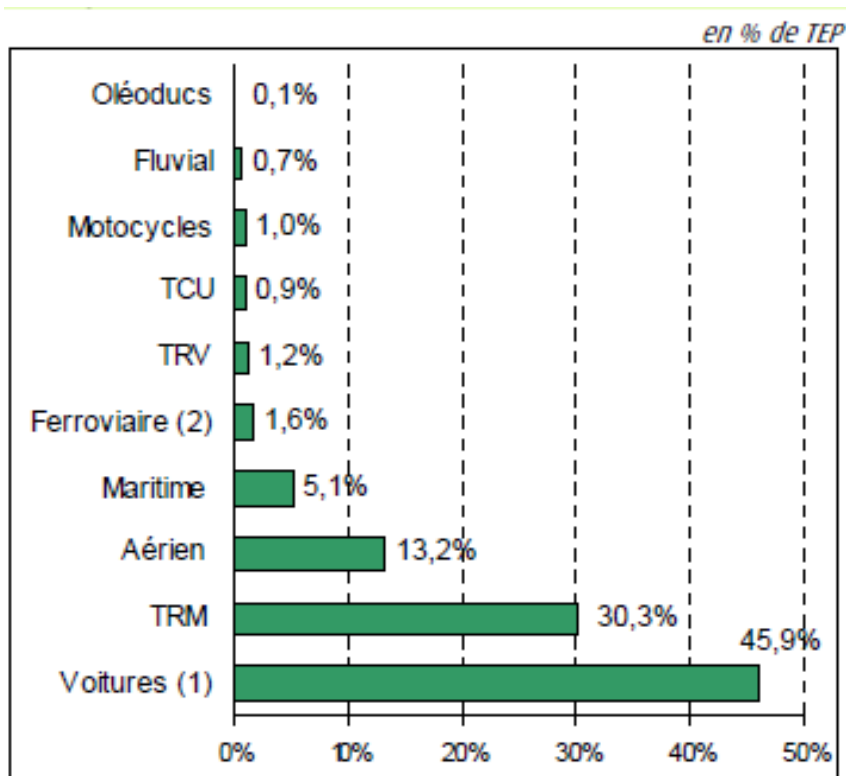
Coefficients d'équivalence : 1 000 kwh électriques = 0,086 tep, 1 t de gazole ou de fioul = 1 tep, 1 000 kwh de gaz naturel = 0,077 tep, 1 t d'essence ou carburacteur = 1,048 tep, 1 t de fioul lourd = 0,952 tep

Le secteur ferroviaire représente 1,6 % des consommations énergétiques, mais seulement 0,4 % des rejets de gaz à effet de serre du secteur des transports, ce résultat étant essentiellement dû aux sources d'énergie électrique en France. Tout accroissement de l'utilisation d'énergies fossiles dans la production d'électricité entraînerait de facto une dégradation de ce résultat.

Par ailleurs, les émissions de CO₂ dues aux bio-carburants des transports ne sont pas comptabilisées comme émissions du transport, car supposées exactement compensées dans l'année par absorption de CO₂ par les nouvelles cultures (cf.8.1. ci-dessous). Elles s'accroissent en 2011 de 11,7 %, après + 14,5 % en 2010.

La répartition des consommations d'énergie par type de transport montre qu'une réduction des émissions suppose de faire porter l'effort prioritairement sur les voitures particulières et le transport routier de marchandises.

Consommations d'énergie de traction en 2011⁷⁶



Source : SOeS, d'après SOeS, DGEC, CPDP

(1) y compris taxis, VP étrangers et VUL étrangers

(2) le mode ferroviaire consomme essentiellement de l'électricité

⁷⁶ TCU : transport collectif urbain.

TRV : transport routier de voyageurs.

TRM : transport routier de marchandises.

3.2. Les travaux de prospective européens et français et les politiques programmées dans les transports

Le secteur des transports représente en 2011 32,1 % de la consommation finale énergétique (50 Mtep sur 155) et 28,4 % des émissions de CO₂ (142 Mt CO₂ éq. sur 498,6). Un certain nombre de travaux récents ont porté sur le secteur des transports :

3.2.1. Le rapport « Prospective 2050 » du CGPC (2006)

La section « Économie et transports » du Conseil général des ponts et chaussées (aujourd'hui Conseil général de l'environnement et du développement durable) a conduit, entre décembre 2003 et décembre 2005, une étude prospective sur les avènements possibles du système des transports à l'horizon 2050 afin d'engager le débat sur l'avenir des transports et nourrir la réflexion des responsables politiques.

Publiée en mars 2006, cette étude dégage trois enseignements essentiels :

- la croissance de la mobilité, tant voyageurs que marchandises, sera ralentie ;
- le développement indispensable des modes alternatifs n'empêchera pas le maintien de la prédominance de la route ;
- de forts progrès techniques des véhicules économes et des carburants propres, incités par une taxe carbone à un niveau approprié, permettraient une division par 2,5 des émissions françaises de CO₂ à l'horizon 2050.

Cette « *Démarche prospective transports 2050* » du CGPC a servi de référence aux nombreux travaux prospectifs réalisés postérieurement dans le domaine des transports et de la mobilité, notamment ceux liés aux questions énergétiques et de réchauffement climatique effectués par le Conseil d'analyse stratégique ou ceux conduits dans le cadre du Programme de recherche et d'innovation dans les transports (PREDIT).

Confrontée aux questions immédiates de la crise économique actuelle et aux orientations de moyen/long terme du Grenelle de l'environnement, la « *Démarche prospective transports 2050* » du CGPC avait permis de dégager quatre priorités d'action, qui restent d'actualité :

- une priorité sociétale : faire évoluer les modes d'organisation des territoires (accès aux services) et les modes de vie quotidiens vers une mobilité plus économe, notamment pour atténuer le choc de prochaines crises pétrolières à court ou moyen terme qui frapperait particulièrement les ménages à revenus modestes résidant dans les territoires à faible densité,
- une priorité industrielle : développer des véhicules économes (en prix et en énergie) et des services de mobilité adaptés aux besoins d'accessibilité de la vie quotidienne,

- une priorité territoriale : mettre à niveau les réseaux d'infrastructures et surtout les systèmes d'exploitation (des routes et des transports collectifs) en Île-de-France et dans les grandes agglomérations urbaines congestionnées,
- une priorité financière : stopper la dégradation des comptes des transports publics et mettre en place des modèles de financement durables de leur fonctionnement.

Les limites de cet exercice tiennent à son aspect résolument sectoriel peu relié aux hypothèses d'évolution de l'aménagement.

3.2.2. Le rapport de la commission énergie du CAS (2007)

Partant notamment de la « *Démarche prospective transports 2050* », la Commission Énergie du Conseil d'analyse stratégique (Rapport du 25 septembre 2007) en avait poursuivi l'analyse en précisant :

- le transfert de 15 milliards de tonnes-kilomètres de la route vers le fer – ce qui représente une augmentation du fret ferroviaire de près de 40 % par rapport à son niveau de 2005 – correspond à une diminution des émissions annuelles de CO₂ de l'ordre de 1 million de tonnes (si le contenu carbone du mix électrique reste constant) ;
- la mise en service de trois autoroutes ferroviaires de 600 kilomètres chacune, soit une circulation de 2 fois 40 navettes par jour (13-14 circulations dans chaque sens pour chaque autoroute), ferait économiser 0,5 million de tonnes de CO₂/an ;
- la mise en service des 1 600 km de lignes ferroviaires à grande vitesse (LGV) décidée par le CIADT de décembre 2003 ferait économiser 0,6 million de tonnes de CO₂/an⁷⁷ ;
- une augmentation de 20 % des usagers des transports en commun dans les aires urbaines de plus de 300 000 habitants ferait économiser 0,5 million de tonnes de CO₂/an ;
- une diminution de 10 km/heure des vitesses maximales autorisées sur les réseaux routiers interurbains ferait économiser 0,3 million de tonnes de CO₂/an.

Ces chiffres, comparés aux 140 Mt de CO₂ éq. émis par les transports, restent modestes.

Le rapport conclut que même avec des actions volontaristes sur des modifications de comportement (une conduite rendue plus économe par l'information et la formation à « l'écoconduite » ; le respect rigoureux des limitations de vitesse en vigueur ; la diminution de la mobilité des personnes, sans remise en cause de la liberté de se déplacer) et une meilleure organisation des secteurs du transport, la réduction à l'horizon 2050 atteindrait un facteur, non pas de 4, mais au mieux de 2,4.

⁷⁷ Le bénéfice ne tient pas compte du CO₂ émis pour la construction des infrastructures.

3.2.3. Le rapport PREDIT du LET et d'ENERDATA

Dans le cadre du programme de recherche du PREDIT, le Laboratoire d'Économie des Transports (LET) et le bureau d'études ENERDATA ont remis un rapport final le 30 avril 2008.

Il constate que la progression de la mobilité « se heurte, ou se heurtera, à des contraintes croissantes » alors que cette progression sert de base à la construction des scénarios classiques (au nom d'un « couplage » supposé entre croissance économique et mobilité).

Les chercheurs concluent à la nécessité d'inflexions plus fortes que celles menées jusqu'à présent, notamment en ce qui concerne la poursuite d'une vitesse moyenne croissante et d'une maîtrise des coûts pour le consommateur.

Ils construisent ainsi trois familles de scénarios (qu'ils dénomment « Pégase », « Chronos » et « Hestia ») :

- les scénarios dits « Pégase » sont des scénarios tendanciels reprenant les hypothèses centrales de la « *Démarche prospective transports 2050* » : une hausse de mobilité entre 2000 et 2050 de 42 % pour les passagers et de 61 % pour les marchandises et au mieux une diminution des émissions de GES d'un facteur de l'ordre de 2 pour les passagers et de 1,4 pour les marchandises. Le facteur 4 ne pourrait être approché que dans l'hypothèse d'un saut technologique majeur permettant l'utilisation massive de l'hydrogène, cet hydrogène devant de plus être produit sans émission de GES. Les chercheurs en déduisent que « la moitié de l'effort pour arriver au facteur 4 relève de la maîtrise de la demande et de l'optimisation du système de transport » ;
- les scénarios dits « Chronos » supposent des contraintes accrues sur la vitesse (moins 20 % en moyenne, ce qui présuppose la fin du couplage constaté jusqu'à présent de la croissance du PIB et des vitesses de déplacement) et sur les usages de la route, et un développement important des péages et des taxes carbone. Ces scénarios, avec une progression des trafics limitée à 35 % pour les passagers et de 61 % pour les marchandises, permettent d'atteindre le facteur 4 au prix de contraintes fortes :
 - x sur les marchandises avec un fort développement du ferroutage ou une diminution drastique de l'usage de la voiture (divisé par 4) si le développement du ferroutage était limité à 2 % ;
 - x sur la croissance et l'investissement, avec « un risque accru de baisse de la contribution relative de ces acteurs au PIB » et supposent un fort investissement dans les transports collectifs ;
- les scénarios dits « Hestia » supposent des changements radicaux dans l'organisation de la production et de la consommation ainsi que dans les modes de vie ; ils permettent d'atteindre le facteur 4 par des mécanismes qui imposent de nouveaux arbitrages sur les localisations des ménages et des activités dans le sens d'une réduction des temps de parcours, permettant de limiter strictement le développement des trafics entre 2000 et 2050 à 13 % pour les passagers et 21 % pour les marchandises, avec de plus un fort développement des transports collectifs et alternatifs.

Dans tous les cas, il paraît nécessaire aux chercheurs de diminuer la vitesse et freiner le développement de la mobilité, ainsi que d'augmenter de façon sensible le coût du transport pour l'utilisateur.

3.2.4. Le rapport « *Global Chance* »

L'agence française de développement a publié en septembre 2009 un rapport de Benjamin Dessus de Global Chance sur « *Les transports face aux défis de l'énergie et du climat* ». Sur la base des scénarios décrits ci-dessus le chercheur développe un « plaidoyer pour la relocalisation », soit une mise en œuvre volontariste des scénarios de type « Hestia ».

3.2.5. Le rapport TRANSvisions « *on Transport Scenarios with a 20 and 40 Year Horizon* »

La volumineuse (plus de 900 p.) étude TRANSvisions « *on Transport Scenarios with a 20 and 40 Year Horizon* » établie à la demande de la Commission européenne en mars 2009 rassemble un corpus considérable de données et explore 3 scénarios pour la période 2005-2030 qui diffèrent par leurs perspectives de croissance. Ces scénarios se ramifient pour la période 2030-2050.

Aucun des scénarios envisagés n'atteint le « facteur 4 » sans de très importants changements dans les comportements.

3.2.6. Le rapport du CGEDD sur l'évolution du fret terrestre à l'horizon de 10 ans

Le rapport sur « *L'évolution du fret terrestre à l'horizon de 10 ans* », établi en juillet 2010 par René Genevois et Alain Gille du Conseil général de l'environnement et du développement durable, analyse les perspectives d'un développement des transports terrestres de fret non routiers. Après avoir rappelé le déclin du fret ferroviaire constaté au cours des dernières années, le rapport indique que la relance des modes non routiers, et du ferroviaire en particulier, est une « œuvre difficile, lourde, qui prendra du temps ». Il considère qu'à l'horizon 2020, « ce serait un très beau succès, partant des 12,6 % de 2006, de voir la part du fer et fluvial renouer avec la croissance et atteindre, non pas l'ambition des 25 % du Grenelle 1, mais quelque 16 à 17 % ».

3.2.7. Le rapport PREDIT de Samarcande Études et Conseil

Dans le cadre du PREDIT, la société Samarcande Études et Conseils (rapport non daté du premier semestre 2012) a établi « *Cinq scénarios pour le fret et la logistique en 2040* », faisant suite à un travail précédent « *Prospective fret 2030* ».

Ces scénarios établissent, à partir d'hypothèses d'évolutions économiques mondiales et européennes contrastées, les parts modales prévisibles des différents modes de transport, Route, Fer et Voie d'eau.

La part de la route passerait de 85 % en 2002 à, suivant les scénarios, 67 % à 90 % en 2040.

Les analyses prospectives ont mis en évidence les potentialités de développement des modes non routiers rapides sur les trajets à longue distance, mais aussi la sensibilité de ce potentiel de croissance à des facteurs de prix et à des facteurs culturels de choix de consommation et de loisirs.

De même tous les scénarios supposent un développement très important des transports en commun, alors que la question du financement des transports collectifs (investissement et surtout fonctionnement) est doublement préoccupante, avec l'augmentation récurrente des coûts de fonctionnement et avec la contraction prévisible des budgets publics.

Une étude prospective, menée par le Laboratoire d'économie des transports de Lyon en 2008, dans le cadre du PREDIT, montrait une tendance, au fil de l'eau, à l'augmentation des besoins de financement public des transports en commun urbains de l'ordre de 60 à 75 % sur dix ans.

La crédibilité des scénarios visant à diminuer d'un facteur 4 la contribution des transports terrestres aux émissions des gaz à effet de serre, au regard non seulement de leur acceptabilité sociale, mais surtout des contraintes financières et budgétaires, reste, de ce point de vue, à approfondir. En effet, une stagnation du PIB entraîne mécaniquement une diminution relative des recettes fiscales disponibles alors que les coûts d'exploitation des systèmes collectifs croissent.

3.2.8. La politique des biocarburants

Depuis 2003, la politique européenne des énergies renouvelables comprend un volet biocarburants⁷⁸, afin notamment de réduire les émissions de GES des transports routiers. Ce volet a fixé des normes techniques, l'objectif d'incorporation à atteindre (5,75 % en 2010, puis 10 % d'énergies renouvelables en 2020), autorisé la défiscalisation des biocarburants et précisé leurs critères de durabilité, notamment la réduction d'au moins 35 % des émissions de GES liées à leur utilisation. En 2010, l'Union a incorporé 13,9 Mtep de biocarburants, atteignant un taux de 4,7 %⁷⁹(soit une réduction d'au moins 1,6 % des émissions par rapport au tout fossile toutes choses égales par ailleurs). La France a atteint le taux de 7 %⁸⁰. Selon les analyses en cycle de vie (ACV) publiées en 2011⁸¹, les biocarburants français réduisent les émissions de 50 % à 70 % par rapport aux carburants fossiles⁸², ce qui situe la baisse des émissions entre 3,5 % et 4,9 %. Le coût de la tonne CO₂ év. évitée se situerait d'après le rapport de la Cour des comptes de 2012, entre 186 et 347 euros pour l'éthanol de betterave, et entre 263 et 347 euros pour le biodiesel de colza.

Toutefois, bien que ce débouché soit limité dans la consommation mondiale des produits (ex : 2 % pour l'huile de palme et 7 % pour l'huile de soja en 2010), de très nombreuses études mentionnent un bilan moins favorable, voire défavorable, lorsque les biocarburants sont issus de terres ayant subi un changement d'affectation des sols (CAS) direct ou indirect : déforestation, assèchement et mise en culture de tourbières,

⁷⁸ Directives européennes 2003/17/CE, 2003/30/CE et 2003/96/CE, 2009/28/CE.

⁷⁹ UE éthanol 39Mhl produits, 43Mhl consommés, biodiesel 90Mhl produits, 121 Mhl consommés.

⁸⁰ F éthanol 12,5 Mhl produits, 8,97 Mhl consommés, biodiesel 20Mhl produits, 27,25 Mhl consommés.

⁸¹ ADEME et France Agri Mer.

⁸² Toutefois le calcul devrait, selon le rapport CGEIET CGAAER CGEDD réévaluer les émissions fossiles, trop anciennes.

etc. En France, selon l'ADEME, le CAS direct serait limité à 100.000 ha, issus à 90 % de jachères, et l'impact du CAS direct et indirect lié aux usages biocarburants représentant moins de 1,9 % des surfaces déforestées annuellement en Malaisie Indonésie, Brésil et Argentine. Il est très difficile d'évaluer la robustesse des études publiées faute de références sur les données et les hypothèses.

Pour l'avenir, la Commission a proposé en octobre 2012 une modification des directives qui permettrait de limiter l'incorporation à 5 %, d'exiger pour les installations futures des gains d'émissions de 50 à 60 %, et de faire compter double ou quadruple des biocarburants considérés comme « avancés », à déterminer. Au plan national, il a été décidé fin 2012 de limiter le taux d'incorporation à 7 %, en complétant avec des biocarburants de 2e génération pour atteindre l'objectif communautaire de 10 % d'énergies renouvelables, et de mettre fin progressivement au soutien public à échéance du 31 décembre 2015.

3.3. Les coûts d'abattement

3.3.1. Les travaux connus

Dans une note de mai 2008 sur les prix de référence du CO₂, Dominique Bureau rappelle que « tout scénario de réduction sensible des émissions implique, pour le secteur des transports, des modifications structurelles qui ne peuvent être évaluées correctement si l'ampleur des transformations, et l'existence des distorsions préexistantes ne sont pas prises en compte ».

Par ailleurs les modèles développés dans le but d'analyser les politiques énergétiques en relation avec leurs impacts environnementaux et en particulier ceux liés à l'effet de serre, tels le modèle GEMINI-E3 développé en France, permettent d'étudier des coûts d'abattements dans la consommation d'énergie, mais ne permettent pas de les isoler dans le secteur des transports.

Enfin les études publiées portent essentiellement sur les coûts d'abattement de substitution d'énergies plutôt que sur les politiques intermodales ou de rationalisation des transports ou de modification des comportements : tel est ainsi le cas de l'« étude prospective sur la seconde génération de bio-carburants » de Alba Departe publiée dans les « Cahiers de la Direction générale du Trésor » qui aboutit aux résultats suivants :

<i>Procédés</i>	<i>H₂ – BIOM</i>	<i>H₂ – ELEC</i>	<i>H₂ – GAZ</i>
Source d'énergie pour la synthèse de H ₂	Biomasse	Electricité décarbonée	Méthane
Coût de production (€/GJ de gazole de synthèse)	26,03	26,97	23,38
Coût d'abattement de la tonne de CO ₂ (€/tCO ₂ éq)	239 (137-435)* 168 (97-307)*	212 (122-380)*	279 (169-537)*

* : Estimations à partir des données de l'étude RENEW (2006).

: Estimations à partir des données de l'étude JRC (2007).

Estimations des coûts d'abattement des différentes technologies (bornes inférieures et supérieures obtenues par l'analyse de sensibilité fournies entre parenthèses)

Les écarts de sensibilité restent très importants et montrent toutes les incertitudes demeurant en la matière, indépendamment même des autres problèmes que peuvent engendrer certaines substitutions.

L'analyse du bonus-malus automobile réalisée en mai 2010 par le Commissariat général au développement durable a estimé à 1,9 million de tonnes de CO₂ (Mt CO₂) évitées en 2008 et 3 Mt CO₂ en 2009, résultant de la baisse des consommations de carburants, mais a souligné un effet rebond d'accroissement de certains déplacements entraînés par une diminution des coûts unitaires. Il n'a toutefois pas été possible d'en déduire un réel coût d'abattement propre à la mutation du parc automobile.

3.3.2. Le champ de l'inconnu

Il existe une réelle difficulté à quantifier des liens de causalité entre les politiques des transports et les comportements des usagers comme l'ont encore montré, il n'y a pas très longtemps, des polémiques entre économistes sur le bilan du tramway des boulevards des Maréchaux à Paris. La municipalité a mené une politique active de développement des tramways, des couloirs bus, et des vélos en libre service, avec corrélativement une diminution sensible des places de stationnement, tandis que le coût d'utilisation de la voiture particulière croissait fortement avec l'augmentation du prix des hydrocarbures. On constate simultanément une diminution sensible de la circulation (sur dix ans, entre 1998 et 2008, diminution des déplacements de 8 % sur le boulevard périphérique et de 27 % à Paris intra-muros), mais sans pouvoir imputer cette baisse à l'une ou l'autre des causes pré-citées.

Dans le cas très significatif de l'électrification d'une ligne ferroviaire qui permet de diminuer sensiblement les émissions de gaz à effet de serre compte tenu de la faible part d'énergie fossile dans la production d'électricité en France, l'analyse économique prend à la fois en compte des améliorations de circulation sur la ligne, une meilleure fiabilité, voire des gains de temps, en prenant des valeurs forfaitaires pour les gains liés aux gains environnementaux, sans que puisse être véritablement isolé un coût d'abattement propre à l'électrification de lignes existantes.

Pour atteindre une diminution très sensible des émissions dans le secteur des transports, les scénarios ont montré qu'étaient nécessaires de profonds changements de comportements ; si des « signaux prix » peuvent s'avérer particulièrement utiles, les décisions récentes de modération des coûts des carburants pour tenir compte des difficultés rencontrées par de très nombreux ménages ont montré que de tels « signaux » devaient être accompagnés d'autres mesures. Il en est de même pour les difficultés rencontrées dans le cadre des conditions de répercussion sur les chargeurs de l'écotaxe poids-lourds.

L'isolement d'un coût d'abattement propre aux différents secteurs de transport s'avère dans ce contexte particulièrement difficile, et c'est sans doute la raison pour laquelle il n'a pas réellement prospéré dans les études menées par les économistes.

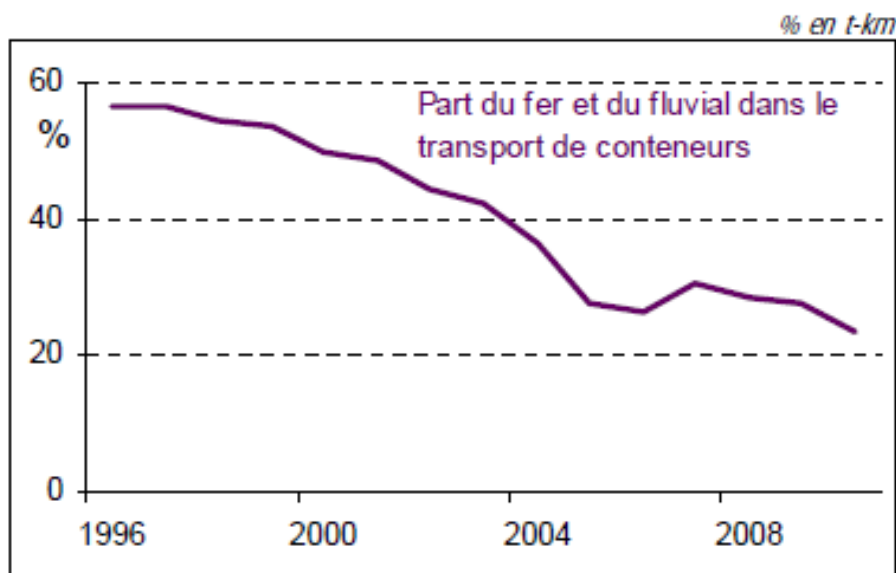
3.4. Problématique par sous-secteur

3.4.1. Le transport longue distance marchandises

La part de la route dans le transport terrestre de marchandises reste totalement prépondérante (84 %) ; viennent ensuite le fer (9 %), en constante diminution depuis 2000, avec une légère progression entre 2010 et 2011, les oléoducs (5 %) et enfin la voie fluviale (2 %).

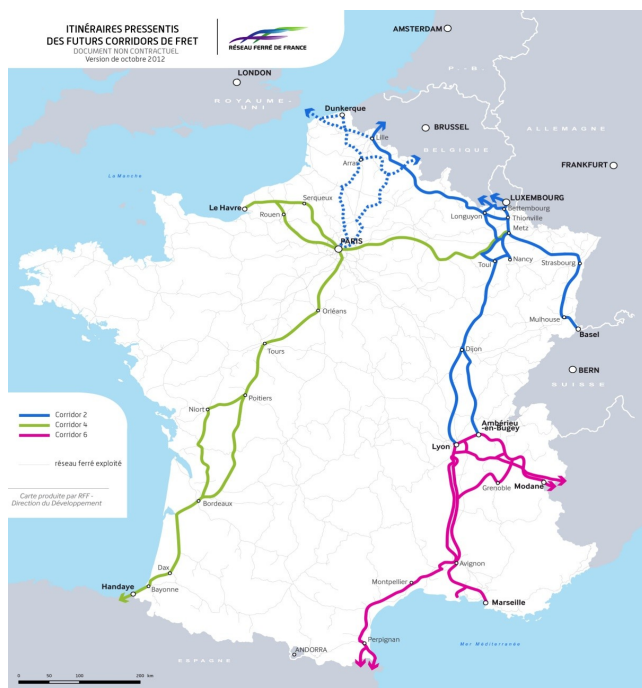
Cette part de la route (88 % hors oléoducs) est très supérieure à la moyenne constatée dans l'Union européenne (76,5 % pour la route ; 17,5 % pour le fer et 6 % pour le fluvial). Un rééquilibrage modal en France reste donc un enjeu majeur même si la prospective menée par la Commission européenne (modèle iTren) considère que la distance moyenne du fret ferroviaire devrait avoir tendance à augmenter pour passer de 272 km en 2005 à 330 km en 2020 et 373 km en 2030.

L'accent devrait d'abord être mis en la matière sur le transport combiné et notamment sur les conditions d'exploitation des plateformes pour enrayer la chute continue de la part du fer et du fluvial dans le transport de conteneurs, qui ont très peu participé à l'essor de ce trafic.



Sources : SOeS, VNF ; hors TRM sous pavillon étranger

Ensuite, l'accent devrait être mis sur les corridors européens de fret intéressant la France et sur les autoroutes ferroviaires qui devraient devenir une réelle priorité de l'opérateur historique.



Enfin, il convient de ne pas négliger les avantages pouvant continuer à être apportés par des améliorations des chaînes logistiques permettant d'optimiser, voire de diminuer certains transports ; et par l'amélioration des émissions des poids-lourds et véhicules utilitaires légers.

L'utilisation par les poids-lourds d'une autoroute par rapport à une autre route comportant de nombreux giratoires peut entraîner des diminutions de consommation de plus de 3 litres de carburants aux 100 km, donc diminuer les rejets correspondants.

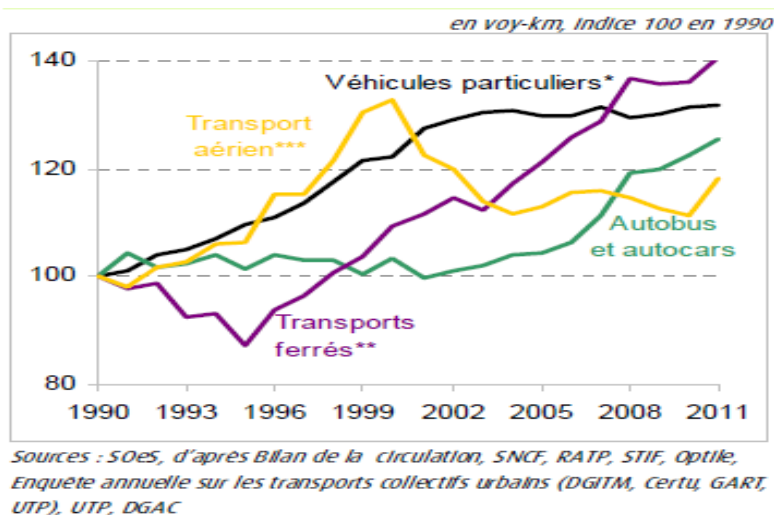
Ainsi, le report modal est à promouvoir, mais d'effet limité. On doit attendre l'essentiel des économies de progrès dans le rendement des véhicules et peut-être d'évolutions de volumes de trafic : rapprochement des lieux de production et de consommation, essoufflement du « juste-à-temps » industriel, favorisées par des augmentations significatives des coûts de transports. La mission a trouvé peu de réflexions exploratoires sur ces sujets.⁸³

7. Développer la recherche sur les composantes de la demande de transport de marchandises à longue distance et sur ses déterminants.

3.4.2. Le transport longue distance de personnes

Les progrès des transports publics de voyageurs, notamment ferroviaires ont été considérables. Les graphiques ci-après comprennent les transports urbains, mais sont très significatifs.

⁸³ Par convention, nous attribuons l'effet du développement des biocarburants dans les transports au secteur « Agriculture UTCTF ».



Les transports ferroviaires ont bénéficié des progrès induits par les trains à grande vitesse et le renouveau des trains express régionaux (TER). Il convient de noter qu'en 2010 et 2011 les grandes lignes classiques se stabilisent après dix ans de décroissance.

Après l'accent mis sur les lignes nouvelles, la poursuite des progrès enregistrés suppose un effort conséquent sur la qualité de service des lignes traditionnelles, la poursuite de la réduction des consommations unitaires des véhicules, voire le développement de nouveaux concepts de véhicules partagés.

3.4.3. Les transports périurbains

Le rapport du groupe de travail du Conseil d'analyse stratégique du 7 février 2012 présidé par Olivier Paul-Dubois-Taine sur « les nouvelles mobilités dans les territoires périurbains et ruraux » fait notamment les recommandations suivantes :

- aider les communautés de communes et les agglomérations, ainsi que les pôles d'activité qui le souhaitent (universités, centres commerciaux), à définir des stratégies de mobilité adaptées à leur territoire, en partant de la compréhension locale des flux de déplacements et en prenant en compte le cadre plus global du schéma départemental de transport et de ses liaisons avec les pôles urbains voisins ;
- apporter à l'utilisateur une information en temps réel, afin qu'il puisse organiser ses déplacements en combinant les transports collectifs et individuels (marche à pied, deux-roues, voiture personnelle ou partagée) ;
- coordonner les services de transport collectif, avec des rabattements performants vers les gares routières ou ferroviaires (itinéraires cyclables, parkings de covoiturage), pour une chaîne de transport porte à porte efficace ; affecter à ces rabattements environ 10 % des dépenses annuelles de voirie ;
- s'appuyer sur l'information numérique pour développer le partage de la voiture et notamment des solutions de covoiturage sécurisées reposant sur un tiers de confiance et un suivi géolocalisé du déplacement ;

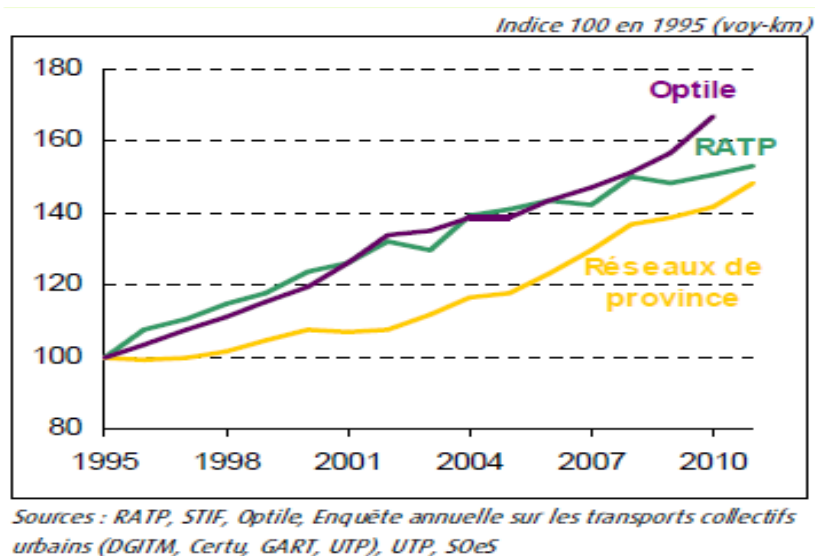
- limiter les distances parcourues en incitant les professionnels des services à la personne (commerces, santé, loisirs, etc.) à coordonner leurs déplacements, leurs livraisons ou le transport des personnes leur rendant visite ;
- susciter les initiatives des acteurs locaux (entreprises, associations, territoires de vie) afin de multiplier les expérimentations de nouveaux services de mobilité, dans le cadre des stratégies de « management de la mobilité » des communes et groupements de communes.

Il s'agit de mesures peu coûteuses visant à engager un processus de changement des comportements.

3.4.4. Le transport courte distance et les usages urbains

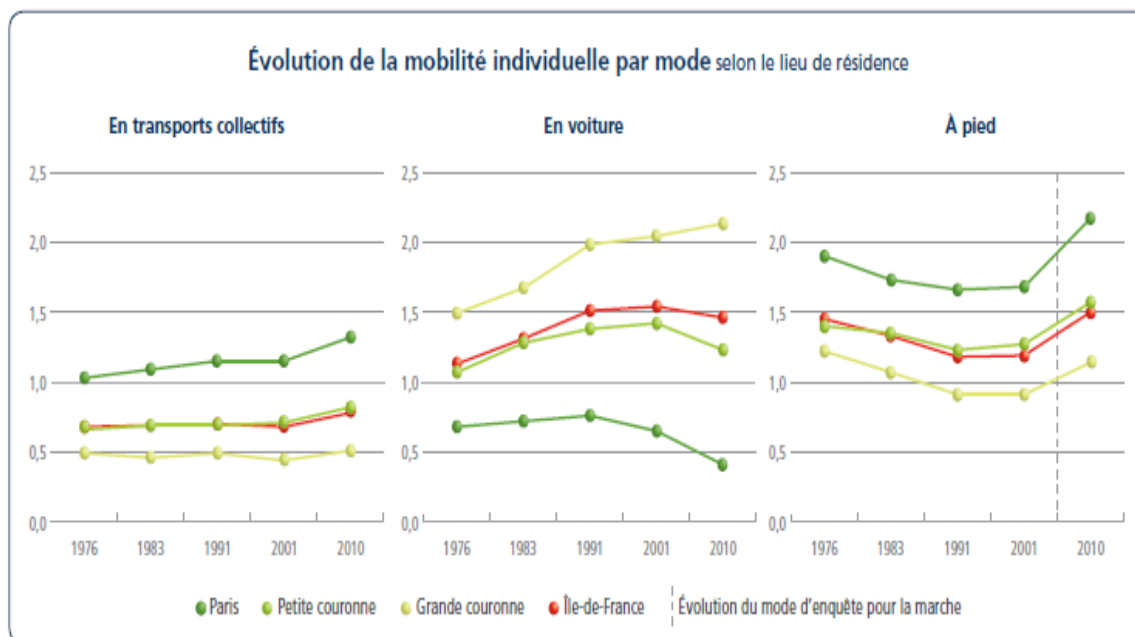
Les émissions dues aux déplacements en centre-ville pèsent peu (les distances sont courtes, les modes « doux » et les transports en commun se développent...) et les villes savent les réduire (- 27 % de circulation automobile à Paris en dix ans). La majorité des kilomètres parcourus en véhicule individuel et donc la majorité des émissions correspondent en fait à des trajets reliant deux points de la périphérie ou la périphérie au centre. En effet, la motorisation électrique⁸⁴ est susceptible d'apporter de grands bouleversements dans ce créneau, à la fois dans les types de véhicules, dans la structure des services de déplacement (cf. « Autolib »), et dans les régimes de production et d'utilisation de l'électricité (cf. infra 8.3. « l'énergie 2.0 »). La « décarbonation » de ce créneau ne semble pas présenter de limite à long terme. Seul le rythme de déploiement de ces solutions est encore très incertain.

8. Favoriser les nouveaux services de mobilité décarbonée, notamment dans l'habitat diffus.



⁸⁴ D'abord grâce aux batteries électrochimiques, puis peut-être grâce au « cycle hydrogène ».

Les transports en commun urbains ont connu des progrès très significatifs, autant pour la RATP que pour le réseau de bus « Optile » d'Île-de-France ou les réseaux de province. On constate donc des résultats encourageants quant aux modes de déplacement dans les grandes villes et notamment à Paris ainsi que le montre les derniers résultats d'évolution de la mobilité en Île-de-France.



Source : Enquête globale Transport sur la mobilité en Île-de-France – septembre 2012

Il n'en reste pas moins que l'étude menée dans le cadre du PREDIT par le Laboratoire d'économie des transports en septembre 2008 sur la « *Prospective pour un financement durable des transports publics urbains* » fait apparaître un réel risque quant aux capacités financières des collectivités locales à développer, voire simplement à maintenir la qualité de service actuelle.

Par ailleurs, les démarches se multiplient visant à développer des recherches, des expérimentations, voire des réalisations sur de nouveaux modes de distribution des marchandises en ville, et la redécouverte des magasins de proximité ou des lieux de dépôt de marchandises commandées sur internet.

Il apparaît donc que c'est sans doute dans les grandes métropoles que les diminutions les plus sensibles peuvent être escomptées à court et moyen termes, sous la réserve effectivement d'un effort conjoint accepté.

3.4.5. Synthèse du secteur des transports

Même si des efforts continus et soutenus doivent continuer à être faits pour rééquilibrer les partages modaux de transport de marchandises, et pour développer les transports en commun et les modes « doux » dans les agglomérations, l'enjeu majeur reste la diminution des rejets unitaires des transports par route et des

changements de comportements permettant de minimiser l'impact des transports les plus polluants.

C'est dire l'importance à accorder au développement de la recherche sur les véhicules à très faible consommation qui devrait concerner non seulement les voitures particulières, mais également les véhicules utilitaires légers, voire les poids-lourds.

4. Le secteur de l'industrie

4.1. La situation et la prospective dans l'industrie

4.1.1. La baisse des émissions de GES entre 1990 et 2010 dans l'industrie manufacturière

Le CITEPA enregistre les émissions polluantes depuis les années 70. Les secteurs industriels contribuent aux émissions de presque tous les GES de façon très diverse, certaines étant spécifiques.

En 2010, les émissions du secteur de l'industrie manufacturière représente 21,7 % des émissions totales de la France métropolitaine hors UTCF alors qu'en 1990, elles en représentaient 28,4 %⁸⁵.

PRG		EMISSIONS EN FRANCE METROPOLITAINE	
Source CITEPA / format SECTEN - avril 2012		secten_90-xx-d.xls	
Mt CO ₂ e = 10 ⁶ t CO ₂ e		1990	2010
Chimie		55,3	26,2
CO ₂ biomasse hors bilan		0	0,0
Construction		3,4	3,5
CO ₂ biomasse hors bilan		0	0
Biens d'équipements, matériels de transport		5,4	4,7
CO ₂ biomasse hors bilan		0	0
Agro-alimentaire		8,4	11,2
CO ₂ biomasse hors bilan		0,2	1,3
Métallurgie des métaux ferreux		23,8	16,0
CO ₂ biomasse hors bilan		0	0
Métallurgie des métaux non-ferreux		7,2	2,4
CO ₂ biomasse hors bilan		0	0
Minéraux non-métalliques, matériaux de construction		29,9	22,7
CO ₂ biomasse hors bilan		0	0
Papier, carton		5,1	3,5
CO ₂ biomasse hors bilan		6,2	6,3
Traitement des déchets		12,0	18,2
CO ₂ biomasse hors bilan		0	0
Autres industries manufacturières		6,4	2,5
CO ₂ biomasse hors bilan		0,6	2,5
Bilan Industrie manufacturière (a)		157,0	111,0
CO₂ biomasse hors bilan (b)		7,0	10,1
(a) Bilan secteur net hors émissions CO ₂ des énergies renouvelables, en particulier issues de la biomasse.			
(b) CO ₂ issu de la combustion de la biomasse, hors bilan CO ₂ du secteur.			

⁸⁵ Mesurées en pouvoir de réchauffement global (PRG), soit en t CO₂ éq.

Concernant la biomasse, les émissions sont comptabilisées hors total national. Entre 1990 et 2010, les émissions induites par la biomasse ont connu une forte augmentation (+ 45,6 %, soit + 3,1 Mt CO₂ éq.) suite au recours accru au bois en tant que combustible.

Au total, il faut saluer une baisse de 29,3 % (- 46 Mt CO₂ éq.) des émissions de GES du secteur industriel sur la période 1990-2010. La hausse des émissions entre 2009 et 2010 (+ 3,9 %, soit + 4,1 Mt CO₂ éq.) fait suite à la reprise économique après une forte baisse du PRG (- 11,9 %, soit - 14,5 Mt CO₂ éq. sur la période 2008/2009).

4.1.2. Les prévisions d'évolution des émissions dans l'industrie

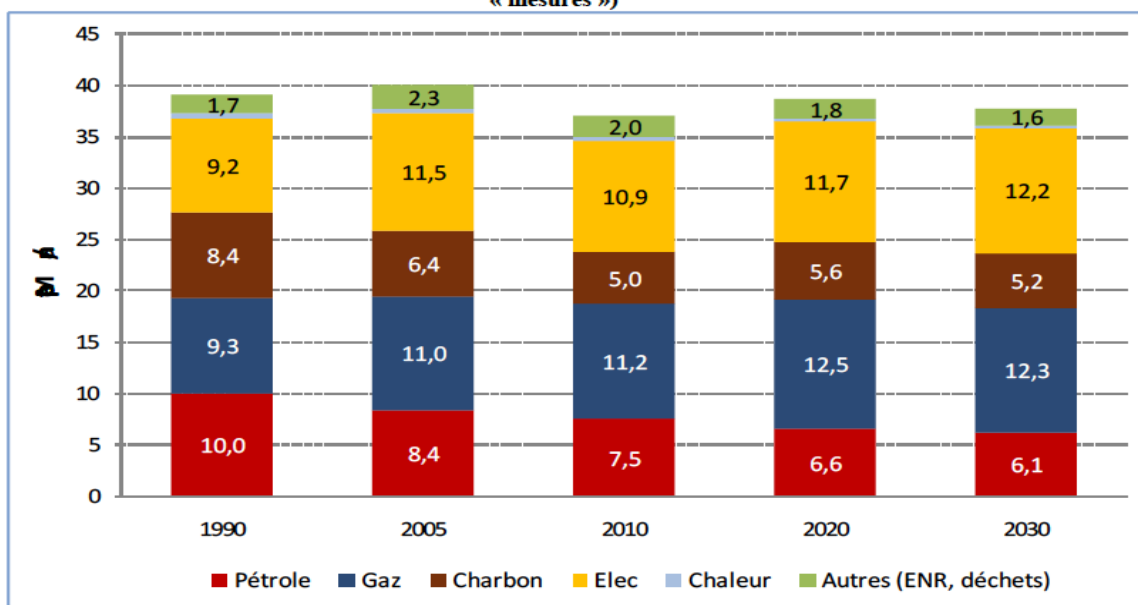
Plusieurs exercices ont été conduits.

4.1.2.1. « Scénarios prospectifs Énergie – Climat – Air à horizon 2030 »

La DGEC a produit des « Scénarios prospectifs Énergie – Climat – Air à horizon 2030 » publiés en juillet 2011⁸⁶.

Le premier scénario suit une trajectoire tendancielle intégrant les effets escomptés des mesures effectivement prises en 2010 à sa date d'élaboration. Un second scénario prend en compte l'atteinte des objectifs fixés à l'horizon 2020 (-38 % de la consommation d'énergie dans le bâtiment par exemple).

Figure 10 : Composition de la consommation énergétique de l'industrie (usages énergétiques, scénarios « mesures »)



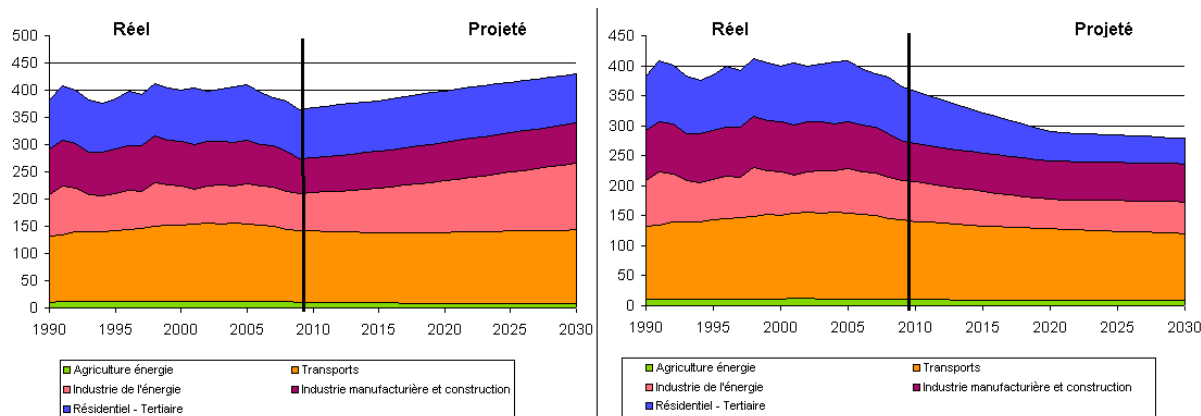
Source : Enerdata, Modélisation Med-Pro

Dans un tel scénario qui prend en compte les mesures décidées lors du Grenelle, les émissions de GES de l'industrie restent stables d'ici 2030 comme ses consommations d'énergie.

⁸⁶ La synthèse est téléchargeable sur :

http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/11-0362_5A_ET_note_synthese_sc_pros_v3.pdf

La synthèse de ces travaux fournit une représentation graphique des évolutions des émissions de gaz à effet de serre de l'industrie, dans le scénario Pré-Grenelle (à gauche) et dans le scénario Grenelle (à droite), en Mt CO₂ éq..



4.1.2.2. Le rapport « Christian de Perthuis »

D'une tout autre nature est l'exercice conduit par Christian de Perthuis dans le cadre de son rapport « *Trajectoires 2020-2050 vers une économie sobre en carbone* » rendu au début 2012, déjà cité (cf. 2.5.1.4.). Il part de l'objectif du facteur 4 en 2050 et travaillant en *backcasting*, il recherche les itinéraires susceptibles d'y conduire à l'aide de tous les potentiels de réduction d'émissions techniquement accessibles. La volonté affichée est de montrer que l'objectif est techniquement atteignable. Il est donc normal que le rapport retienne délibérément les études qui révèlent les potentiels de réduction les plus élevés (étude CEREN (complément p. 61), étude WWF – E&E 2011 (compléments p. 62)). Concernant les réductions d'émissions de GES dans l'industrie, il faut noter que le rapport prévoit une contribution de la capture et séquestration du carbone (CSC) dès 2020, qui devient importante en 2030 et atteint 40 % de la diminution escomptée des émissions entre 2010 et 2050. À elle seule, cette option explique l'essentiel de la différence de perspective d'évolution des émissions de GES avec les projections de la DGEC.

À plus de 82 %, souligne opportunément le rapport, les émissions du secteur de l'industrie manufacturière et de la construction concernent des installations soumises au système européen d'échange de quotas de CO₂, avec pour caractéristique importante leur concentration sur moins de 30 grandes installations fortement émettrices, dans la sidérurgie, le ciment, la pâte à papier, le verre, etc. Ces secteurs sont par ailleurs exposés à la compétition internationale et il faut en permanence veiller à ce que les réductions d'émission n'entraînent pas une désindustrialisation.

Pour le secteur industriel, le rapport retient une cible de réduction d'émission de 85 % à l'horizon 2050. Compte tenu des réductions réalisées entre 1990 et 2011, cela représente un effort supplémentaire de 50 % (environ 45 Mt CO₂), pouvant être obtenu à hauteur de 30 % par la poursuite des gains d'efficacité énergétique, de 30 % par de la récupération énergétique et du recyclage et de 40 % par la diffusion des technologies innovantes de type captage et stockage de CO₂.

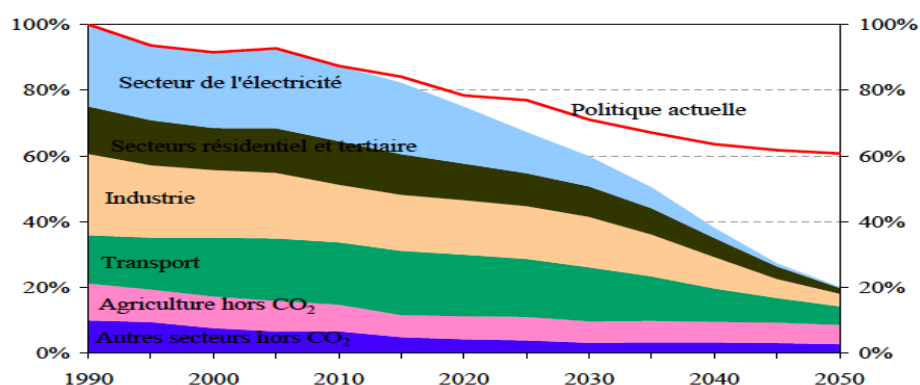
Le rapport retient deux grands enjeux pour la réduction des émissions de l'industrie : d'une part la visibilité et la prévisibilité du signal prix du carbone et d'autre part le renforcement de la compétitivité.

4.1.2.3. La « Feuille de route » européenne de 2012

Dans les exercices prospectifs concernant les émissions de GES, il convient de mentionner la Communication de la Commission européenne du 8 mars 2011 « *Feuille de route vers une économie compétitive à faible intensité de carbone à l'horizon 2050* » (COM (2011) 112 final). Elle affiche l'ambition de guider l'action de l'UE jusqu'en 2050, pour lui permettre de réduire ses émissions de gaz à effet de serre dans le cadre de l'objectif convenu de 80 à 95 %. Elle définit des objectifs intermédiaires qui permettront de savoir si l'UE est en bonne voie pour atteindre son but, relever les défis politiques et réagir aux besoins et aux possibilités qui se présentent en matière d'investissement dans divers secteurs, en gardant à l'esprit que l'objectif de réduction de 80 à 95 % devra largement être réalisé à l'intérieur de l'UE.

La feuille de route suggère qu'une réduction des émissions internes de l'ordre de 40 % et 60 % par rapport aux niveaux de 1990 d'ici 2030 et 2040 respectivement serait la solution ayant un bon rapport coût-efficacité. Elle suppose aussi des réductions de 25 % en 2020. Cela correspondrait à des réductions annuelles, par rapport à 1990, de l'ordre de 1 % (de la valeur initiale) les dix premières années jusqu'en 2020, de 1,5 % les dix années suivantes jusqu'en 2030 et de 2 % (soit de 4 à 8% de la valeur du moment) les vingt suivantes jusqu'en 2050. L'effort fourni augmenterait avec le temps à mesure que des technologies d'un bon rapport coût-efficacité verraient le jour.

Figure 1: Émissions de GES dans l'UE –Vers une réduction des émissions internes de 80 % (100 % = 1990)



4.2. Quelle logique économique ?

Le secteur industriel est le lieu privilégié du raisonnement économique, où le signal prix, quel qu'en soit sa forme (taxe, quotas...), prend en principe toute son efficacité (une fois fait la part de la réglementation et des normes),

4.2.1. L'influence constatée des permis d'émission

4.2.1.1. Le système communautaire d'échange de quotas d'émissions (SCEQE)

Les émissions industrielles de gaz à effet de serre sont principalement constituées de gaz carbonique. Dans le cadre de la CCNUCC et du Protocole de Kyoto, l'UE a décidé

d'un système de quotas d'émissions négociables (EU ETS en anglais). Ce système couvre un peu plus de 40 % du total des émissions dans l'UE. Il couvre les émissions de gaz carbonique (CO₂) des installations grosses émettrices telles que les centrales électriques et les chaufferies, les raffineries de pétrole, les productions de métaux ferreux, de ciment, de chaux, de verre, de matériaux céramiques et de papier.

La contribution des secteurs couverts par EU ETS en vue d'atteindre l'objectif de Kyoto de chaque pays a été déterminé dans un plan national d'allocation de quotas (PNAQ ou NAP – *National Allocation Plan*) qui fixe une limite légale des émissions de ces secteurs pour la période 2008-2012 (seconde période d'application du Protocole). Il convient de noter qu'en attribuant des quotas d'émissions aux secteurs couverts par EU ETS, les États membres déterminent indirectement la limite des émissions de leurs secteurs non couverts par EU ETS.

4.2.1.2. Évolution et projections

L'agence européenne de l'environnement, EEA, a publié en 2012 une étude sur les évolutions et les projections des émissions de GES en Europe (<http://www.eea.europa.eu/publications/ghg-trends-and-projections-2012>),

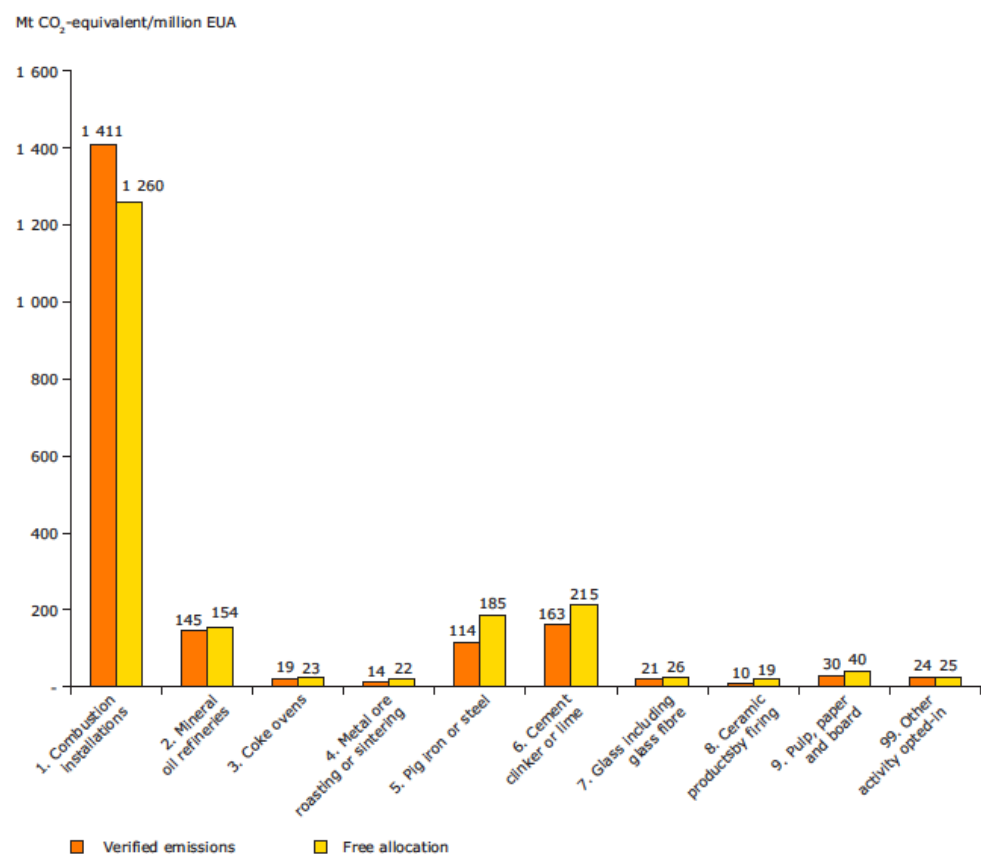
Les émissions des installations couvertes par EU ETS ont augmenté un peu durant la période 2005-2007, déclinèrent en 2008 et se sont stabilisées depuis au-dessous des niveaux de 2008. Durant la période 2008-2011, les émissions couvertes par EU ETS ont été 5 % au-dessous des attributions gratuites de cette période. Ceci n'a pas empêché les opérateurs de faire un usage substantiel des projets en mode de développement propre (MDP⁸⁷) et de mise en œuvre conjointe (MOC⁸⁸) jusqu'à 7 % du total des émissions vérifiées.

La crise économique et financière a eu plus d'effet sur les émissions des secteurs de production de marchandises que dans les autres secteurs tels que le transport, le résidentiel, l'agriculture ou la foresterie. Dans la métallurgie, les émissions 2009 ont été 38 % inférieures à celles de 2008.

⁸⁷ Le « Mécanisme de Développement Propre » (MDP), prévu par le protocole de Kyoto, fonctionne de la manière suivante : les pays industrialisés payent pour des projets qui réduisent ou évitent des émissions dans des nations moins riches et sont récompensés de crédits pouvant être utilisés pour atteindre leurs propres objectifs d'émissions.

⁸⁸ Dans la « Mise en œuvre conjointe » (MOC), prévue par le protocole de Kyoto, les entreprises investissent dans des « projets propres » au sein de pays industrialisés, en dehors du territoire national. Les financements de projets de réduction d'émissions à l'étranger leur permettent d'obtenir des crédits d'émissions.

Figure 4.1 Comparison of average verified emissions and free allocation for all 30 countries participating in the EU ETS, 2008–2011



Source: CITL extract, September 2012.

En dehors de l'Allemagne, de la Norvège et du Royaume-Uni, les autres pays sont proches de leurs allocations ou en dessous. Concernant la France, les émissions sont inférieures de 79,306 Mt CO₂ éq. au total des quotas alloués pour la période, soit une réduction de 15 %.

Table 4.3 Verified emissions, free allocation and sold/auctioned allowances per EU ETS country, 2008–2011

	Verified emissions (in kt CO ₂ -equivalent)				Auctions 1 000 EUA 2008– 2011	Free allocation (in 1 000 EUA)				Difference: allowances – emissions
	2008	2009	2010	2011		2008	2009	2010	2011	
Austria	30 153	31 963	32 688	32 688	1 305	32 078	27 359	30 919	30 598	7 842
Belgium	55 384	56 798	55 968	55 968	0	55 462	46 207	50 104	46 203	26 143
Bulgaria	38 303	40 596	35 267	35 267	0	38 303	32 601	33 798	39 997	4 733
Cyprus	4 815	5 089	5 371	5 371	0	5 577	5 334	4 988	4 599	148
Czech Republic	85 559	85 968	86 140	86 140	0	80 400	73 785	75 580	74 186	39 857
Denmark	23 983	23 912	23 906	23 906	0	26 549	25 461	25 266	21 466	– 3 033
Estonia	11 678	11 856	11 856	11 856	0	13 541	10 378	14 514	14 809	– 5 998
Finland	36 531	37 070	37 924	37 924	0	36 164	34 354	41 298	35 083	2 549
France	129 568	128 566	138 604	138 604	0	124 130	111 093	115 669	105 144	79 306
Germany	388 759	391 715	400 493	400 493	163 948	472 735	428 305	454 858	450 383	– 60 873
Greece	63 685	63 247	64 649	64 649	10 000	69 854	63 662	59 940	58 838	13 937
Hungary	25 131	23 917	25 701	25 701	0	27 237	22 401	22 995	22 470	5 348
Ireland	19 971	19 952	21 034	21 034	557	20 382	17 215	17 373	15 770	11 809
Italy	212 167	208 974	200 030	200 030	0	220 676	184 882	191 490	189 750	34 404
Latvia	3 728	4 638	4 541	4 541	0	2 743	2 490	3 240	2 923	6 052
Liechtenstein	21	19	18	18	0	20	13	2	0	41
Lithuania	7 510	7 568	8 155	8 155	850	6 104	5 787	6 394	5 606	8 348
Luxembourg	2 488	2 488	2 488	2 488	0	2 099	2 182	2 253	2 052	1 368
Malta	2 108	2 121	2 159	2 159	0	2 019	1 897	1 878	1 932	822
Netherlands	76 757	83 834	84 843	84 843	12 000	83 511	81 031	84 734	79 967	13 036
Norway	7 538	7 966	8 002	8 002	25 264	19 342	19 217	19 334	19 189	– 20 310
Poland	201 000	202 013	205 634	205 634	0	204 107	191 174	199 727	203 027	16 245
Portugal	30 500	30 894	32 498	32 498	0	29 924	28 262	24 167	25 011	19 026
Romania	71 789	73 932	74 991	74 991	0	63 817	49 022	47 337	51 211	84 317
Slovakia	32 166	32 141	32 356	32 356	0	25 337	21 595	21 699	22 223	38 166
Slovenia	8 214	8 216	8 212	8 212	0	8 860	8 067	8 130	7 995	– 198
Spain	153 888	150 719	150 860	150 860	0	163 460	136 936	121 475	132 667	51 788
Sweden	20 775	21 107	23 556	23 556	0	20 081	17 492	22 661	19 832	8 928
United Kingdom	214 304	217 161	220 562	220 562	95 500	265 058	231 944	237 428	220 879	12 780
All countries	1 958 473	1 974 440	1 998 507	1 998 507	309 424	2 119 568	1 880 146	1 939 250	1 903 809	396 578
EU-27	1 950 914	1 966 454	1 990 487	1 990 487	284 160	2 100 206	1 860 915	1 919 915	1 884 619	416 847

Note: The yellow cells correspond to a situation where free allocation exceeded verified emissions. Likewise, in the last column, yellow cells indicate when total EUAs (both allocated for free and sold/auctions) exceeded verified emissions.

Source: CITL extract as of September 2012.

(Attention, il convient de corriger une erreur de l'EEA : inverser les titres de la première ligne du tableau « *Verified emissions* » et « *Free allocation* »)

Les émissions sur la période 2008-2012 étant inférieures aux quotas alloués, le prix des quotas sur le marché s'en ressent logiquement. Il aurait même dû être nul sans la possibilité donnée aux détenteurs de pouvoir les transférer sur la troisième période et ainsi spéculer sur leur valeur future avant même de connaître les modalités précises pour la période 2013-2020. Fin 2012, le cours du quota oscille entre 5 et 10 euros⁸⁹.

Au total, l'étude de l'EEA donne une mesure précise du respect des objectifs poursuivis sous EU ETS. En revanche, les analyses manquent pour mettre en évidence la part de ces résultats attribuables aux efforts d'efficacité carbone des opérateurs soumis au système de quotas, celle liée à une utilisation massive des crédits MDP et MOC, celle attribuable à la baisse d'activité générale induite par la crise économique, ou celle résultant, éventuellement, d'une délocalisation de certaines activités fortement émettrices (métallurgie, cimenteries, papeteries, etc. : l'une des recettes d'Arcelor Mittal est le produit de la vente du portefeuille de quotas non utilisés par l'arrêt des hauts fourneaux de Florange).

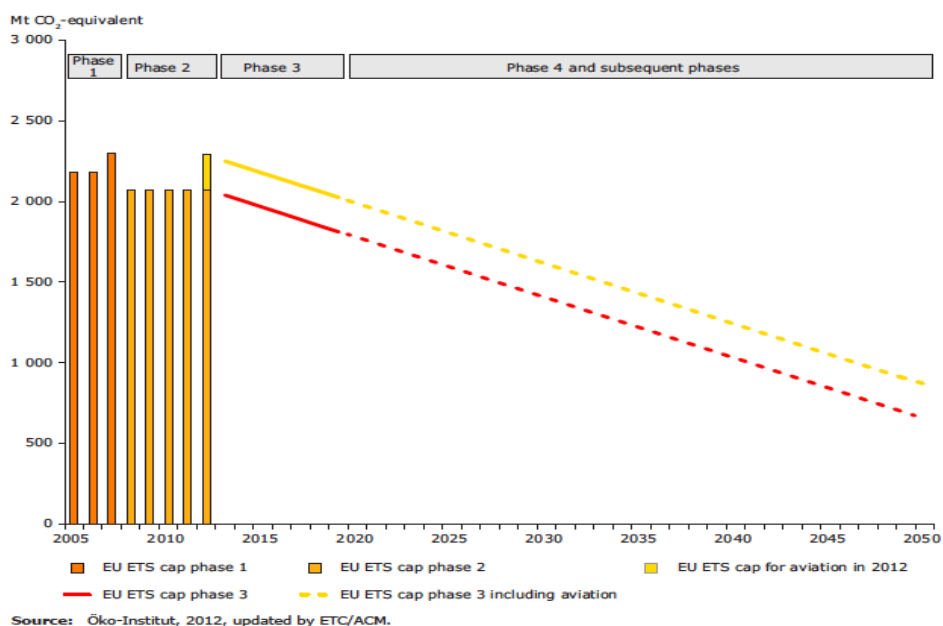
⁸⁹ 5,89 € / t CO₂ au 3 décembre 2012.

Enfin, l'étude fournit une perspective du système européen de quotas d'émissions pour la troisième période (2013-2020). Il continuera à élargir son périmètre. Après avoir intégré les émissions des vols arrivant ou partant de l'UE au 1er janvier 2012 (en principe au moins, car les différents internationaux persistent), EU ETS couvrira diverses autres productions industrielles de chimie organique, d'hydrogène, d'ammoniac, d'aluminium, ainsi que les émissions industrielles de N₂O et les émissions de PFC issues du secteur de l'aluminium. La troisième période durera huit ans et le plafond ainsi que les règles pour les allocations gratuites seront fixées au plan européen plutôt que par chaque État membre. À partir de 2013, le plafond subira une réduction linéaire de 1,74 % (par an). La mise aux enchères jouera un rôle accru au fur et à mesure de la réduction des allocations gratuites. L'utilisation des crédits MDP et MOC seront restreints.

Les récentes décisions de la Commission européenne remettent à plus tard l'application au secteur de l'aviation civile internationale (en ouvrant une négociation avec la Chine et les États-Unis) et renoncent à soutenir le prix des quotas de carbone à l'occasion du début de la troisième période de EU ETS. Elles envoient ainsi un signal négatif sur la volonté européenne de lutter contre les émissions de gaz à effet de serre.

9. *Dans l'attente d'un éventuel accord international prévoyant la mise en place de nouveaux mécanismes contraignants pour réduire les émissions de GES, le système européen de quota d'émission de GES (SCEQE) est le seul système communautaire d'incitation à la réduction des émissions utilisant un signal prix. La France doit apporter son plein soutien au renforcement adopté en 2009, à la vente aux enchères des quotas, à une répartition adéquate des mises aux enchères pour assurer un soutien du prix. Le SCEQE pourrait efficacement élargir la couverture des émissions de CO₂ par extension aux consommations diffuses de combustibles et carburants fossiles.*

La perspective d'évolution du plafond d'émission de EU ETS à 2050 prolonge le dispositif approuvé pour la troisième période.



En revanche, l'étude de l'EEA ne précise pas les voies techniques et les enchaînements économiques susceptibles de conduire à l'atteinte des résultats souhaités.

4.2.2. Sensibilité des émissions de GES aux prix (notamment à un prix du CO₂ ou à un prix du carbone fossile)

Dans les « *Scénarios prospectifs Énergie – Climat Air à horizon 2030* » de la DGEC, les projections de demande d'énergie s'appuient sur l'utilisation de deux modèles :

- le modèle Med-Pro qui permet une investigation fine de la demande d'énergie finale par secteur, usage et forme d'énergie ;
- le modèle POLES qui permet de construire des bilans énergétiques et des bilans CO₂ complets cohérents avec le contexte européen et mondial. Il comprend des coefficients techniques d'émissions susceptibles d'ajustements de façon exogènes, mais qui ne résultent pas eux-mêmes d'une adaptation sous incitation économique.

Ce travail a fixé les hypothèses principales : taux de croissance du PIB, croissance démographique, nombre de personnes par ménage, prix des énergies, du CO₂ (quotas), taux de change dollar/euro ; ainsi que le cadrage des mesures sectorielles prises en compte dans la modélisation.

Ainsi, cette construction de scénarios ne s'appuie pas explicitement sur une modélisation micro-économique des secteurs de production comportant des élasticités-prix du CO₂ ou prix des énergies fossiles. La critique formulée dans le présent rapport portant sur la validité des courbes de coût d'abattement des émissions de CO₂ ou d'économie d'énergie, justifierait par ailleurs de ne pas fonder trop d'espairs sur de telles approches.

La simple description des modes de décision des acteurs économiques corrobore le fait que le prix du CO₂ ou du carbone fossile, pas plus que l'anticipation de leurs évolutions, ne sont des moteurs suffisants à l'investissement. En revanche, ces considérations sont souvent intégrées lors de renouvellement d'appareillages ou lors de changement de process. Un boulanger ne changera pas son four pour économiser l'énergie. En revanche, quand son four sera usé ou simplement amorti, il réinvestira probablement un peu plus pour passer à un modèle plus sobre.

La « Feuille de route vers une économie compétitive à faible intensité de carbone à l'horizon 2050 » reconnaît du reste la nécessité d'approches spécifiques secteur par secteur.

Le rapport « *Trajectoires 2020-2050 vers une économie sobre en carbone* », comme mentionné plus haut, insiste sur la visibilité et la prévisibilité du signal prix du carbone. Il rejoint sur ce plan la « Feuille de route vers une économie compétitive à faible intensité de carbone à l'horizon 2050 ».

Ces travaux n'apportent pas toutefois une approche plus fouillée et plus programmée que celles des rapports Boissieu, Quinet, ou de la commission d'experts pour la contribution climat-énergie. On pourrait même relever que, plus pragmatiques, et à l'image de ce que propose Henri Prévot (« Trop de pétrole » et « Avec le nucléaire », précités) en appelant une régulation publique prévisible du prix des combustibles et carburants fossiles, la Commission européenne, dans sa feuille de route, accorde un rôle critique aux prix du CO₂ résultant à long-terme du pilotage par le système européen EU ETS.

4.2.3. Y a-t-il une limite aux économies d'émissions ?

La question trouvera des réponses variées selon diverses considérations : définitions juridiques, technico-scientifiques, de périmètre. Illustrons brièvement ces divers plans :

- Les émissions de CO₂ résultant de l'utilisation de la biomasse (en combustion ou comme intrant) ne sont comptées que pour le contenu en CO₂ des intrants nécessaires à leur mise à disposition (convention CCNUCC). Un industriel passant au bois pour ses besoins de chauffage va pratiquement réduire à néant ses émissions liées à ce besoin.
- Le process de production de certains matériaux est émetteur de GES et notamment de CO₂ (ciment, acier à partir de minerais, etc.). La réduction de ces émissions est limitée aux lois physico-chimiques qui encadrent l'utilisation de ces process.
- Mais des possibilités existent par ailleurs de favoriser ou de développer des puits susceptibles d'absorber du CO₂ : pratiques agro-forestières qui permettent de fixer du carbone dans les sols ; capture et stockage du CO₂ dans des couches géologiques profondes (CSC). Tant le rapport Perthuis dès 2020 que la feuille de route de la CE, à une large échelle dès 2035, font appel à cette dernière possibilité pour compléter les réductions d'émissions notamment dans les secteurs de l'énergie et de l'industrie et atteindre les objectifs assignés à 2050. L'estimation de ces réductions à long terme est évidemment très difficile.

4.2.4. Les certificats d'économies d'énergie

Le dispositif des certificats d'économies d'énergie (CEE), créé par les articles 14 à 17 de la loi POPE, repose sur une obligation de réalisation d'économies d'énergie imposée par les pouvoirs publics aux vendeurs d'énergie appelés les « obligés » (électricité, gaz, chaleur, froid, fioul domestique et nouvellement carburants pour automobiles). Ceux-ci sont ainsi incités à promouvoir activement l'efficacité énergétique auprès de leurs clients : ménages, collectivités territoriales ou professionnels.

Un objectif triennal est défini et réparti entre les opérateurs en fonction de leurs volumes de ventes. En fin de période, les vendeurs d'énergie obligés doivent justifier de l'accomplissement de leurs obligations par la détention d'un montant de certificats équivalent à ces obligations. Les certificats sont obtenus à la suite d'actions entreprises en propre par les opérateurs ou par l'achat à d'autres acteurs ayant mené des opérations d'économies d'énergie. En cas de non respect de leurs obligations, les obligés sont tenus de verser une pénalité libératoire de deux centimes d'euro par kWh manquant.

Pour la période triennale qui a débuté le 1er janvier 2011, l'objectif d'économies d'énergies correspondant est de 345 TWh.

La mission voit dans ce principe d'« obligation déléguée » une piste intéressante pour l'avenir : en concentrant les obligations sur des entreprises fortement structurées, on peut contribuer à surmonter le handicap de la dispersion des acteurs, de leur mauvaise information et de leurs capacités techniques et financières limitées.

4.2.5. Effets de frontière fiscalité-quotas-réglementation

La coexistence d'un système de quotas et d'une fiscalité carbone pose un problème qui a été à l'origine (avec d'autres motifs) de l'annulation par le Conseil Constitutionnel de la loi sur la « contribution climat énergie » (CCE). Selon le Conseil, il y avait rupture d'égalité devant l'impôt entre les grandes entreprises soumises au système européen de quotas d'émissions (quotas alors distribués gratuitement), exonérées de CCE, et les autres entreprises, taxées, bien que le montant de la taxe (autour de 17 € / t CO₂ équ.) ait été prévu assez proche du prix du quota à l'époque.

On peut à ce sujet faire les observations suivantes :

- à montant équivalent de la t CO₂ équ., l'effet incitatif d'une taxe ou d'un régime de quotas échangeables sur un marché est équivalent : dans les deux cas l'effet de l'économie d'une tonne de CO₂ équ. sur les comptes de l'entreprise est le même, peu importe comment les quotas ont été distribués à l'origine.
- en revanche, l'effet sur les comptes de l'entreprise du volume global de ses émissions n'est pas le même : pour une entreprise qui réduit « normalement » ses émissions année après année (au rythme de la contraction des quotas), le système de quotas n'engendre aucun débours, alors que la taxe s'applique à la totalité des émissions, dès la première tonne de CO₂ équ. On peut penser que la décision du Conseil est fondée sur ce constat ;
- la mise aux enchères des quotas, selon qu'elle porte sur une part plus ou moins importante des émissions, rapproche le système de quotas du dispositif fiscal ;

- enfin, notons qu'il est possible de superposer les deux systèmes, notamment lorsque, comme c'est le cas aujourd'hui, le cours des quotas est très bas, beaucoup plus bas que le taux de la taxe. Il suffit de soumettre l'ensemble des entreprises à la taxe, mais en défalquant le tarif des quotas. On obtient ainsi un effet incitatif uniforme, mais on ne répond pas, si les quotas ont été distribués gratuitement à l'objection d'inégalité devant l'impôt.

Certaines réglementations valent en soi valorisation du carbone : par exemple, les normes européennes d'émission des véhicules, dont on peut imaginer qu'elles ont engendré, toute chose égale par ailleurs, un surcoût des véhicules ont implicitement donné au CO₂ émis une valeur égale à ce surcoût divisé par le total des émissions économisées.

La mission ne prend pas une position générale sur la forme la plus adéquate de valorisation du carbone (quotas, fiscalité carbone, fiscalité fossile, réglementation...) selon les secteurs et les institutions : le meilleur choix dépend de contingences diverses d'ordre politique, organisationnel, budgétaire et social. Mais elle plaide vigoureusement pour des valorisations rapides, quelle qu'en soient les formes.

Quel que soit le système retenu, il doit évidemment intégrer la contrainte européenne, d'une part, et la contrainte d'équité fiscale entre les produits nationaux et les produits importés. La question du traitement fiscal et douanier des GES aux frontières européennes est posée (cf. recommandation 5. au 2.3.1.3.)

4.3. Synthèse pour le secteur de l'industrie

Entre 1990 et 2010, le secteur de l'industrie a réduit ses émissions de GES de 157 à 111 Mt CO₂ éq.. Dans ce secteur hétérogène, les réductions sont principalement obtenues par les sous-secteurs de la chimie, des métallurgies ferreuses et non ferreuses et du papier-carton. La plupart de ces gros émetteurs sont dans le périmètre du SCEQE (système communautaire d'échange de quotas d'émission). Les informations disponibles ne permettent malheureusement pas de ventiler ces réductions entre les gains d'efficacité énergétique, la baisse d'activité liée à la crise économique et les délocalisations.

Peu de réductions supplémentaires sont attendues d'ici 2030 sauf à ce que la capture et le stockage géologique du carbone ait déjà atteint un stade industriel.

L'industrie est un secteur très sensible aux prix. A l'horizon 2050, un prix croissant, a fortiori anticipé de façon fiable, de l'accès aux carburants et combustibles fossiles (ou des quotas d'émission) sera un moteur indispensable pour modifier les modes de production et les productions elles-mêmes, à condition évidemment que les distorsions aux frontières n'encouragent pas les délocalisations.

Mais la division par 4 et plus des émissions de GES dans ce secteur, retenu par les scénarios les plus volontaristes, reste conditionné à un niveau de CSC équivalent au reliquat d'émission vers l'atmosphère.

5. Le secteur agriculture, utilisation des terres et leurs changements et la forêt (UTCF)

5.1. Les émissions dues à l'agriculture – UTCF (utilisation des terres, leurs changements et la forêt) et les politiques menées en agriculture

Il s'agit de domaines délicats à traiter dans la mesure où il est difficile de séparer les émissions anthropiques des autres phénomènes : les écosystèmes naturels, les terres agricoles, les prairies, les forêts surtout, absorbent des quantités énormes de CO₂. Ce stockage absorbe de l'ordre de 30 % des 33 milliards de téq CO₂ émises par l'humanité⁹⁰. En revanche, les êtres vivants émettent naturellement des quantités importantes de GES : vapeur d'eau (H₂O), gaz carbonique (CO₂), méthane (CH₄), protoxyde d'azote (N₂O), etc. auxquelles s'ajoutent les émissions d'origine anthropique des systèmes agraires qui ont peu à peu modifié une grande partie de ces écosystèmes : fermentation entérique des animaux, rizières, dégagements de N₂O lié à l'épandage d'engrais de synthèse⁹¹, etc.). Les volumes de ces échanges et de ces effets sont très loin d'être négligeables. Enfin, certaines modifications de l'utilisation des terres peuvent provoquer des émissions de GES (déforestation, retournement des prairies, artificialisation des sols, dissociation des hydrures de méthane⁹², reprise de fermentation de terre gelées en permanence, etc.), ou, au contraire, en capter (boisement, extension de zones humides). De surcroît, la couverture végétale des sols modifie (et en général réduit) l'albédo⁹³ de la surface de la terre, ce qui a tendance à modifier la capture du rayonnement solaire.

5.1.1. Les émissions de gaz à effet de serre de l'agriculture

En théorie, seules les émissions « purement anthropiques » devraient être comptabilisées. En France, où l'agriculture est installée depuis le néolithique, il est impossible de déterminer un état originel de référence (probablement très forestier) ; de manière conventionnelle, on comptabilise donc les émissions liées (codée CRF 4) :

- à la fermentation entérique des animaux d'élevage (CRF 4A) ;
- à la gestion des déjections des animaux d'élevage (CRF 4B) ;
- à la culture du riz et la fertilisation des terres (CRF 4C, 4D) ;
- au brûlage des résidus de récolte (CRF 4F).

⁹⁰ 50 % est absorbé par les océans¹ et 20 % s'accumule dans l'atmosphère.

⁹¹ Le CO₂ des engins agricoles est comptabilisé dans le compartiment « énergie » du rapportage.

⁹² Liée au réchauffement des océans ; v. annexe 5.

⁹³ « Blancheur » de la surface, déterminant la part de rayonnement réfléchi par rapport au rayonnement incident.

Ainsi défini, le secteur est responsable de 18 % des émissions totales (en t CO₂ éq.) de la France hors UTCF, soit 94.355 kt CO₂ éq. réparties comme suit ⁹⁴.

	CH ₄ (1000t éqCO ₂)	N ₂ O (1000t éq CO ₂)	CH ₄ % (France entière)	N ₂ O % (France entière)
Agriculture	42455	51899	68 %	87 %
A Fermentation entérique	28598	NA	46 %	NA
B Gestion des déjections animales	13722	5150	22 %	9 %
C Culture du riz	110	NA	0 %	NA
D Fertilisation des terres	NA	46739	NA	78 %
F Brûlage des résidus agricoles	24	10	0 %	0 %

Source : *Rapport CCNUCC France avril 2012 chiffres 2010.*

En 1990, les émissions globales du secteur étaient de 104,6 kt CO₂ éq. soit 19 % des émissions françaises.

L'agriculture du « *Common reporting format 4* » (CRF 4)⁹⁵ est un émetteur prépondérant pour le N₂O et le CH₄ avec, en 2010, respectivement 87 % et 68 % des émissions nationales. Les émissions de CH₄ liées à la fermentation entérique sont dues à 90 % au cheptel bovin (dont 30 % pour le troupeau laitier), ainsi qu'à la gestion des effluents d'élevage ; celles de N₂O sont dues à l'épandage d'engrais sur les sols et ont tendance à légèrement diminuer en valeur absolue. La part de l'agriculture pour le N₂O est en augmentation depuis 1990, bien que les émissions en masse soient en baisse, ce qui s'explique par la chute des émissions de N₂O dans les secteurs industriels. Par ailleurs, non comptabilisée dans ce secteur pour ce qui est des émissions de CO₂, l'agriculture représente un peu moins de 2 % de la consommation d'énergie nationale, part voisine de sa contribution au PIB (gazole pour tracteurs et autres véhicules agricoles, électricité, gaz et fioul pour les élevages, serres, séchoirs, etc.).

Ces chiffres indiquent que les leviers d'une réduction des émissions agricoles résident dans une meilleure gestion de l'alimentation des bovins (plus de 90 % des émissions entériques de CH₄), des effluents d'élevage et des fertilisations azotées.

⁹⁴ La mission n'a pas gardé la présentation d'origine, donnant 7 chiffres significatifs pour une valeur connue à quelques % près.

⁹⁵ Activité agricole dans le format commun de rapportage de la CCNUCC. Par convention, les émissions liées à l'activité agricole et à la pêche sont comptabilisées avec l'industrie. En 2010, ces émissions représentaient 1,9 % des émissions (dont 10 % pour la pêche).

AGRICULTURE			Secteurs-d.xls	
Polluants	1990		2010	
	Emissions en kt (*)	% du total national hors UTCF	Emissions en kt (*)	% du total national hors UTCF
CO ₂	0	0%	0	0%
CH ₄	2 055	68%	2 022	68%
N ₂ O	198	67%	167	87%
HFC	0	0%	0	0%
PFC	0	0%	0	0%
SF ₆	0	0%	0	0%
PRG	104 562	19%	94 355	18%

(*) HFC, PFC et PRG en éq. CO₂

CITEPA

5.1.2. L'utilisation des terres, leurs changements et la forêt (UTCF)

Les sols agricoles et forestiers et les productions qu'ils portent constituent d'importants réservoirs de carbone. Ils peuvent absorber du gaz carbonique (CO₂) plus qu'ils n'émettent de GES et fonctionner alors comme « puits ». Ils peuvent à l'inverse devenir une « source ». Schématiquement, le boisement ou le reboisement d'un sol nu a un effet de « puits », le déboisement a un effet de « source », les changements de vocation des sols agricoles sont à effet « source » dans le cas de retournement des prairies pour la mise en cultures labourées, et de « puits » dans le cas contraire.

Au-delà de ces changements d'affectation, la gestion forestière peut avoir un impact sur l'absorption de carbone sous forme de CO₂ : une forêt jeune continue de croître et d'absorber du carbone, alors qu'une forêt qui vieillit absorbe de moins en moins de CO₂ jusqu'à devenir émettrice nette, la croissance ne permettant plus de compenser les émissions liées à la minéralisation des litières et du bois mort. Une forêt où l'équilibre entre ces deux phénomènes antagonistes que sont la photosynthèse et la minéralisation est réalisé, absorbe autant qu'elle émet : en sylviculture classique, une forêt tempérée où l'équilibre des classes d'âge est atteint, a une pérennité assurée dans le temps et un bilan carbone (positif ou négatif) proche de zéro.

Aujourd'hui la métropole compte en surface ⁹⁶:

- cultures 33 %
- forêts 28 %
- prairies 26 %
- sols artificialisés 10 %
- zones humides 2 %
- autres terres 1 %

Mais cette répartition évolue d'une année à l'autre ; le bilan UTCF des sources (positives puisqu'émettrices) / puits (négatifs puisque captant du CO₂) comprend les postes suivants, qui excluent l'utilisation d'énergie en agriculture et sylviculture :

⁹⁶ Source : enquête TER UTI du MAAF.

TOTAL UTCF	- 35,494 Mt CO ₂ éq.
FORETS puits de C à surface constante	-46,06
FORETS boisement de terres	-7,28
CULTURES (retournement de prairies)	15,42
PRAIRIES (conversion de terres agricoles ou boisées)	-8,08
ZONES HUMIDES BILAN	-3,52
ARTIFICIALISATION (sur terres et forêts dont orpaillage)	14,25

Source : rapport 2012 CCNUCC chiffres pour 2010⁹⁷.

Avertissement : pour 2010, la valeur du puits forestier a été extrapolée, les derniers inventaires forestiers couvrant 2005/2009. Il apparaît sous estimé par rapport aux valeurs des années précédentes selon le CITEPA.

En pouvoir de réchauffement global, l'UTCf est un puits de CO₂ très important qui a augmenté en valeur absolue de 66 % sur la période 1990 – 2010, essentiellement par accumulation de biomasse dans les forêts de métropole, la récolte, même lors des années de tempête comme en 2009 (KLAUS), ne compensant pas l'accroissement. Ce bilan masque des augmentations d'émissions dues à l'artificialisation des terres (+25 % de surface artificialisée depuis 1990) principalement au détriment des prairies, qui ont régressé de 13 % depuis 1990.

Sur l'agriculture comme sur l'UTCf, les phénomènes sont évidemment diffus. Les connaissances les concernant sont encore lacunaires. Ils sont compliqués et coûteux à mettre en évidence, et dépendent des conditions pédo-climatiques locales et des pratiques agricoles et forestières mises en œuvre. Les risques d'une appréciation erronée (voire volontairement biaisée) des contributions de ce secteur selon les organismes et les pays sont donc importants. Les lignes directrices qui résultent des discussions techniques de la CCNUCC, forfaitisent la façon de comptabiliser les contributions au changement climatique de ce secteur selon les modes de gestion et pratiques agricoles et forestières et en fonction de l'affectation des sols et de leur changement. Les valeurs par défaut des facteurs d'émissions sont donc des moyennes très peu représentatives de tel ou tel système agricole. Un des enjeux est de faire progresser les méthodologies permettant d'affiner des valeurs proprement françaises afin d'améliorer la fiabilité du rapportage et de disposer de bases solides pour faire progresser les pratiques vers de moindres émissions. Deux exemples :

- l'incertitude sur le facteur d'émission du CH₄ en France est de 40 %, Des travaux sont en cours avec le MAAF et l'INRA pour mettre au point une méthode actualisée, qui devrait dès 2013 mieux rendre compte des pratiques d'élevage et des performances ;
- sur la forêt, les calculs sont effectués à partir des données de l'inventaire forestier (IGNf) qui établit un bilan matière en bois fort tige, ce qui permet de déduire le bilan pour la totalité de la biomasse aérienne (production 126 Mm³ –

⁹⁷ En pouvoir de réchauffement global.

récolte 66 Mm^3 – mortalité $8 \text{ Mm}^3 = 52 \text{ Mm}^3$). Le CITEPA calcule, avec des coefficients de densité des bois feuillus et résineux issus de la recherche, le bilan carbone en $\text{Mt CO}_2 \text{ éq.}$. Certaines hypothèses du CITEPA sur les usages de la récolte et sa provenance sont très structurantes (ex : 30 % des houppiers est utilisé en bois énergie et 70 % du bois énergie recensé par l'enquête logement vient de la forêt) sans qu'à ce stade on puisse vraiment les justifier.

10. Soutenir la recherche sur la connaissance des flux de carbone et d'azote dans les sols agricoles et forestiers.

Deux remarques doivent enfin être formulées qui concernent le secteur auquel sont attribuées certaines émissions :

- toutes les émissions consécutives au changement d'affectation d'une surface (déforestation par exemple) ou à la modification d'une pratique agricole (retournement d'une prairie permanente par exemple) sont attribuées au secteur agriculture et forêt alors qu'elles devraient l'être aux bâtiments des surfaces construits sur ces surfaces quand elles sont ainsi urbanisées ou au secteur des transports pour l'artificialisation liée aux infrastructures ;
- les émissions liées à la production de bois énergie, de biocarburant, de fibres végétales ou de molécules destinées à l'industrie sont attribuées au secteur primaire (forêt ou agriculture), le principe ayant été acté par le GIEC que « toute biomasse récoltée est réputée émise sous forme de CO_2 dans l'atmosphère » (au moins jusqu'à 2012, car une comptabilisation de la séquestration de carbone dans le bois matériau est prévue pour la période 2013/ 2020). En revanche, les réductions d'émissions liées à une moindre consommation de ressources de carbone fossile sont attribuées aux secteurs utilisateurs des transports ou de l'industrie. Or l'augmentation de l'utilisation de ces ressources renouvelables, si elle a un intérêt global évident en réduisant les émissions fossiles, n'en augmente pas moins les émissions du secteur agriculture et forêt.

11. Œuvrer pour obtenir le changement des normes internationales de prise en compte des puits de carbone dans les inventaires de GES.

12. En attendant le changement des normes, orienter l'action publique vers la recherche de la meilleure efficacité réelle, et non la maximisation des résultats selon les normes de calcul internationales lorsque celles-ci sont inadéquates.

Ce secteur ne peut donc être examiné indépendamment des autres.

5.1.3. Les politiques publiques sur l'agriculture et la forêt

L'agriculture et la forêt couvrent encore plus de 75 % de la surface de notre pays et sont régies au plan national par les codes rural et forestier et par le code de l'environnement qui décline diverses directives européennes. De plus, l'agriculture est

concernée par une des seules politiques communes intégrées de l'Union européenne, la PAC⁹⁸.

Aucune mesure n'a jusqu'ici eu pour finalité directe la réduction des émissions de GES du secteur agricole, même si plusieurs politiques qui visent à réduire les pollutions ont un effet indirect sur les émissions de GES. La limitation de l'utilisation des engrais azotés découle notamment de la directive nitrates de 1991. Conjointement avec l'augmentation du prix des énergies fossiles, elle conduit indirectement à la réduction des émissions de N₂O. La directive-cadre sur l'eau introduit l'obligation de garder des bandes enherbées ou boisées le long des cours d'eau, réduisant l'érosion des sols et les écoulements d'engrais. Ce faisant, elle contribue aussi à réduire les émissions de GES. La collecte et le traitement des lisiers et déchets agricoles, leur valorisation par la méthanisation vont dans le même sens, de même que la réduction des pollutions prévue dans les « bonnes conditions agronomiques et environnementales » (1er pilier de la PAC), la mise aux normes des bâtiments d'élevage, et plusieurs mesures agro-environnementales (2e pilier). La PAC 2013 est actuellement en discussion. Son programme de développement rural (2e pilier) devrait comporter la lutte contre le changement climatique parmi ses six priorités.

13. Inscrire des objectifs de réduction des émissions de GES dans la négociation 2013 de la PAC et prévoir le soutien aux mesures techniques comme la méthanisation et l'agro-foresterie via l'inclusion de l'agriculture dans les marchés de carbone, ou via une ré-orientation des aides de la PAC en cours de période 2013/2020.

Au plan national, le Plan de performance énergétique des exploitations agricoles 2009/2013, adossé au PDRH (2e pilier de la PAC), vise à atteindre d'ici fin 2013 un taux de 30 % d'exploitations à faible dépendance énergétique (loi Grenelle 1 article 31). Il prévoit 100 000 diagnostics énergétiques, un banc d'essai du matériel agricole par région, ainsi que l'amélioration des pratiques de fertilisation et l'aide aux investissements. À fin 2011, 160 M€ de subventions ont soutenu 312 M€ d'investissements, dont 140 M€ environ dans les exploitations (isolation 44 %, énergie renouvelable 10 %, bloc de traite 12 %, séchage des fourrages 9 %) et environ 130 projets de méthanisation d'un montant de 165 M€ environ. Les économies d'énergie ne sont pas évaluées à ce stade, mais l'évaluation finale le prévoira, ainsi que celle des t CO₂ évités. La région Bretagne a toutefois évalué cette économie à 50 Gwh/an, soit 10 % de la consommation d'électricité de la ville de Rennes. Les filières les plus concernées sont les filières bovins, lait, volailles et porcs. Pour l'avenir, le MAAF prévoit la montée en puissance de l'agriculture trop peu impliquée aujourd'hui dans le système des certificats d'économie d'énergie⁹⁹ (gisement évalué à 20 TWh d'ici fin 2013 par l'ADEME). Selon l'ADEME, un enjeu important consiste à développer davantage la méthanisation agricole (48 installations en France, à comparer avec 6 000 installations en Allemagne).

Quant à la forêt, elle n'est que très marginalement concernée par quelques mesures de développement rural (2e pilier de la PAC) ; en revanche elle est beaucoup plus concernée par les directives environnementales (Oiseaux et Habitats notamment, mais aussi Plans et Programmes et évaluation environnementale), qui n'ont pas de finalité liée aux émissions. Leur mise en œuvre a plutôt jusqu'ici freiné le renouvellement des forêts, ce qui a contribué à l'accroissement du puits constaté entre 1990 et 2010, et

⁹⁸ Avec la Politique Commune des Pêches.

⁹⁹ V. 4.2.4.

réduit les contributions du secteur aux énergies et matériaux renouvelables. À ce stade, l'approche des directives relatives à la biodiversité est désormais mise en question : d'une part, il y a un consensus grandissant de la recherche sur l'idée que l'adaptation comme l'atténuation demande une gestion plus active des forêts, d'autre part, le changement climatique a déjà commencé à remanier la structure et le fonctionnement des communautés vivantes, et son accélération menace fortement leur avenir, ce qui interroge les principes des méthodes de « conservation » de la biodiversité.

5.2. Les travaux de prospective en agriculture et UTCF

Plusieurs exercices de prospective ont été réalisés pour préciser les scénarios conduisant à des réductions d'émissions dans l'agriculture. Ils associent de façon variable les émissions agricoles au sens strict avec l'UTCF, le lien étant constitué par les choix d'affectation des sols entre agriculture et forêt, variables selon les scénarios, et dont le périmètre se cantonne aux émissions directes (inventaire CITEPA) ou comprend les émissions indirectes (liées à la production des engrais minéraux ou des tourteaux importés pour l'alimentation animale) qui alimentant l'agriculture dans des proportions équivalentes.

5.2.1. « Prospective agriculture énergie 2030 »

L'étude « *Prospective agriculture énergie 2030* » réalisée par le ministère de l'Agriculture, de l'alimentation, de la pêche, de la ruralité et de l'aménagement du territoire (centre d'études et de prospective) et le cabinet SOLAGRO en 2009-2010 explore quatre scénarios énergétiques à partir des données physiques de la ferme France en 2006. Il intègre les consommations d'énergies directes (pétrole, gaz), indirectes et la production d'énergies renouvelables. Dans le secteur UTCF, seules sont considérées les émissions liées aux changements d'affectation des sols entre herbages et grandes cultures. Utilisant des paramètres techniques « à dire d'expert » (prix des énergies, évolution de la PAC, choix institutionnels et politique alimentaire) et sans considération des coûts et des équilibres économiques, ces scénarios, bâtis sur trois principaux enjeux agronomiques (la fertilisation minérale des cultures, les importations de concentré pour l'alimentation animale, et les consommations de carburant agricole) aboutissent à des volumes de production et des bilans énergétiques évoluant fortement, ainsi qu'à des émissions de GES très contrastées :

- « Territorialisation et sobriété face à la crise » : - 35 %
- « Agriculture duale et réalisme énergétique » : 0 %
- « Agriculture-santé sans contrainte énergétique forte » : - 14 %
- « Agriculture écologique et maîtrise de l'énergie » : - 61 %

Les changements d'affectation des sols entre grandes cultures et prairies, et par voie de conséquence les apports en engrais azotés et l'autoconsommation d'énergies renouvelables (méthanisation, biomasse, biocarburants) constituent les éléments d'explication majeurs des différences entre les scénarios. Les pistes de réduction d'émissions sont : la réduction des quantités d'engrais minéraux, le développement du

non labour, la plantation de haies, la suppression des importations de tourteaux de soja, le développement des légumineuses fourragères, de la méthanisation et de l'épandage des digestats comme fertilisants minéraux, la substitution du diesel par des huiles végétales pures.

Le rapport émet quatre « orientations stratégiques » :

- réduire la consommation d'énergies fossiles et améliorer l'efficacité énergétique des exploitations agricoles ;
- réduire la consommation d'énergies fossiles et améliorer l'efficacité énergétique des territoires et des filières agricoles ;
- produire et consommer des énergies renouvelables et durables ;
- favoriser la recherche-développement et la diffusion de l'innovation sur les enjeux énergétiques en agriculture.

Treize « pistes d'action » déclinent ces objectifs.

5.2.2. « Agriculture et Facteur 4 »

« *Agriculture et Facteur 4* » est une étude réalisée par le ministère chargé de l'agriculture et l'ADEME en juin 2012, également avec le cabinet SOLAGRO, Oréade Brèche et ISL. L'exercice prospectif utilise le modèle CLIMAGRI pouvant calculer les flux physiques et suppose des actions à la fois sur l'offre (production et export) et la demande (consommation et importation). Contrairement à l'exercice « énergie » précédent, le périmètre des émissions agricoles est identique au périmètre CCNUCC, mais l'occupation du sol agricole et forestier (UTCf) est intégrée. Le scénario de référence 2050 suppose la poursuite des tendances actuelles (démographie à 72 millions d'habitants, artificialisation des terres, consommation de protéines animales) et la réussite des politiques publiques engagées (20 % de la surface agricole utile en agriculture biologique, 20 % en production intégrée, 20 % des déjections méthanisées) ainsi qu'un maintien des échanges. Il réduit les émissions de GES de 9 % (facteur 1,1) par rapport à 1990. Lui sont comparés :

- un scénario ALPHA « intensification écologique » qui s'appuie sur une réduction des pertes et gaspillages, la généralisation de la production intégrée, une sollicitation maximale de la biomasse agricole et forestière, pour aboutir à une réduction des émissions de GES en 2050 de 41 % (facteur 1,7),
- un scénario BETA « alimentation autonomie et sobriété » qui a pour moteur une profonde évolution des régimes alimentaires, par diminution des protéines animales et de la viande bovine, un recours accru à l'agriculture intégrée, biologique labellisée, la substitution de biomasse demandée par les marchés matériau et énergie, pour aboutir à une réduction de 60 % (facteur 2,5),
- un scénario GAMMA « alimentation, efficacité et stockage » qui privilégie la production de biomasse en substitution aux matériaux et énergie fossiles, le stockage dans les sols et la biomasse, et une évolution alimentaire identique à celle du scénario BETA, pour réduire les émissions de 66 % (facteur 3,2).

L'étude fait apparaître la difficulté de réaliser le « facteur 4 » (- 75 %), que ne parvient à atteindre aucun des scénarios étudiés, malgré des modifications majeures des assolements, des régimes alimentaires et des niveaux d'exportation. Un scénario « facteur 4 » ne pourrait finalement être obtenu que par la combinaison d'hypothèses extrêmement fortes, pouvant induire des ruptures drastiques, ou générer des émissions indirectes par délocalisation de la production. Le simple dépassement du facteur 2 à l'échelle française exigera une évolution des modes de consommation pour atteindre une durabilité plus forte de l'ensemble du système alimentaire. Les efforts à fournir seraient très élevés dans tous les scénarios, provoquant des ruptures marquées pour l'ensemble des acteurs de la société : cultivateurs et éleveurs (disparition du troupeau allaitant dans les scénarios BETA et GAMMA, boisement de terres libérées dans GAMMA), agro-fournisseurs (réduction des intrants), structures d'accompagnement des exploitants agricoles (réduction des exportations de poudre de lait et de blé), industries agroalimentaires, distribution et consommateurs (modifications profondes de la consommation alimentaire). Ces ruptures doivent cependant être relativisées face aux risques des enjeux climatiques, et surtout remises en perspective des autres enjeux mondiaux, en premier lieu l'enjeu alimentaire, et des profondes évolutions économiques, structurelles et techniques que connaîtra la société française dans les 40 prochaines années.

5.2.3. Les études Réseau Action Climat/FNH : recueil d'expériences internationales

En 2010, le MAAF a instauré une collaboration avec le Réseau action climat (RAC) et la Fondation pour la Nature et l'Homme (FNH) visant à une meilleure perception des enjeux entre ONG et profession agricole, qui s'est traduite par deux publications :

5.2.3.1. « Agriculture et effet de serre : état des lieux et perspectives »

Ce document grand public publié en septembre 2010 récapitule les cycles du carbone et de l'azote liés aux pratiques agricoles, met en évidence leurs liens avec la séquestration dans la biomasse et les émissions de CH₄ et de N₂O. Il rappelle l'internationalisation des marchés agricoles, et la complexité des participations du secteur aux « émissions-absorptions » qui nécessitent des approches systémiques. Si la PAC a fortement évolué depuis 1992 pour prendre en compte la mondialisation puis réduire les impacts environnementaux, l'enjeu climat, et en particulier l'enjeu atténuation très peu présent jusqu'ici), monte en puissance pour l'après 2013, à condition que le cadre budgétaire le permette et que la R et D soit suffisamment avancée pour proposer des approches systémiques intégrables au niveau de l'exploitation. Le rapport appelle à décloisonner les négociations agricoles (jusqu'ici cantonnées dans les cycles de l'Organisation mondiale du commerce – OMC) et à les lier aux politiques de lutte contre la déforestation et l'effet de serre. Enfin, il évoque deux pistes pour une politique active de réduction des émissions agricoles : l'inclusion dans le (ou dans un) marché de quotas carbone, ou bien une fiscalité sur le CH₄ et le N₂O (avec des effets prévisibles de déplacement des émissions). Une troisième option peut être d'agir sur la demande alimentaire compte tenu de l'importance des habitudes de consommation sur l'offre agricole.

5.2.3.2. « Intégrer l'agriculture dans les politiques d'atténuation des émissions de GES : recueil d'expériences internationales »

Ce rapport publié en mars 2012 analyse des expériences variées :

- intégration de l'agriculture dans des politiques de lutte contre les émissions de GES, contraignantes ou volontaires, en Nouvelle-Zélande, en Australie, aux États-Unis ou au Canada ;
- mise en place de mesures qui ont un impact indirect, telles que la réduction des pollutions, la promotion des énergies renouvelables et du stockage dans les sols aux Pays-Bas et en Allemagne, la France pouvant être rattachée à ces pays ;
- développement de programmes incitatifs au Brésil ou au Royaume-Uni.

Il conclut que peu de pays mettent en place des politiques ayant un impact global sur les systèmes productifs et prenant en compte l'ensemble des implications agronomiques, parce qu'elles impliquent bien souvent une réorientation systémique et des changements en profondeur et à long terme, mais aussi parce qu'elles peuvent avoir des impacts négatifs sur la production, sur le revenu et sur la compétitivité internationale du secteur.

5.2.4. La « feuille de route » européenne

La « feuille de route européenne pour une économie bas carbone compétitive en 2050 » (« *A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050* »¹⁰⁰) obtient des diminutions d'émissions comprises entre - 42 et - 49 %, via l'utilisation efficace des engrais, la méthanisation, une meilleure gestion des fumiers, de meilleurs fourrages, la diversification et la commercialisation de la production au niveau local, une plus grande productivité du bétail, ainsi que la maximisation des bénéfices de l'agriculture extensive.

5.2.5. Les scénarios ADEME 2030 et 2050

L'ADEME a publié le 8 novembre 2012 une synthèse de sa « contribution à l'élaboration de visions énergétiques 2030-2050 » qui détaille par secteur les trajectoires volontaristes possibles de réduction des consommations énergétiques et de passage aux énergies renouvelables. Le secteur agricole et forestier « s'y démarque des autres secteurs par une forte complexité, une diversité de fonctionnement et une vulnérabilité particulière au changement climatique ». Les scénarios sont bâtis à balance des échanges inchangée (ce qui constitue un facteur de fragilité).

A l'horizon 2030, le scénario permet de réduire les émissions de 33 % (facteur 1,5).

Il s'appuie sur une réduction très ambitieuse des pertes et gaspillages alimentaires (- 50 %, de la production à la distribution), l'amélioration des pratiques agricoles (20 % de la SAU en agriculture biologique et 10 % en production intégrée), le boisement généralisé de haies et le développement de l'agroforesterie, la réduction de 30 % des consommations énergétiques (bâtiments et engins) et de 20 % des engrais azotés de

¹⁰⁰ http://ec.europa.eu/commission_2010-2014/hedegaard/headlines/topics/docs/com_2011_112_en.pdf.

synthèse, la baisse de 20 % du cheptel bovin et la réduction des importations de tourteaux de soja, avec réintroduction de légumineuses fourragères. Sur le secteur UTCF, les hypothèses sont très fortes : le rythme d'artificialisation des terres est divisé par 2, la forêt avance (+ 0,2 M ha) et les prairies augmentent légèrement leur stock de carbone. La production de biomasse pour le matériau et l'énergie se développe considérablement, sous-tendue par un plan ambitieux de mobilisation de la forêt, visant à accroître de 67 % la récolte, de façon à faire passer le taux de prélèvement de 48 % de l'accroissement naturel en 2010 à 75 % en 2030 : cela représente + 37 Mm³ dont 8 Mm³ en matériau et 29 Mm³ en énergie (essentiellement en chaleur), le débouché industriel restant stable à 12 Mm³. De même la méthanisation agricole est accélérée (600 méthaniseurs /an). En revanche, le débouché des biocarburants reste constant, la 2e génération remplace progressivement la première (dans les proportions 23/77 en 2030). La méthanation (biogaz de synthèse à partir de bois) n'apparaît pas.

A l'horizon 2050, les économies et l'essor des énergies renouvelables permettent de réduire les émissions de 74 % (facteur 4).

La réduction des pertes alimentaires atteint le plafond de 60 %, la ration calorique individuelle et la fraction protéines animales baissent significativement (resp. de 3 524 kcal/pers/j à 3 270 kcal/pers/j, et de 73 g/pers/j à 43 g/pers/j). Toutes les autres tendances sont fortement accentuées. La production intégrée couvre 60 % de la SAU et l'agriculture biologique 30 %. La fertilisation azotée de synthèse baisse de 37 %. L'artificialisation des sols s'annule dès 2030. Les haies et l'agroforesterie progressent de + 1,7 Mha. 50 % des déjections sont méthanisées, l'alimentation animale est autonome à 75 % en protéines, etc. Les rendements tiennent compte des résultats du programme INRA CLIMATOR sur les effets du changement climatique (besoins croissants en irrigation : +30 % annuels). Le prélèvement forestier se maintient à 75 % de l'accroissement annuel (qui est supposé passer de 115 Mm³/an à 122 Mm³/an entre 2010 et 2030-2050). Les biocarburants stagnent à 7 % d'incorporation. La méthanation (biogaz de synthèse à partir de bois) n'apparaît pas.

Ces scénarios reflètent des choix orientés de l'ADEME en matière de biomasse : la baisse énergétique du puits forestier, misant au maximum sur la méthanisation et le bois-construction et chaleur. En revanche, les biocarburants de deuxième génération, la chimie du bois et la production de biogaz par méthanisation (qui correspondent d'ores et déjà à des besoins et mériteraient d'être comparés en bilans énergétiques et en coût de la t CO₂ évitée) ne sont pas développés.

On peut notamment s'interroger sur :

- les connaissances sur le fonctionnement des systèmes agraires, et les liens entre hypothèses macro-économiques et fonctionnement des marchés internationaux qui déterminent les choix des agriculteurs (niveau micro-économique), partant, les conséquences pour l'agriculteur (cf. Infra partie 5.2.3.2.) ; à cet égard l'hypothèse de maintien de la balance des échanges semble très structurante et à mieux éclairer,
- les modalités des incitations publiques à l'amont et à l'aval forestier permettant de tels accroissements de la récolte, alors que celle-ci stagne depuis les années 80 et que l'industrie d'aval du matériau régresse,
- les techniques constructives permettant d'accroître dans de telles proportions les usages matériau du bois, en particulier dans la construction et la cohérence avec les hypothèses relatives au bâtiment.

En conclusion, de l'ensemble des études prospectives examinées à ce jour, l'ordre de grandeur à retenir pour les trajectoires de réductions d'émission du secteur agricole à l'horizon 2050 est bien plutôt un « facteur 2 » qu'un « facteur 4 ».

5.3. Prospectives et trajectoires sur la forêt et l'UTCF

Aujourd'hui, dans le monde, les forêts concentrent 80 % de la biomasse aérienne et 50 % de la photosynthèse terrestre. Elles absorbent 19 % des émissions anthropiques annuelles, soit 10 Gt CO₂ éq.. La déforestation (tropicale essentiellement) et le drainage des forêts marécageuses émettent quant à eux 11 % des émissions anthropiques soit 5,7 Gt CO₂ éq.

Le puits forestier net mondial est donc d'environ 4,3 Gt CO₂ éq. (selon le GIEC) mais pourrait être beaucoup plus important si les déforestations étaient arrêtées ou compensées par des reboisements.

Ceci étant, malgré les progrès importants accomplis pour le suivi et la mesure des puits de carbone, les approches actuelles de ces phénomènes demeurent schématiques, simplificatrices et déformantes, faute d'en maîtriser parfaitement les représentations théoriques, et faute de données fiables et disponibles.

En outre, la négociation climat apporte une complexité supplémentaire, les règles de rapportage ayant évolué entre la période Kyoto I (2008/2012) et la période suivante (post 2013). Sur la première période, la France s'est vue plafonner fortement son puits de carbone forestier puisque seulement 3,2 Mt CO₂ éq. peuvent être comptabilisées sur près de 60¹⁰¹.

Chaque année la France a notifié à la CCNUCC ses données d'inventaires, chaque notification annuelle met à jour la précédente ; l'édition 2012 présente les données 2010 et met à jour 2008 et 2009.

	2008	2009	2010
Activités art.3.3.	+7,6	+6,4	+3,4
boisement-reboisement	-7,2	-7,5	-7,8
défrichement	14,8	13,9	11,2
Activités art. 3.4.	- 59,6	-51,6	- 44,6
Plafond art.3.4	-3,2	-3,2	-3,2

¹⁰¹Concernant l'UTCF, sa prise en compte dans le cadre du Protocole de Kyoto est assurée par les articles 3.3 et 3.4 du Protocole.

- Sont rapportées sous l'article 3.3, les terres ayant subi depuis 1990, soit un boisement reboisement soit un défrichement.
- Sont rapportées sous l'article 3.4 les terres qui ne sont pas rapportées sous l'article 3.3 et qui sont ou ont été gérées (forêt, culture, prairie essentiellement) durant la période d'engagement. Au titre de l'article 3.4, le plafond de crédits défini pour la France est de 0,88 Mt C/an soit 3,2 Mt CO₂ éq. par an.

--	--	--	--

Source : soumission CCNUCC avril 2012. NB : une valeur négative indique un puits ; la diminution du puits en 2010 est liée à l'impact de la tempête KLAUS, et à celui d'un hiver froid en 2010 qui a entraîné une hausse de la consommation de bois-énergie.

L'INRA a réalisé pour le MAAF une projection des émissions du secteur UTCF à 2020 en France. Ce travail effectué en 2008 et actualisé en 2010 s'intitule « projections d'émissions et d'absorptions de gaz à effet de serre du secteur de l'Utilisation des Terres, leurs Changements et la Forêt (UTCF) à l'Horizon 2020 en France ». Il montre un accroissement important du puits forestier depuis 1990, lié à l'augmentation de la productivité forestière (la production est aujourd'hui supérieure de 40 % à son niveau de 1980), alors que la récolte est inférieure à la production depuis 40 ans. Plusieurs scénarios y sont décrits qui conduisent soit à une diminution du puits forestier par une intensification de l'exploitation, soit à une augmentation de ce puits, légère dans le scénario intégrant le paquet énergie-climat mobilisant le bois-énergie (+ 8 Mt CO₂ / an), mais très élevée dans le tendanciel (+ 55 Mt CO₂/an). Ces travaux insistent aussi sur la prudence avec laquelle il convient de considérer le sujet très complexe du secteur UTCF, d'autant que des corrélations fortes existent entre évolutions des terres agricoles et forestières (dans tous les scénarios la surface forestière continue de croître mais à un rythme plus modéré), entre quantité de carbone stocké et conditions climatiques (température, pluviométrie, etc.) et entre chronique de stockage et politiques de mobilisation des produits forestiers (notamment politique climat – énergie).

Un nouvel exercice de projections à 2020 doit être mené en 2013 par le CITEPA et l'IGN pour le compte de la DGEC.

Sur la période 2013 - 2020, le Protocole de Kyoto ne concerne plus que 15 % des émissions mondiales. La négociation multilatérale tendue sur la déforestation conçue comme enjeu de développement dans les pays en développement a abouti à de nouvelles conventions :

- le plafonnement a disparu et une possibilité est donnée de comptabiliser une durée de stockage de carbone hors forêt dans les matériaux produits dans chaque pays à partir de sa forêt (½ vie de 2 ans pour le papier, 25 ans pour les panneaux, 35 ans pour les sciages) ; le déficit de la France en produits bois ne lui permet pas d'en bénéficier ;
- l'UE s'est engagée à maintenir un puits forestier d'ici 2020, ce qui va à l'encontre des récoltes nécessaires à la partie « biomasse » du paquet énergie climat. Ainsi la France a-t-elle notifié un volume supplémentaire de 5 Mm³ de récolte au lieu des 25 à 40 Mm³ prévus par le Plan National EnR 2009/2020 et le scénario ADEME ;
- au sein de l'UE, le secteur UTCF avait jusqu'ici été écarté du paquet climat-énergie en raison de la complexité des phénomènes. Le projet européen pour la comptabilisation de l'UTCF (gestion forestière, boisement, déboisement, gestion des prairies et des cultures labourées) adopté par le parlement et le Conseil le 17 décembre 2012, repousse à 2021 la comptabilisation obligatoire de ces émissions, et d'autant l'inclusion du secteur dans la politique climat-énergie européenne (cf. annexe 6.).

La feuille de route 2050 de la Commission n'affiche pas de trajectoire ou de valeurs objectifs pour le secteur UTCF. Elle indique néanmoins que « des pratiques agricoles et forestières améliorées peuvent accroître la capacité du secteur à préserver et à séquestrer le carbone dans les sols et les forêts » (mesures ciblées pour préserver les prairies, restaurer les zones humides et les tourbières, ne pas travailler le sol ou peu, réduire l'érosion et permettre le développement des forêts) et que « L'agriculture et la foresterie fournissent également des ressources pour la bioénergie et de l'alimentation pour le bétail, une contribution qui va nécessairement augmenter avec le temps ». Les études de modélisation manquent pour l'optimisation de ces bilans, et les conséquences socio-économiques sur les secteurs agricole et forestier sont difficiles à évaluer.

Enfin, la question de l'impact du changement climatique sur l'agriculture et les forêts fait l'objet de méta-programmes de recherche depuis le début des années 2000, et interfère considérablement avec la participation de ces secteurs aux politiques d'atténuation. Sur la forêt, on peut citer les projets CARBOFOR, CLIMATOR, DRYADE, ACCAF NOMADE ECHOES et TRAITAUT2. L'ensemble de la communauté scientifique et gestionnaire est ainsi questionnée sur les orientations à envisager en matière de choix des essences et de sylviculture adaptative, ou innovante, permettant des « choix sans regrets » et pouvant combiner les services attendus en éco-matériau et éco-énergie dans les scénarios « facteur 4 » qui s'appuient fortement sur la biomasse. Là encore les besoins de modélisation sont très importants et à ce stade très peu couverts, faute de moyens dans les équipes de recherche dédiées.

14. L'essentiel des méthodes propres à réduire les émissions de GES dans l'agriculture UTCF étant d'ores et déjà connu, développer les études et expérimentations technico-économiques explorant les conditions économiques et sociales de leur déploiement, et en déduire les aides nécessaires via la PAC et/ou l'inclusion dans les marchés de carbone.

5.4. Les problématiques spécifiques au secteur « Agriculture UTCF »

La réduction des émissions du secteur agricole, au sens strict du rapportage CITEPA ou au sens large comme l'entendent les exercices de projections évoqués suppose une approche systémique qui fait intervenir des considérations liées à la demande alimentaire, à l'occupation des terres et aux politiques du commerce extérieur. Elle est donc particulièrement complexe.

5.4.1. Les coûts d'abattement : l'étude du potentiel agricole pour l'atténuation des émissions de GES en France et le projet REACTIF

Parallèlement aux approches macroéconomiques, des acteurs institutionnels (MAAF, MEDDE, ADEME) développent avec l'INRA une étude dont la restitution est prévue mi-2013, sur la sélection d'une dizaine de mesures de réduction des émissions : les 11 mesures sélectionnées au niveau de l'exploitation appartiennent aux quatre enjeux déjà rencontrés au niveau des projections macro économiques :

- fertilisation azotée : optimisation des apports, accroissement des légumineuses ;

- pratiques stockant du carbone dans le sol et la biomasse : agroforesterie, non labour, cultures intercalaires, gestion des prairies ;
- ajustement des rations animales : réduction de la fermentation entérique et de la teneur en azote des effluents ;
- gestion des effluents, méthanisation et maîtrise de la consommation énergétique.

Ces mesures sont identifiées depuis longtemps par les agronomes, mais la modification marginale des pratiques ne paraît pas, à ce stade, suffire pour obtenir des atténuations importantes. Seules des modifications systémiques (vues dans les études macro) semblent appropriées, encore faut-il pouvoir évaluer leur efficacité technique et financière au niveau de l'exploitation, ce qui constitue la difficulté principale. Il s'agit d'une avancée nécessaire aussi sur le plan politique : ce n'est qu'une fois identifiées les marges de progrès et leur coût pour l'exploitant, pouvant faire apparaître un coût d'abattement de la t CO₂ éq. évitée, qu'une éventuelle incitation par la PAC ou par l'inclusion du secteur agricole dans le SCEQE ou dans un marché dédié pourra être envisagée.

De même, l'ADEME a lancé en 2011 un appel à projet de recherche REACCTIF (recherche sur l'atténuation du changement climatique par l'agriculture et la forêt) pour améliorer la connaissance sur les contributions de ces secteurs à l'atténuation (par la production de biomasse et l'efficacité énergétique), en particulier sur les systèmes prairiaux, agricoles et forestiers à l'échelle des territoires. Quinze projets sont en cours de sélection, qui visent à mieux modéliser les flux de carbone et d'azote dans les sols, et à imaginer de nouveaux modèles productifs (agroforesterie) conçus pour optimiser les flux de carbone entre séquestration dans les sols et production de biomasse ligno-cellulosique, ou à améliorer l'évaluation environnementale globale de ces systèmes. Un deuxième appel à propositions de recherche (APR) aura lieu en 2013.

Notons que la Caisse des dépôts et consignations (CDC Climat) a récemment mis sur pied un club carbone agricole, en parallèle du club carbone forêt bois qui existe depuis 2010. L'objet de ces clubs est de réunir les acteurs économiques de ces secteurs pour partager de l'information et de la réflexion autour de la réduction des émissions, et en particulier des projets domestiques qui permettent de réduire les émissions en finançant les investissements via des crédits carbone obtenus sur les divers marchés existants.

5.4.2. L'UTCF

À ce stade, le domaine de l'UTCF apparaît plus comme l'indicateur ou le révélateur de phénomènes à l'œuvre, plus ou moins maîtrisés, à diverses échelles (extension urbaine et des infrastructures, abandon et boisement de certaines terres agricoles, absence de gestion d'une grande partie de la forêt privée) que comme le reflet d'une stratégie d'ensemble d'aménagement du territoire. Certes, il y a ici ou là des initiatives de certains ministères pour limiter la consommation excessive de terres agricoles, ou surmonter l'insuffisante mise en valeur de la forêt française, mais elles n'apparaissent pas motivées en premier lieu par des considérations liées aux émissions de GES.

L'amélioration du bilan UTCF passerait par des leviers de politiques publiques aussi divers que l'aménagement du territoire, l'urbanisme, la politique énergétique et industrielle, la politique forestière et agricole, etc.

15. Recenser les facteurs (y compris les normes réglementaires) qui favorisent actuellement l'artificialisation des sols.

16. Développer des recherches sur les causes (tenant notamment à la dérégulation du marché foncier et au droit de l'urbanisme) qui favorisent le développement de l'habitat dispersé et les déplacements motorisés.

17. Développer études et recherches sur les conséquences en termes d'émission de GES des différentes formes d'artificialisation des sols et notamment de l'éclatement urbain.

La question se pose également de savoir si l'amélioration du bilan UTCF est une fin en soi, le secteur étant amené à fournir des biens et services aux autres secteurs pour décarboner l'économie : vaut-il mieux conserver à tout prix le puits forestier (au risque de le voir s'annuler en 2030 comme le prédisent certaines études), ou mettre en place des stratégies de mobilisation de la production forestière pour satisfaire les besoins de réduction des autres secteurs (énergie, bâtiment, transport) en s'acquittant si besoin est des pénalités prévues par l'après Kyoto pour non conservation du puits ? La question du développement soutenable de la biomasse matériau et énergie, pris en considérant l'ensemble des impacts sur les changements d'usage des sols a été posée par le rapport « *les usages non alimentaires de la biomasse* »¹⁰² de septembre 2012.

En tout état de cause, une amélioration de la connaissance sur les flux de carbone et d'azote dans les sols agricoles et forestiers et dans la biomasse qu'ils portent apparaît comme indispensable ; y contribuent :

- le programme de recherche GESSOL (fonctions environnementales et gestion du patrimoine sol) financés par le MEDDE et l'ADEME ;
- l'analyse en cours à l'ADEME du bilan des émissions de GES de la filière bois énergie en relation avec le stockage de carbone en forêt ;
- les travaux du groupement d'intérêt scientifique sur les sols (GIS So) qui permettent de financer avec le concours de l'ADEME le recensement de données sur la composition des sols en France ;
- les études réalisées sur les changements d'affectation des sols en France et dans le monde, et la mise en place projetée d'un groupement d'intérêt scientifique (GIS) ADEME – INRA sur ce sujet.

Dans le domaine forestier, les enjeux sont à la fois de préparer l'adaptation des forêts au changement climatique et de les faire participer pleinement aux politiques d'atténuation des émissions.

¹⁰² CGEDD 008149-01, CGAAER 11132 et 11135, CGEiet 2012/13.

D'après les travaux récents sur l'adaptation au changement climatique, une meilleure résilience des forêts, garante du puits forestier à long terme, nécessitera dans de nombreuses situations des peuplements moins denses et moins exigeants en eau, ce facteur devenant limitant à certaines saisons. Pour éviter des dépérissements massifs, qui aggraveraient d'autant les émissions de GES, il sera nécessaire de développer des modèles sylvicoles adaptatifs, présentant des cycles plus courts pour faciliter autant que possible les transitions, voire de replanter (cf. rapport ROMAN-AMAT « adapter les forêts françaises au changement climatique » 2007).

Les contributions des forêts à l'atténuation sont communément dénommées « les 3 S », séquestration (en forêt dans les sols et les arbres), stockage (de carbone dans les produits en bois), substitution (de matériau bois à des matériaux dont le processus de fabrication est plus émetteur). Pleinement exploitées dans la substitution énergétique, elles le sont très peu en ce qui concerne le matériau, bien que l'étude du PIPAME¹⁰³ développée en 2011 par le cabinet ALCIMED à la demande de la DGPAAT et de la DGCIS sur l'avenir de la filière bois identifie le stockage du carbone dans le matériau bois comme un atout primordial.

La recherche forestière s'interroge donc d'une part sur les moyens de produire davantage de biomasse en forêt, tout en maîtrisant les impacts sur les sols et la biodiversité, d'autre part sur les stratégies et outils de mesure pour « gérer au mieux les différentes valeurs carbone » : stocks dans la biomasse et les sols, stocks dans les produits, émissions évitées d'énergies fossiles, usages en cascade (matériau/recyclage/énergie). Ces questions supposent de développer une modélisation technique mais aussi économique pour comparer des itinéraires sylvicoles et des scénarios de gestion, sujets sur lesquels la France apparaît en retard (les publications récentes sont américaines, suisses et scandinaves). Les modèles sylvicoles devront également tenir compte de la demande des marchés : bois séchés, normés, plus petits, moins chers, adaptés à des techniques de collage et d'aboutage, alors que la sylviculture de feuillus de qualité, spécialité française, voit ses marchés traditionnels se restreindre (abandon du massif et du placage).

Relever ces défis sera très difficile. Le modèle économique de la gestion forestière durable, selon lequel l'ensemble des services rendus par les forêts se trouve rémunéré principalement par la recette des coupes de bois, est aujourd'hui fragilisé en France par diverses évolutions qui ont conduit à des délocalisations industrielles : baisse tendancielle des prix du bois d'œuvre depuis 40 ans, aggravée par les tempêtes de 1999 et 2009 et relayée par les effets de la crise, concurrence des pays émergents. La récolte stagne, la capacité de sciage diminue. La France exporte ses grumes et importe des sciages. Les nouvelles technologies du bois matériau et de la chimie du bois ne sont pas matures économiquement. Les politiques publiques ne soutiennent que le débouché énergétique, le plus faiblement rémunéré, qui ne permet pas le financement des renouvellements à conduire.

Devant cette situation, les professions de la filière bois ont présenté en 2012 un « projet forêt bois pour la France », financé à partir du produit des enchères des crédits carbone du SCEQE, qui combine un plan d'action amont pour investir en forêt, un plan d'action aval pour développer tous les segments d'utilisation du bois, en particulier du feuillu majoritaire en France, et une gouvernance dédiée associant l'État et les filières impliquées. La feuille de route pour la transition énergétique a prévu une mission CGAAER/CGEIET/CGEDD d'évaluation de ce projet, qui n'a pas obtenu le financement escompté en 2013, la totalité des produits des enchères carbone ayant

¹⁰³ Pôle interministériel de prospective et d'anticipation des mutations économiques.

été destinée à l'amélioration énergétique du logement via l'Agence nationale de l'amélioration de l'habitat (ANAH). La question de la création et du financement d'un outil pérenne d'aide à l'investissement forestier (le Fonds carbone forêt bois) également préconisé par le rapport sur la biomasse précédemment cité, se trouve désormais posée dans les réflexions préalables à la préparation de la loi d'avenir sur l'agriculture et la forêt, prévue pour 2013. À plus long terme, on peut, comme le fait le « club carbone forêt bois » de CDC Climat, s'interroger sur la cohérence de l'approche du secteur UTCF au niveau européen et national, qui ne permet pas de fournir un financement carbone à une gestion plus active des forêts, nécessaire à la permanence d'un puits de carbone à long terme et à la fourniture des matériaux et énergies substituables au fossile (cf. Annexe 6.).

18. Envisager le bois stocké (par exemple dans la construction) comme un moyen compétitif de séquestration du carbone et mettre en œuvre un programme cohérent de mobilisation et de valorisation de la ressource forestière.

19. Développer des modélisations sylvicoles et économiques permettant de répondre à la nécessité d'une gestion plus active des forêts, en réponse aux besoins d'adaptation et d'atténuation nés des effets du changement climatique.

5.4.3. Synthèse agriculture UTCF

Le secteur de l'agriculture et de l'utilisation des terres et de la forêt sera amené dans les prochaines décennies à fournir davantage de produits pour décarboner les autres secteurs de l'économie. Il est trop tôt pour évaluer correctement les coûts d'abattement des émissions agricoles au sens strict, mais il est vraisemblable que les réductions seront limitées à un « facteur 2 », si l'impact du changement climatique sur les rendements agricoles reste limité.

L'intégration de la forêt dans cette atténuation est largement étudiée et modélisée dans les pays forestiers (États-Unis, Canada, Suisse, pays scandinaves). Elle reste en revanche abordée par défaut en France. La recherche a fait des progrès importants sur l'impact du changement climatique sur les forêts et leur adaptation, mais il manque encore une cohérence et une vision d'ensemble qui permettrait de développer une stratégie de substitution des produits et des énergies renouvelables, tout en optimisant la gestion du cycle du carbone forestier. À cet égard, le secteur privé apparaît assez réactif et prompt à se saisir des problématiques générales, même s'il ne dispose pas des outils académiques permettant de formuler l'ensemble des enjeux.

Les pouvoirs publics ont donc une responsabilité et un champ d'action dans l'émergence d'une vision « systémique » de la participation du secteur à l'atténuation, et dans la mise au point de nouveaux instruments économiques susceptibles de rémunérer les services écosystémiques rendus par les forêts dans un contexte où la valorisation du produit bois s'avère sans cela durablement insuffisante.

6. Le secteur du bâtiment

6.1. État des lieux et prévisions sur le bâtiment

Le secteur du bâtiment (apparaissant le plus souvent dans les documents relatifs à l'énergie ou l'effet de serre sous l'intitulé « Résidentiel-Tertiaire ») représentait en 2011 une consommation d'énergie finale de 68,5 Mtep, dont 50,2 pour le résidentiel et 18,4 pour le tertiaire (source : SOeS, bilan énergétique de la France pour 2011, juillet 2012).

Soit en pourcentage de la consommation totale d'énergie finale en 2011, 44,1 %, dont 32,2 % pour le Résidentiel et 11,9 % pour le Tertiaire.

En matière d'émissions de CO₂, les chiffres 2011 (même source) sont de 89 Mt CO₂ pour l'ensemble, dont :

- 68 Mt CO₂ pour les logements ;
- et 21 Mt CO₂ pour le tertiaire (bureaux, hôpitaux, commerces,...).

Depuis 1990, les consommations d'énergie ont augmenté, tant en valeur absolue (57,7 Mtep en 1990 devenant 68,5 en 2011) qu'en proportion de la consommation finale totale (de 41 à 44,1 %) tandis que les émissions de CO₂ liées à la combustion d'énergie fossile¹⁰⁴ augmentaient plus modérément en valeur absolue (de 85 à 89 Mt CO₂) et restaient stables en valeur relative (25,4 % en 2011 comme en 1990).

Il est probable que cette « décarbonation » tient au poids croissant du chauffage électrique, mais aussi du gaz, dans la construction neuve de logements, dans les années 1990 et 2000, au détriment du fioul domestique¹⁰⁵.

Donc, en 2011, le secteur représente 44 % de la consommation d'énergie et 25 % des émissions de CO₂.

Notons que l'économie d'énergie dans le bâtiment en général a pour effet de « libérer » de l'énergie décarbonée ou peu carbonée qui pourra être substituée à de l'énergie carbonée dans d'autres secteurs. Économiser 1 kWh dans le bâtiment a, toutes choses égales par ailleurs, le même effet positif sur les émissions de GES que la même économie dans un autre secteur.

6.1.1. Les objectifs

C'est sans doute l'importance de ce gisement d'amélioration qui a conduit les promoteurs du « Grenelle » à consacrer au secteur du bâtiment les quatre premiers « comités opérationnels Grenelle » formés à l'automne 2007 :

¹⁰⁴ À distinguer des émissions de GES dues à l'ensemble du secteur. Ces chiffres n'intègrent pas les émissions de GES issues de la production de l'énergie.

¹⁰⁵ De 1990 à 2011, la consommation de produits pétroliers par le secteur « résidentiel/tertiaire » est passée de 18 à 11,6 Mt ep, celle d'électricité de 14,9 à 25, celle de gaz de 13,8 à 21,9, celle du charbon de 1,8 à 0,3, et donc celle, totale, d'énergie fossile de 33,6 à 33,8.

- comité n° 1 : bâtiments neufs ;
- comité n° 2 : logement social ;
- comité n° 3 : bâtiments existants autres que le logement social (i.e. maisons individuelles, copropriétés, tertiaire) ;
- comité n° 4 : « État exemplaire ».

Les propositions de ces comités ont pour la plupart été reprises dans la loi dite « Grenelle 1 »¹⁰⁶, dont le chapitre I s'ouvre sur cette forte résolution :

« Article 3 :

Le secteur du bâtiment, qui consomme plus de 40 % de l'énergie finale et contribue pour près du quart aux émissions nationales de gaz à effet de serre, représente le principal gisement d'économies d'énergie exploitable immédiatement. Un plan de rénovation énergétique et thermique des bâtiments existants et de réduction des consommations énergétiques des constructions neuves, réalisé à grande échelle, réduira durablement les dépenses énergétiques, améliorera le pouvoir d'achat des ménages et contribuera à la réduction des émissions de dioxyde de carbone. Cette amélioration implique le développement et la diffusion de nouvelles technologies dans la construction neuve et la mise en œuvre d'un programme de rénovation accélérée du parc existant, en prenant systématiquement en compte l'objectif d'accessibilité aux personnes présentant un handicap au sens de l'article L. 114 du code de l'action sociale et des familles ».

Concrètement,

- l'article 4 reprend, s'agissant des constructions neuves, l'objectif du comité n° 1, celui d'une évolution très ambitieuse de la réglementation thermique, avec deux étapes :
 - x 1) fin 2012, généralisation des bâtiments dits « BBC » (basse consommation) avec une consommation d'énergie primaire limitée (en moyenne) à 50kWh d'énergie primaire par mètre carré et par an ; cela représente une division par trois des maxima de consommation énergétique posés par la précédente réglementation thermique, dite RT 2005, datant comme son nom l'indique de 2005 ;
 - x 2) fin 2020, généralisation des bâtiments dits « à énergie positive », c'est-à-dire produisant plus d'énergie (renouvelable¹⁰⁷) qu'ils n'en consomment.
- L'article 5 concerne le parc des bâtiments existants, où l'État se fixe l'objectif d'une réduction « d'au moins 38 % » d'ici à 2020, de sa consommation d'énergie, notamment grâce à la « rénovation complète » de 400 000 logements par an à compter de 2013.

¹⁰⁶ Loi n° 2009-967 du 3 août 2009 (J.O. du 5 août 2009).

¹⁰⁷ Et « notamment le bois-énergie » ajoute curieusement le texte de la loi. Le bois-énergie est certes une énergie renouvelable, mais elle n'est pas produite dans, ou par, un bâtiment.

L'État et ses établissements publics doivent procéder à l'audit de leurs bâtiments avant 2010, et engager leur rénovation avant 2012, dans l'objectif de réduire d'au moins 40 % leurs consommations d'énergie et d'au moins 50 % leurs émissions de gaz à effet de serre « dans un délai de huit ans » et donc d'ici à 2020. C'est bien ce qu'avait proposé le comité n° 4, qui avait a priori privilégié la réduction des émissions de GES, mais avait ajouté l'objectif secondaire d'une baisse des consommations, donc des dépenses d'énergie, pour stimuler le zèle de certaines administrations.

Dans ce même article 5, l'État se fixe également l'objectif de « la rénovation de l'ensemble du parc de logements sociaux », en commençant par les 800 000 les plus énergivores (ceux dont la consommation excède 230 kWh d'énergie primaire par m² et par an) pour ramener cette consommation à moins de 130 kWh d'énergie primaire/m²/an avant 2020. Le rythme de ces rénovations est même précisé : 40 000 en 2009, 60 000 en 2010, puis 70 000 par an à compter de 2011.

Le reste de l'article 5 est consacré aux dispositifs d'incitation, dans le droit fil de la recommandation du comité n° 3 : « Inciter, puis contraindre », ainsi que la constitution « d'un groupement de l'ensemble des acteurs du plan de rénovation des bâtiments pour suivre et adapter les chantiers de rénovation en matière d'économie d'énergie dans les secteurs résidentiels et tertiaire », répondant ainsi à l'une des observations du rapport de 2006 de l'Assemblée Nationale sur la lutte contre l'effet de serre (cf. annexe 7.) s'inquiétant de l'émiettement des nombreuses filières.

Globalement, on peut noter que, s'agissant du secteur du bâtiment, la loi « Grenelle 1 » comporte de grandes ambitions en matière d'économie d'énergie, mais finalement assez peu en matière d'émissions de gaz à effet de serre¹⁰⁸, et cela malgré le rappel, dans son article 1, de l'urgence de la lutte contre le changement climatique. Le choix retenu dans la « RT 2012 » de calculer en énergie primaire et non en énergie finale illustre cette orientation, qui mérite d'être infléchie à l'avenir.

20. Dans le domaine du bâtiment, redonner la priorité à la lutte contre les émissions de GES ; reconsidérer à cet égard le principe de l'évaluation en énergie primaire.

La loi dite « Grenelle 2 » ne fixe guère d'objectifs nouveaux au secteur du bâtiment, mais définit plutôt des outils. Il y a lieu toutefois d'y relever un premier élément de contrainte relatif au traitement du parc existant :

« Art. L. 111-10-3. – Des travaux d'amélioration de la performance énergétique sont réalisés dans les bâtiments existants à usage tertiaire ou dans lesquels s'exerce une activité de service public dans un délai de huit ans à compter du 1er janvier 2012 ».

6.1.2. État des lieux

À noter tout d'abord que le « groupement de l'ensemble des acteurs » prévu par l'article 5 de la loi « Grenelle 1 » a effectivement été constitué, sous l'intitulé de « Plan Bâtiment Grenelle », récemment reconduit en « Plan Bâtiment Durable ». Cette structure originale, placée sous la responsabilité d'un membre de la société civile, ancien président du comité opérationnel Grenelle n° 3, a réalisé un excellent travail de

¹⁰⁸ Le seul objectif chiffré les concernant est celui des bâtiments de l'Etat (réduction de 50 % d'ici à 2020). Il y a toutefois lieu de noter que, s'agissant des bâtiments neufs, la loi prévoit des modulations, en fonction de la qualité de l'énergie consommée, de l'objectif quantitatif de réduction de la consommation d'énergie primaire.

création d'une solidarité entre les multiples filières du bâtiment, facteur de concertation et d'innovation.

Par rapport aux objectifs fixés, la situation en 2012 est la suivante :

En matière de constructions neuves, les objectifs de la loi « Grenelle 1 » ont été mieux que respectés : la réglementation thermique RT 2012, intégralement en vigueur au 1^{er} janvier 2013, respecte les ambitions de la loi, et semble admise par l'ensemble des professionnels. Mieux, son application a été largement anticipée par de nombreux constructeurs de logements, qui ont souhaité conférer à leurs programmes le label volontaire « BBC » (Bâtiment Basse Consommation) attestant un niveau de performance énergétique identique à celui visé par RT 2012¹⁰⁹.

Cela semble indiquer que des opérateurs souvent privés (tels que la filiale de promotion immobilière de Bouygues) étaient d'ores et déjà convaincus de la « rentabilité » des exigences de la RT 2012, rentabilité qui n'est toutefois pas évidente à l'aune des critères du secteur privé (cf. annexe 9.).

L'étape suivante, celle des « BEPOS » (Bâtiments à Énergie Positive), prévue pour 2020, donne lieu d'ores et déjà, sous l'égide du Plan Bâtiment Grenelle, à des réflexions paraissant très fécondes, recoupant très largement les descriptions de la « troisième révolution industrielle » de Jeremy Rifkin¹¹⁰ : décentralisation de la gestion de l'énergie, approche globale recoupant urbanisme, mobilité¹¹¹ et conception des bâtiments, prise en compte de l'énergie grise, c'est-à-dire de l'énergie et des émissions de gaz à effet de serre requises par la construction des bâtiments. Il semble donc exclu que cette future réglementation impose abruptement que tout bâtiment neuf doit obligatoirement produire plus d'énergie qu'il n'en consomme. On voit d'ailleurs mal comment cela pourrait s'appliquer, par exemple, à une tour de bureaux.

En matière de bâtiments existants, la situation est plus mitigée :

S'agissant du secteur résidentiel, la Cour des Comptes, dans son rapport relatif à l'impact budgétaire et fiscal du Grenelle Environnement (novembre 2011) crédite les deux mesures phares du dispositif d'incitation – le prêt à taux zéro (éco-PTZ) et le Crédit d'Impôt Développement Durable (CIDD) – d'un impact significatif sur les émissions de gaz à effet de serre « théoriques » : une réduction de 7,5 % en deux ans¹¹². Mais elle ajoute aussitôt qu'ils sont insuffisants – « tels qu'ils sont aujourd'hui calibrés et malgré leur coût élevé de 1,78 Md € » – pour atteindre l'objectif de réduction de 38 % de la consommation d'énergie.

En matière de logements privés, plus précisément, les inquiétudes s'aggravent en 2012, avec un quasi tarissement de la distribution des Eco-PTZ et un retard préoccupant du démarrage du programme « habiter mieux » de lutte contre la

¹⁰⁹ À la fin de 2011, ce sont 274 000 logements et 4,5 millions de m² de surface tertiaire qui ont fait l'objet d'une demande de certification BBC (source : rapport d'activité 2011, Plan Bâtiment Grenelle).

¹¹⁰ cf. 8.3. ci-dessous : « L'énergie « 2.0 » ».

¹¹¹ Selon un calcul d'Olivier Sidler, du bureau d'études ENERTECH, l'impact annuel des trajets quotidiens domicile/travail (5 km aller/retour) des usagers d'un immeuble de bureaux de type « BEPOS », ramené au mètre carré de bureau (10 m² par personne) est de l'ordre de 15 kWh/m² en tramway, et 200 kWh/m² en voiture particulière, pour une consommation totale d'énergie du bâtiment de 25 kWh/m².

¹¹² Source un peu mystérieuse. Le rapport précité du SOeS (juillet 2012) donne les chiffres suivants pour les émissions de CO₂ du secteur résidentiel 2009 : 70 Mt, 2010 : 66, 2011 : 68.

précarité énergétique, pourtant bien doté. Certes de nombreuses mesures techniques sont proposées pour pallier les difficultés rencontrées. Reste que l'aggravation de la crise économique et les craintes sur le pouvoir d'achat des ménages altèrent l'efficacité de toute politique d'incitation.

La situation est meilleure du côté du logement social, où certes l'exercice de la maîtrise d'ouvrage est plus facile qu'en copropriété. Il semble en effet que la mise en place de prêts bonifiés ait permis le respect de l'objectif de lancement en deux ans de la rénovation de 100 000 premiers logements.

L'objectif « État exemplaire », spécifique au parc immobilier de l'État, a pu bénéficier d'une excellente impulsion de départ avec la mise en place, au titre du plan de relance de la fin 2008, d'un crédit de 50 M€ destiné aux audits. Le lancement simultané de la « nouvelle politique immobilière de l'État » intégrait en principe les objectifs « Grenelle », mais le dispositif mis en place pour financer l'entretien et l'amélioration du parc, démarqué de la gestion immobilière classique, n'a pas été calibré pour faire face aux dépenses de rénovation thermique, ni d'ailleurs aux dépenses de mise en accessibilité. Les documents budgétaires continuent d'affirmer sereinement que les dotations budgétaires du programme LOLF¹¹³ 309 « Entretien du patrimoine immobilier de l'État », géré par France-Domaine, qui se montent à 200 M€/an environ pour l'ensemble des dépenses, vont permettre d'engager le programme de rénovation énergétique, pourtant estimé par le comité « Grenelle » n° 4 à 1 Md €/an pendant dix ans. Il est dans ces conditions bien douteux que des travaux significatifs puissent être engagés. Les ministères disposent pourtant encore de crédits budgétaires consacrés à l'immobilier, puisqu'ils lancent parfois d'ambitieux programmes de travaux neufs. Il est vrai que les ministères ne sont plus affectataires de leurs immeubles, mais simples occupants. Ils estiment alors que le gros entretien incombe au propriétaire, représenté par France-Domaine.

Enfin, de nombreuses réflexions ont été engagées sur les modalités concrètes de l'obligation de travaux dans le parc tertiaire, posée par la loi Grenelle 2. Des recommandations ont été formulées, dont certaines paraissent remettre en cause sinon l'objectif de 38 % d'économie de la loi Grenelle 1, du moins son articulation avec les obligations définies par le décret à paraître, qui seraient par exemple tempérées par la limitation à quinze ans du temps de retour sur investissement des travaux exigibles. Or, aux prix actuels de l'énergie, et sans prise en compte de l'accroissement de valeur patrimoniale, les temps de retour des opérations de rénovation pour un objectif tel que la division par deux des émissions de GES sont plutôt de l'ordre de trente à quarante ans.

Cela n'empêche pourtant pas certains investisseurs privés de financer des travaux parfois très importants, sans aucune mesure d'obligation ni même d'incitation.

Tel est le cas par exemple :

- de la tour « FIRST » à La Défense, où près de 300 M€ ont été investis dans la rénovation très spectaculaire d'une tour amiantée et obsolète. Certes, l'amélioration de la performance énergétique était loin d'être le seul objectif : il y avait aussi le désamiantage, et un accroissement notable des surfaces habitables (par surélévation partielle) et de l'agrément des lieux. Reste que l'économie d'énergie est de l'ordre de 75 % ;

¹¹³ Loi organique relative aux lois de finance.

- du programme de rénovation du siège du groupe Bouygues, qui vise notamment à diviser par 10 la consommation d'énergie, pour un montant d'investissement de 150 M€. Certes, il s'agit d'un investissement largement commercial, mais qui témoigne quand même d'une certaine confiance du groupe Bouygues dans la faisabilité technique, et le caractère généralisable au plan techno-économique d'une telle ambition sur le bâti existant.

Il convient de noter que la récente révision des directives européennes relatives à l'efficacité énergétique (directive 2012/27/UE du 25 octobre 2012) rappelle dès son article 5 l'importance du « rôle exemplaire des bâtiments appartenant à des organismes publics » mais ne fixe guère d'objectifs contraignants : seuls l'État est astreint – et pour une part seulement de son patrimoine immobilier – à une obligation assez modeste de « rénovation » annuelle de 3 % des surfaces. Ce n'est donc pas cette directive, que les États membres doivent transposer au plus tard le 5 juin 2014, qui va restaurer en France l'ambition initiale « État exemplaire » issue du Grenelle. Un peu paradoxalement, certaines collectivités locales, notamment les régions, vont sans doute augmenter leur avance sur l'État, alors que la directive européenne ne leur impose aucune contrainte.

6.1.3. Perspectives

Tout n'est donc pas si noir. La réelle réussite du volet « constructions neuves » du programme montre déjà que les différentes filières du bâtiment et des travaux publics (BTP), pourtant traditionnellement très cloisonnées en France, ont pu surmonter les difficultés techniques et les divergences culturelles pour trouver un consensus sur les objectifs et garantir leur faisabilité technique.

Reste qu'une certaine « préférence pour le neuf » est manifeste chez certains acteurs. Bien évidemment les besoins de constructions neuves restent importants, surtout bien sûr dans le logement. Mais en matière, par exemple, de bâtiments publics, et tout particulièrement de patrimoine immobilier de l'État, la tendance devrait être plutôt à la baisse des surfaces, permettant au passage de financer l'amélioration du patrimoine conservé grâce aux recettes provenant de la vente des immeubles devenus inutiles du fait de la baisse des effectifs de fonctionnaires. Or, comme il a été signalé, certains ministères « portent » encore des projets de constructions neuves assez pharaoniques. On entend dire alors que l'abandon de certaines surfaces, au bénéfice de la construction de bâtiments plus compacts et très performants, va permettre d'atteindre les objectifs du Grenelle, en consommation d'énergie ou en émissions de gaz à effet de serre, sans avoir à s'occuper du patrimoine existant. Quand bien même cela serait vrai, ce serait au prix d'un grand gaspillage de ressources. On montre facilement (cf. annexe 8.) qu'il est bien plus efficace de consacrer un même budget à l'amélioration du parc existant qu'à la substitution de bâtiments neufs, grands consommateurs d'énergie grise¹¹⁴ quel que soit leur niveau de performance thermique, aux bâtiments anciens. Le bâtiment le plus vert est bien celui qu'on ne construit pas !

¹¹⁴ Pour un bâtiment de faible consommation, l'énergie grise peut représenter 50 années de consommation de chauffage. Le bureau d'études ENERTECH a estimé à 1300 kWh/m² l'énergie grise contenue dans un bâtiment de bureaux « à énergie positive » (sic), dont, soit dit en passant, 20 % soit 260 kWh/m² pour les panneaux photovoltaïques. Même les isolants contiennent de l'énergie grise, en quantité d'ailleurs très variable : une couche de laine de verre de 25 cm nécessite pour sa fabrication environ 300kWh d'énergie par mètre carré pour sa fabrication, et permet d'économiser environ 100kWh par an et par mètre carré. Une couche de 30 cm de ouate de cellulose permet des économies analogues, pour un coût énergétique de production de 15 kWh par mètre carré, soit vingt fois moins.

Il convient alors de rappeler sans relâche la nécessité d'une réelle mobilisation des ressources, financières et humaines, sur le parc existant : on prévoit qu'en 2050, il y aura 35 millions de résidences principales, dont 25 millions sont déjà construites !

Les solutions techniques existent. À titre d'exemple, l'étude « Habitat facteur 4 » (LATTS¹¹⁵, CNRS, EDF/RetD¹¹⁶, GDF Suez), publiée par le « CLIP » en novembre 2010, distingue quatre scénarios, dosant différemment le « mix » énergétique alimentant le parc de logements, conduisant à des réductions des émissions de GES en 2050 allant de 2,5 à 16. Il est au passage précisé que le facteur 4 sur les émissions de CO₂ n'impose pas un facteur 4 sur l'énergie, ni en énergie finale, ni en énergie primaire, sous la réserve bien sûr de disposer d'énergies peu carbonées, telles que le bois, en quantité suffisante. C'est d'ailleurs une conclusion bien naturelle et intuitive : en convertissant au bois la chaufferie centrale d'un hôpital ou d'une faculté, on en réduit les émissions de GES de 80 %. Si, en outre, on a préalablement divisé par deux le besoin de chauffage, en améliorant l'enveloppe des bâtiments et des équipements¹¹⁷ on atteint 90 %, etc.

Reste bien sûr la nécessité, soulignée par le rapport précité, de « politiques publiques fortes, allant bien au-delà des instruments incitatifs disponibles actuellement ».

Une telle résolution pourrait d'ailleurs utilement s'appliquer aussi à l'amélioration de l'exploitation des systèmes, qui a longtemps constitué une rente pour les opérateurs spécialisés, ainsi qu'à l'inflexion des comportements des usagers qui – du moins quand ils ont les moyens de payer leurs factures d'énergie – semblent avoir bien oublié l'exigence, pourtant posée par la loi, des 19° C.

6.2. Problématiques du secteur du bâtiment

6.2.1. Logement et tertiaire

Le secteur du bâtiment comporte, comme on l'a vu, deux sous-secteurs, celui du logement et celui du tertiaire, représentant respectivement environ 3/4 et 1/4 des consommations d'énergie comme des émissions directes de CO₂. Les réglementations thermiques applicables aux deux types de bâtiments sont aujourd'hui comparables pour ce qui est des constructions neuves. Diffèrent en revanche les contraintes réglementaires, mais surtout les conditions d'intervention des décisions concernant l'amélioration des bâtiments existants.

6.2.2. La construction neuve, son impact et ses enseignements

On a vu dans la première partie que l'impact des objectifs ambitieux impartis à la construction neuve par les résolutions du « Grenelle » était loin d'être négligeable. Il représente environ le tiers des consommations et émissions actuelles du secteur. Mais il reste clair que le principal enjeu reste l'existant, dès lors qu'environ 25 des 36 millions de logements qui existeront en 2050 sont déjà construits.

¹¹⁵ Laboratoire techniques territoires et société de l'École nationale des Ponts et Chaussées.

¹¹⁶ Électricité de France Recherche et développement.

¹¹⁷ Sans oublier l'amélioration de l'exploitation et celle du comportement des usagers, dont on parle trop peu !

Le principal enseignement que l'on peut voir dans la mise au point, mais aussi dans l'acceptation de cette réglementation ambitieuse par les acteurs de la filière Construction comme par les acquéreurs de logements, c'est la vérification que les copieux gisements d'amélioration pressentis sont techniquement exploitables. On a cité en première partie l'étude « *Habitat facteur 4* » proposant des scénarios de réduction d'un facteur 16 des émissions du secteur résidentiel. Plus récemment, la « *Contribution de l'ADEME à l'élaboration de visions énergétiques 2030-2050* » avance les évolutions suivantes pour les émissions de gaz à effet de serre :

Mt Co ₂ éq	1990	2030	2050	% 2050/1990
résidentiel	66	26	9	-86,36 %
tertiaire	30	13	2	-93,33 %

La contribution du bâtiment s'établit au niveau du facteur 10, un peu supérieur au scénario proposé par le rapport Perthuis.

Certes, il s'agit là de scénarios volontaristes, intégrant l'objectif du facteur 4 en 2050 : globalement, les émissions de la France sont ramenées de 563 Mt d'équivalent CO₂ en 1990 à 150 en 2050. La contribution du bâtiment s'établit au niveau du facteur 10, un peu supérieur au scénario proposé par le rapport Perthuis, où la baisse des émissions de l'ensemble résidentiel tertiaire était de 85 %.

Un autre enseignement important des récents progrès énergétiques de la construction neuve, et qui semble démentir l'optimisme de telles projections, est que les consommations réelles sont en fait difficiles à calculer a priori. Presque tous les bâtiments de bureaux « basse consommation » construits ces dernières années et ayant fait l'objet d'une vérification soigneuse des performances ont donné lieu à des déconvenues, les consommations réelles s'établissant à un niveau nettement supérieur aux calculs de conception. Cela tient pour une part aux consommations d'électricité « spécifiques » exclues des réglementations et souvent des prévisions, telles que les consommations des systèmes informatiques. Cela tient aussi à des changements de programme, à des erreurs de mise en œuvre des matériaux, à des lacunes de la programmation des équipements, mais plus encore à des changements dans l'exploitation des bâtiments ou dans le comportement des occupants.

Il apparaît que ces imperfections sont souvent réparables. Lors d'une récente matinée de l'IFPEB (Institut Français de la Performance Énergétique des Bâtiments, regroupant le CSTB¹¹⁸ et divers grands maîtres d'ouvrages ou entreprises), l'exemple du récent siège social de Schneider Electric a donné lieu à une présentation détaillée : l'ancien siège avait une consommation, en énergie finale, de 320 kWh par m² et par an. L'année d'installation de l'entreprise dans son nouveau siège, la consommation réelle s'est établie au niveau décevant de 150 kWh/m²/an. Mais l'année suivante, elle avait baissé à 110, et un an plus tard, après il est vrai quelques investissements supplémentaires, elle s'établissait à 78 kWh/m²/an.

¹¹⁸ Centre scientifique et technique du bâtiment.

21. Dans le domaine du bâtiment, poser clairement le plus tôt possible les problématiques d'écart entre les économies théoriques et les économies constatées de façon à engager la recherche de solutions. Développer la recherche et les études permettant de comprendre les causes de ces écarts, pour s'efforcer d'y remédier.

Que conclure de telles péripéties ? D'abord, certes, que la garantie de performance reste un sérieux enjeu : si des déconvenues sont fréquentes en construction neuve, alors elles risquent d'être pires en rénovation, et de dissuader les propriétaires et plus encore les investisseurs de se lancer dans de telles aventures. Mais aussi que si une construction neuve présente de tels gisements d'amélioration, fût-ce pour « rattraper » une déception initiale, alors il est possible et même probable que bien des constructions existantes, surtout dans le secteur tertiaire, présentent des opportunités analogues.

6.2.3. Les coûts d'abattement

6.2.3.1. Quelques ordres de grandeur

Les études précitées, proposant des scénarios de contraction des émissions, notamment dans le secteur du bâtiment, se sont soigneusement écartées de toute estimation financière, qu'il s'agisse du budget de l'État ou de celui des ménages. On peut toutefois tenter d'approcher des ordres de grandeur.

On a vu que le secteur résidentiel émet en 2011 environ 68 Mt de CO₂. Pour un peu plus de 30 millions de logements cela représente environ deux tonnes par logement et par an.

Les estimations des coûts de rénovation thermique « ambitieuse » – de type « facteur 4 » – s'établissent le plus souvent entre 30 000 et 60 000 € par logement. Le prix de la tonne annuelle économisée est alors de 20 à 40 000 €, conduisant avec l'hypothèse optimiste d'une durée de vie de l'investissement de 40 ans, et sans actualisation des économies d'émissions, à un coût à la tonne de l'ordre de 500 à 1 000 €, ce qui est bien sûr considérable.

En considérant qu'il convient de rénover 25 millions de logements, le coût total à consentir est compris entre 750 et 1 500 Md €. Étalaé sur les quelque quarante ans qui nous séparent de 2050, l'investissement se monte alors, en chiffres ronds, de 20 à 40 Md€ par an, pour le seul secteur du résidentiel.

6.2.3.2. La nécessaire, mais difficile, hiérarchisation

L'ampleur de ces investissements pose bien sûr le problème de leur soutenabilité. Une récente étude (octobre 2012) de l'UFE (Union Française de l'Électricité)¹¹⁹, consacrée au seul objectif intermédiaire du « Grenelle », celui d'une baisse de 38 % en 2020 des consommations d'énergie du parc existant de bâtiments, annonce avec une franchise honorable, mais un peu abrupte, que :

¹¹⁹ Analysée par ailleurs au 1.3.4.4.

- « dans l'état actuel des politiques publiques, les objectifs de Grenelle ne sont pas atteignables », ce qui de fait est à peu près avéré au regard de l'état des lieux présenté en partie 1, et confirmé par une étude commandée en 2011 par le CGDD (Études et documents n° 58, Évaluation des mesures du Grenelle de l'Environnement sur le parc de logements) ;
- « le niveau actuel des prix des énergies ne permet pas de rentabiliser la plupart des actions d'efficacité énergétique ». Il s'agit là des actions qui s'ajouteraient à celles qui découlent des politiques publiques, et qui seraient donc spontanément engagées par les divers maîtres d'ouvrage (propriétaires occupants, bailleurs sociaux, gestionnaires d'immeubles tertiaires...).

De fait, l'étude précitée mettant assez haut la barre de la rentabilité, avec notamment une actualisation à 10 % des économies d'énergie ou d'émissions, elle ne considère comme rentables que peu d'actions, notamment pour les logements chauffés au gaz ou à l'électricité : l'isolation des combles en logement collectif, par exemple. La mise en place de pompes à chaleur air/air en remplacement de convecteurs, dans les logements chauffés à l'électricité, qui joue un grand rôle dans les scénarios de faisabilité technique, n'est qualifiée que de « proche du seuil de rentabilité » ; elle deviendrait rentable avec un taux d'actualisation de 5 % au lieu de 10 %. Fort heureusement, un tel taux est sans doute considéré comme acceptable par bien des propriétaires, comme a semblé le démontrer le comportement des acquéreurs de logements neufs à l'égard des bâtiments « BBC » préfigurant la RT 2012. Les propriétaires de logements chauffés au fuel sont par ailleurs mieux lotis, si l'on peut dire. Le remplacement des chaudières fuel par des chaudières à condensation gaz dans les maisons individuelles présenterait un taux de rentabilité interne de 30 %. Mais le gisement serait mince en quantité totale d'énergie économisée.

Le grand mérite de cette étude, réalisée par une analyse très complète des certificats d'économie d'énergie délivrés ces dernières années, est, en fait, de classer les diverses actions par rentabilité décroissante. Cela peut certes orienter les politiques publiques, mais n'est pas d'un très grand secours pour le propriétaire d'un logement, qui aura bien sûr besoin d'une étude particulière.

Car la « rentabilité » des actions d'efficacité énergétique ne varie pas seulement en fonction des diverses actions ; elle dépend aussi de la situation initiale du bâtiment considéré. L'étude précitée du CGDD comporte une matrice des « coûts de transition » entre les différentes classes du diagnostic de performance énergétique : passer de G à F coûterait ainsi 50 €/m², mais de B à A 350 €/m². On peut alors estimer les temps de retour sur investissement à 4 ans pour passer de G à F, mais à 100 ans pour passer de B à A.

6.2.3.3. *Le dilemme de l'enchaînement des tâches*

Il a été indiqué plus haut que les récentes réalisations de bâtiments très performants ont fait apparaître les importants gisements d'amélioration – ou de corrections d'erreurs – que comportaient les modalités d'exploitation et d'occupation, et ont suggéré que de tels gisements existent aussi dans l'existant, notamment dans les bâtiments tertiaires.

De fait, lors du lancement des comités opérationnels « Grenelle », les acteurs de l'efficacité énergétique « active » que sont les entreprises telles que Schneider Electric

(alors que l'efficacité énergétique « passive », reposant sur la performance de l'enveloppe a pour entreprise emblématique Saint-Gobain) ont souvent suggéré qu'ils étaient en mesure de garantir des réductions de consommation significatives, de l'ordre de 20 à 25 %, en intervenant sur des bâtiments tertiaires existants avec peu d'investissements, amortis en cinq à dix ans. La formule contractuelle proposée était celle du contrat de performance énergétique, avec obligation de résultat, et avec ou sans préfinancement par l'opérateur.

Il a certes été fait bon accueil à ces propositions, mais l'orientation générale du dispositif « Grenelle » a été nettement plus ambitieuse, et l'a été à juste titre, dès lors qu'il était déjà établi que le respect de l'objectif du « facteur 4 », posé dès 2005, imposait un effort considérable au secteur du bâtiment. Il a été dit et écrit que les principes du contrat de performance énergétique étaient excellents, mais qu'il convenait de les appliquer à des rénovations plus ambitieuses qu'une simple optimisation de l'exploitation à l'aide de quelques horloges ou capteurs. La principale difficulté paraissait alors de susciter l'offre correspondante de travaux : les grands groupes du BTP, alors dans une situation assez euphorique, manifestaient a priori peu d'enthousiasme pour des engagements de très longue durée, avec de plus une obligation de résultats fort difficile à assumer, comme le savent tous les maîtres d'ouvrage, dans les opérations de rénovation.

La situation a aujourd'hui bien changé : la crise a gravement affecté les budgets des autorités publiques, des investisseurs et des ménages et donné un coup de frein au boom de la construction. Les grandes entreprises du BTP, tout comme les petites et les artisans, mettent de grands espoirs dans le marché de la rénovation énergétique, et ont fait, comme on l'a dit, de grands progrès dans la qualité de leurs offres.

Reste que l'ampleur des investissements à consentir limite le zèle. L'État lui-même, qui s'était engagé à être « exemplaire » n'est pas vraiment sur le chemin de son « facteur 2 en dix ans » pourtant consacré par la loi « Grenelle 1 ».

On voit alors refluer la tentation de la rénovation « *light* », telle qu'elle était proposée en 2008, et alors même que la faisabilité technique des rénovations ambitieuses a été démontrée depuis.

C'est de fait une question difficile. Les partisans de l'efficacité énergétique « passive » – cet adjectif n'ayant rien de péjoratif – craignent que la réalisation prioritaire de telles rénovations « faciles » ne « tue le gisement » et ne viennent condamner, quelles que soient les résolutions vertueuses proclamées, toute intervention ultérieure plus ambitieuse. À quoi il est souvent répondu, et pas seulement par les tenants de l'efficacité active, que la minceur actuelle des ressources ne doit pas condamner à l'inaction, et qu'il vaut mieux gagner 20 % que rien du tout.

L'hésitation est permise. L'est bien sûr un peu moins ce qui semble être une persistante indifférence des occupants des bâtiments, résidentiels ou tertiaires, aux gaspillages induits par certains comportements, notamment en matière de respect des températures.

6.2.4. Synthèse du secteur bâtiment

Le secteur du bâtiment peut et doit jouer un grand rôle dans l'atteinte de l'objectif du facteur 4. Il est sans doute celui où la faisabilité technique d'une réduction très sensible des émissions, jusqu'à 90 %, voire au-delà, est d'ores et déjà acquise.

Dans son volet « construction neuve » gouvernant l'avenir des villes, il peut et doit contribuer aux progrès des autres secteurs, qu'il s'agisse de mobilité ou de production d'énergie renouvelable.

Le volet « bâtiments existants » est sans doute plus difficile à traiter, compte tenu de l'émiettement des acteurs, de la rareté des ressources, d'une certaine préférence culturelle pour la construction neuve, de la difficile naissance de la nécessaire garantie de résultat. Il est toutefois prometteur de grands bénéfices : résorption de la précarité, allègement des factures d'énergie fossile, création d'emplois non délocalisables. Le succès commercial des logements BBC, la réussite de rénovations très ambitieuses de bâtiments tertiaires complexes, sans la moindre obligation ni incitation de la part des pouvoirs publics, sont de nature à suggérer que la société française est prête à y consacrer les moyens nécessaires.

22. Confier aux grands opérateurs (notamment fournisseurs d'énergie) la mission de promouvoir des formules « clé en main » auprès de leurs clients, comportant étude technique et financière des travaux, offre de financement et remboursement intégré aux factures d'énergie.

23. Donner aux opérateurs précités des obligations annuelles de résultat relatifs à cette procédure « clé en main » sur le mode des certificats d'économie d'énergie.

24. Dimensionner ces obligations de résultat pour l'atteinte des objectifs fixés au niveau national en matière d'économies de GES (et non d'énergie).

25. Améliorer la connaissance du « gisement » d'économies de CO₂ dans le bâtiment et de la rentabilité globale de chaque catégorie de travaux selon les hypothèses d'évolution des coûts de l'énergie et tenir à jour cette connaissance. Promouvoir la recherche dans ce sens.

7. L'énergie

Le secteur de l'énergie produit selon la manière de l'envisager :

- 12 % des émissions de GES si l'on se borne aux émissions nécessaires pour produire l'énergie (industrie énergétiques)¹²⁰;
- 94,3 % des émissions de CO₂ (soit les 2/3 des émissions de GES) si l'on considère l'utilisation de l'énergie dans tous les secteurs de l'activité nationale¹²¹.

Ce secteur a été profondément réformé, notamment par deux lois récentes :

- la loi n° 2005-781 du 13 juillet 2005 de programme fixant les orientations de la politique énergétique (loi POPE) ;
- la loi n° 2010-1488 du 7 décembre 2010 portant nouvelle organisation du marché de l'électricité, dite loi NOME.

La loi POPE fixe la stratégie française et les objectifs à atteindre en matière d'énergie : maîtrise de la demande, diversification du bouquet énergétique, développement de la recherche et de l'innovation dans le secteur de l'énergie, maîtrise des moyens de transport et de stockage adaptés.

Cette loi fixe les objectifs de réduction des émissions de GES :

« La lutte contre le changement climatique est une priorité de la politique énergétique qui vise à diminuer de 3 % par an en moyenne les émissions de gaz à effet de serre de la France ».

« En outre, cette lutte devant être conduite par l'ensemble des États, la France soutient la définition d'un objectif de division par deux des émissions mondiales de gaz à effet de serre d'ici à 2050, ce qui nécessite, compte tenu des différences de consommation entre pays, une division par quatre ou cinq de ces émissions pour les pays développés ».

La loi NOME a, elle, pour objet principal de définir la répartition des rôles et les responsabilités de chacun des acteurs du secteur et leurs relations.

7.1. La prospective sur l'énergie : le rapport « *Énergie 2050* »

Le rapport « *Énergie 2050* » de la commission réunie à la demande du ministre chargé de l'industrie, de l'énergie et de l'économie numérique autour de Jacques Percebois et Claude Mandil (février 2012) examine quatre options d'évolution de l'offre d'électricité en France :

¹²⁰ CITEPA SECTEN 2010.

¹²¹ SOeS Chiffres clé du climat, éd. 2011. Origine CITEPA.

- la prolongation du parc nucléaire actuel ;
- l'accélération du passage à la troisième génération nucléaire, voire à la quatrième génération ;
- une réduction progressive du nucléaire ;
- une sortie complète du nucléaire.

Selon le rapport, « personne ne peut prédire ce que sera le paysage énergétique en 2050 ».

« En particulier, la contrainte du changement climatique est considérable. Il s'agit réellement d'opérer sans délai un changement complet de trajectoire et cela signifie que tous les outils à notre disposition seront nécessaires. C'est vrai pour l'offre : il faudra plus de renouvelables, plus de nucléaire, encore beaucoup d'énergie fossile et donc de la capture et de la séquestration du dioxyde de carbone, mais c'est tout aussi vrai pour la demande. Le point commun entre tous les scénarios que nous avons examinés est le rôle primordial de la sobriété (réduire la consommation de services énergétiques) et de l'efficacité (réduire la consommation d'énergie pour un même service rendu) ».

« Le développement de l'énergie éolienne, mais aussi du photovoltaïque au-delà de 2020, pose un problème d'intermittence qu'il ne faut pas sous-estimer dès que la part de ces énergies dans la production nationale d'électricité devient significative. Une grande attention doit être apportée à toutes les perspectives de stockage massif de l'énergie et de gestion de la demande, sans passer leurs coûts sous silence » (V. ci-dessous 7.2.4.).

7.2. Les choix dans le secteur de l'énergie

Le paramètre essentiel au regard du « facteur 4 » est le contenu moyen en GES (en analyse de cycle de vie – ACV) de l'unité d'énergie produite. Des plages d'incertitude très larges affectent les prévisions dans ce secteur. Elles sont de nature géopolitique, techno-économique, politique, sociale... Ces incertitudes interdisent à peu près toutes prévisions fondées en raison au-delà de 2025-2030 et peut-être même à un horizon plus court.

L'identification aussi exacte que possible des zones de savoir, d'ignorance ou d'incertitude paraît un préalable à la définition des stratégies publiques de « décarbonation » progressive de l'énergie.

Les combustibles fossiles font l'objet d'au moins deux données certaines :

- ils sont épuisables à échéance séculaire : chaque ressource passe (pour le pétrole) ou passera (pour le gaz et le charbon) un pic d'exploitation pour ensuite se raréfier progressivement. Seules les dates précises d'épuisement de chaque ressource sont incertaines ;

- l'atmosphère et les océans n'ont pas, et de loin¹²², la capacité à absorber sans dommages graves la totalité du CO₂ résultant de la combustion des ressources fossiles aujourd'hui estimées¹²³.

Les incertitudes sur les approvisionnements réguliers en combustibles fossiles provenant de zones politiquement instables préoccupent légitimement les États. On risque peu de se tromper en conjecturant une instabilité des conditions d'approvisionnement, l'évolution tendancielle des prix, forcément à la hausse sur le long terme, étant affecté au cours du temps par de forts soubresauts conjoncturels. Par exemple, le développement de l'exploitation des hydrocarbures non conventionnels, ou un effondrement brusque de la croissance chinoise, pourrait temporairement détendre le marché, tandis qu'un drame au Moyen-Orient peut générer une brusque pénurie.

La stratégie publique de progression vers le « facteur 4 », dans un contexte aussi accidenté, implique qu'on étudie et qu'on tienne prêtes des mesures pour les temps de pénurie (les systèmes de contingentements intelligents, par exemple) et des mesures pour les temps de détente (la taxation du CO₂ modulée, permettant de lisser la hausse tendancielle des prix de l'énergie, par exemple).

Le captage et la séquestration du CO₂ ouvrent des espoirs, et de nombreux prototypes fonctionnent dans le monde (notamment à Lacq, en Aquitaine) ou sont en projet (à Florange). Il y a là un enjeu industriel considérable pour les entreprises françaises, bien placées dans la compétition internationale. Mais le nombre et la diversité des problèmes à résoudre créent autant d'incertitudes sur la perspective d'un développement à grande échelle (la fourchette d'estimations du GIEC pour la CSC au niveau mondial à 2050 reflète ces incertitudes : « 15 à 55 % »). La redoutable question de l'acceptabilité sociale des stockages souterrains n'est notamment pas encore réellement abordée¹²⁴, de sorte qu'aucune prévision étayée de développement significatif ne semble possible aujourd'hui pour l'Europe et la France.

Les coûts d'abattement sont, sur cette technologie émergente, difficiles à estimer. On trouve dans la littérature des estimations incertaines des coûts d'abattement allant de 30 à 100 € / t CO₂ évitée, qui situent a priori ces techniques, sous réserve de faisabilité, dans le marché aux échéances où on peut espérer leur maturité.

7.2.1. Les hydrocarbures de roche-mère (gaz de schistes notamment) et le changement climatique

La question des « gaz de schistes » est abordée dans le débat médiatique au travers :

- de l'impact économique,
- de la sécurité et de la diversification de l'approvisionnement énergétique,
- de l'impact environnemental local,

¹²² Dans un rapport d'au moins 1 à 2 si on veut contenir la concentration atmosphérique à 450 ppm.

¹²³ En ce sens, l'activation de ressources fossiles « non conventionnelles » (gaz de schistes, sables bitumineux, etc.) est une mauvaise nouvelle sur le long terme.

¹²⁴ Par analogie avec d'autres projets de cette échelle, on peut penser que 10 ans représentent un temps relativement court pour concevoir et faire aboutir un projet de stockage souterrain sur un site donné.

- et de l'impact environnemental planétaire au travers de la comparaison avec d'autres sources hydrocarbonées, notamment le charbon.

La mission n'est pas qualifiée pour traiter des trois premiers points. En revanche, elle doit souligner que l'impact sur le changement climatique doit être analysé comme la conjonction d'au moins trois aspects :

- la comparaison avec les autres sources auxquelles cette ressource nouvelle se substitue ;
- les dégagements de méthane lors de l'extraction et du transport de ces hydrocarbures ;
- l'influence de ces disponibilités supplémentaires sur les volumes de consommation.

7.2.1.1. La comparaison avec les autres sources auxquelles cette ressource nouvelle se substitue

La comparaison des émissions de GES par unité d'énergie doit être comparée non pas avec l'énergie réputée la plus polluante (le charbon) mais avec le « mix énergétique » (voire le « mix énergétique marginal ») du pays utilisateur, en général moins carboné.

7.2.1.2. Les dégagements de méthane lors de l'extraction et du transport de ces hydrocarbures

Si le gaz de schiste émet lors de la combustion dans une centrale électrique environ 50 % de moins de CO₂ que le charbon, il suffit d'un dégagement dans l'atmosphère de 2 % de la ressource lors de l'extraction et du transport pour annuler cet avantage (le méthane ayant un PRG environ 25 fois supérieur au CO₂). La mission a pris connaissance d'études sur ce sujet aux conclusions contradictoires, mais il semble qu'aucune expertise collective scientifiquement validée ne garantisse que les fuites soient inférieures à cette proportion.

7.2.1.3. L'influence de ces disponibilités supplémentaires sur les volumes de consommation

Quand, dans un périmètre donné, la ressource d'énergie augmente toutes choses égales par ailleurs, les prix baissent et la consommation augmente. Il y a une élasticité entre l'offre et la consommation (qui peut être différente à court et à long terme). Sauf taxation adéquate¹²⁵, la croissance (ou la moindre décroissance) de la consommation contrariera (à quelle hauteur ?) l'effet espéré de la moindre émission unitaire.

Il paraît urgent de documenter ces deux derniers points de manière fiable (ce qui peut justifier des travaux de recherche) avant de juger de l'effet réel de la mise en

¹²⁵ La taxation à un niveau suffisant de cette ressource est de nature à pallier ce danger, mais les pays producteurs ne prennent pas cette voie.

exploitation de gisements d'hydrocarbures non conventionnels sur le changement climatique.

7.2.2. Le nucléaire, sa décroissance prévue et son renouvellement

7.2.2.1. Les effets de la décroissance du nucléaire :

La part de l'énergie d'origine nucléaire dans la production d'électricité (79 % en 2011) doit, au terme d'un engagement du Président de la République, décroître jusqu'à 50 % d'ici 2025. À part constante de l'électricité dans le mix énergétique, ceci correspond à une diminution de la production d'énergie de 5,3 %. On peut estimer que, toutes choses égales par ailleurs, cette diminution se traduira à la fois :

- par une baisse de la consommation (si on imagine une élasticité de la consommation par rapport à l'offre, *via* les prix) ;
- par une augmentation de production énergétique décarbonée ;
- et par une augmentation de production énergétique carbonée.

La mission ne dispose d'aucun élément sur les coefficients d'élasticité correspondants. Dans l'hypothèse d'une répartition à parts égales entre les trois effets, les émissions de GES augmenteraient, toutes choses égales par ailleurs, de l'ordre de 1,25 % en 13 ans.

Ainsi, dans la mesure où l'électricité nucléaire est l'une des plus décarbonées qu'on puisse envisager de développer, cette décroissance ajoute incontestablement un handicap à la poursuite des réductions d'émissions de GES. L'ampleur de cet effet peut être limité (1 à 2 % des émissions actuelles, soit 4 à 8 % des émissions visées en 2050) s'il conduit à restreindre les consommations d'énergie et à développer les énergies renouvelables décarbonées.

7.2.2.2. Le renouvellement à terme du nucléaire : estimations de coûts

Pour aborder la question du renouvellement des centrales vieillissantes après 2025, on peut chercher à estimer les coûts d'abattement correspondant à la substitution (dans un sens ou dans l'autre) d'énergie fossile à l'énergie nucléaire. Le résultat est sensible aux hypothèses de prix. Nous retenons ici les estimations de prix des rapports de la Cour des Comptes et du Sénat¹²⁶ :

- pour le prix du MWh produit par l'EPR¹²⁷, la fourchette évoquée est de 70 à 90 € ;

¹²⁶ « Rapport fait au nom de la commission d'enquête sur le coût réel de l'électricité afin d'en déterminer l'imputation aux différents agents économiques », Président M. Ladislav Poniatowski, Rapporteur M. Jean Desessard, sénateurs. J.O. Édition des Lois et Décrets 12 juillet 2012.

¹²⁷ *European Pressurized Reactor* (réacteur pressurisé européen).

- pour le coût du MWh en centrale à combustible fossile : 50 € (très sensible au prix du combustible, lui-même exposé à de très fortes variations¹²⁸) produisant 0,65 t CO₂ / MWh.

Sous ces hypothèses, le coût d'abattement de la substitution d'énergie nucléaire de nouvelle génération (EPR) au fossile s'établirait ainsi :

- de $(70 - 50) / 0,65 = 30 \text{ € / t CO}_2$,
- à $(90 - 50) / 0,65 = 60 \text{ € / t CO}_2$ ¹²⁹.

De tels ordres de grandeur seraient plutôt inférieurs, à la date où ce type d'alternative se présentera (à partir de 2025 au plus tôt), au prix tutélaire moyen de la tonne de CO₂ préconisé dans le rapport Quinet (32 € en 2010, évoluant vers 100 € en 2030), le résultat étant évidemment très sensible à la fois aux cours des énergies fossiles et à l'évolution du coût de revient final de l'électricité nucléaire de nouvelle génération.

7.2.3. Les potentiels des énergies décarbonées et leur insertion économique

Les énergies décarbonées dont le développement peut devenir significatif à l'échelle des besoins dans la période considérée sont connues pour l'essentiel :

- la récupération de chaleur sous toutes ses formes ;
- l'énergie solaire « passive » ;
- l'énergie éolienne ;
- l'énergie solaire photovoltaïque ;
- la biomasse (le cas étant traité au 8.1. ci-dessous).

Le développement des autres énergies décarbonées, quel que soit leur intérêt restera dans des volumes modestes dans la période : les sites hydrauliques français sont, pour l'essentiel, équipés¹³⁰, l'énergie marine devra surmonter des difficultés techniques non négligeables, le gisement géothermique haute température est limité, et les autres sources envisageables restent marginales à l'échelle du problème.

Une question liminaire est celle de la substitution de ces énergies à d'autres sources. On trouve une littérature abondante envisageant la substitution progressive des énergies décarbonées à d'autres formes (fossiles ou nucléaires, notamment). Rien ne

¹²⁸ Conjoncturellement, ces variations posent de graves problèmes aux exploitants. En ce moment, le prix élevé du gaz dans les contrats à long terme indexés sur le prix du pétrole donne un avantage économique au charbon, nettement plus polluant. Ce sera peut-être l'inverse dans quelques années ou quelques mois... Malheureusement, on ne construit pas une centrale seulement pour quelques années ou quelques mois !

¹²⁹ Nous négligeons l'impact du contenu en CO₂ de la centrale en cycle de vie, nettement inférieur à celui de l'incertitude sur sa durée de vie.

¹³⁰ Bien que leur production reste limitée, leur contribution à la gestion de la puissance dans le temps peut probablement progresser. La mission n'a pas approfondi ce point.

permet de penser cependant que la mise en service d'une éolienne, par exemple, s'accompagne automatiquement de la disparition ailleurs d'une capacité de production équivalente. L'offre supplémentaire se répartit probablement, toutes choses égales par ailleurs, entre une diminution d'une autre source et une augmentation de la consommation. Sur un marché non contingenté, la consommation présente inévitablement une élasticité à l'offre. La mission n'a pas trouvé de documentation quantifiant ce phénomène, pourtant capital pour la prévision.

26. Développer la recherche sur les élasticités de la consommation d'énergie à l'offre, à court et à long terme, par secteur, etc.

7.2.3.1. La récupération de chaleur

Une part importante des émissions de CO₂ est due à la production de chaleur, alors que des sources de chaleur naturelle (géothermie basse ou haute température) ou industrielle (chaleur fatale des processus industriels) ou encore agricoles ne sont pas exploitées ou sont sous-exploitées.

L'exploitation de l'inertie thermique du bâtiment et de ses équipements, la récupération de chaleur de l'air, du sol ou de l'eau grâce aux pompes à chaleur, les différentes formes de géothermie, la cogénération, les réseaux de chaleur, la géothermie haute température, l'exploitation énergétique des déchets et d'autres techniques offrent des possibilités à encourager, mais dont il est difficile de juger aujourd'hui du potentiel global.

7.2.3.2. Le « solaire passif »

L'utilisation « passive » de l'énergie solaire recouvre une gamme étendue de procédés, depuis le chauffe-eau solaire jusqu'à la bonne conception architecturale des édifices du point de vue de l'exposition et de la gestion des flux de chaleur solaire.

Ce domaine est trop hétérogène pour qu'on puisse s'avancer dans des quantifications, bien qu'il représente un champ substantiel d'économies de GES.

7.2.3.3. Le solaire photovoltaïque

Dans les conditions actuelles, le solaire photovoltaïque est de peu d'avantage du point de vue des GES. En effet, le raffinage du silicium utilise beaucoup d'électricité et la grande majorité des panneaux est fabriquée dans des pays (la Chine, l'Allemagne) où le contenu en CO₂ de l'électricité est élevé.

Illustrons d'un exemple d'analyse en cycle de vie sur lequel le lecteur pourra là aussi faire jouer les paramètres.

Les besoins en électricité pour fabriquer des panneaux photovoltaïques SI-cristallin sont de l'ordre de 2 kWh/Wc dont l'essentiel pour le raffinage du silicium. Le contenu en carbone du kWh allemand est de 450 g¹³¹ ce qui évalue le CO₂ « gris » du panneau de 1 kWh à 0,9 t.

¹³¹ Source : AIE. Le chiffre serait de 750 g si le panneau était d'origine chinoise.

Il produit environ 1200 kWh/ an (sud de la France) pendant 30 ans, soit 36 000 kWh durant sa vie, et, pour un surcoût de 0,15 € / kWh¹³² pendant 15 ans, soit 2700 €, économise :

- $36\,000 \times 0,000089 - 0,9 = 2,3 \text{ t CO}_2$ s'il se substitue à de l'électricité au mix énergétique français ;
- $36\,000 \times 0,00065 - 0,9 = 22,5 \text{ kg CO}_2$ s'il se substitue à de l'électricité d'origine « fossile ».

Le coût de la t CO₂ abattue est alors :

x de 1 172 € s'il se substitue à de l'électricité au mix énergétique français ;

x de 120 € s'il se substitue à de l'électricité d'origine « fossile ».

à comparer aux valeurs données par le rapport Quinet de 30 à 50 €...

Cependant, le prix des panneaux photovoltaïques diminue rapidement et on peut penser que cette diminution continuera pendant un certain nombre d'années. Toutefois, les coûts d'installation et de raccordement ne connaîtront pas le même type de décroissance. Seuls de substantiels progrès dans le rendement des panneaux (ce qui suppose des sauts technologiques) peuvent donc leur permettre d'atteindre la « parité réseau ». Il y aurait donc lieu pour les pouvoirs publics de soutenir la recherche en vue des futures générations de panneaux à haut rendement, plutôt que d'investir dans les générations technologiques actuelles.

7.2.3.4. L'énergie éolienne

Le cas des éoliennes est différent :

Le même calcul (cf. annexe 12.) appliqué à ce type d'appareil donne des coûts d'abattement

x de 248 € s'il se substitue à de l'électricité au mix énergétique français ;

x de 29 € s'il se substitue à de l'électricité d'origine « fossile ».

à comparer aux valeurs données par le rapport Quinet de 30 à 50 €, évoluant vers 100 €/t CO₂ en 2030.

La substitution d'énergie éolienne à l'énergie fossile, hors gestion de l'intermittence (traitée au 7.2.4. ci-dessous) est manifestement « dans le marché » aux prix tutélaires envisagés pour le CO₂¹³³.

¹³² Nous avons estimé le coût du kWh photovoltaïque au tarif de rachat moyen en 2012 (0,20 €/ kWh) pendant 15 ans, et celui du kWh de substitution au prix de gros actuel de l'électricité (0,05 €/kWh), le coût du kWh photovoltaïque revenant à ce prix de gros dès la 16e année.

¹³³ Ces résultats sont très sensibles au cours des énergies fossiles (difficilement prévisible, mais probablement à la hausse) et au coût de revient des éoliennes, probablement relativement stable à moyen et long terme.

Le coût du kWh éolien étant du même ordre de grandeur que celui du kWh nucléaire de nouvelle génération, et le CO₂ gris d'une centrale ayant un « temps de retour » comparable, l'éolien peut sans doute être considéré en première approximation comme substituable au nucléaire¹³⁴.

Le frein au développement de l'énergie éolienne est ailleurs. Il est de l'ordre de l'acceptation par la société de la présence d'éoliennes en grand nombre dans la campagne française. Des mouvements « anti-éoliens » se sont formés, qui ont leur utilité pour veiller à ne pas implanter des appareils là où ils nuiraient à un intérêt supérieur. Il serait grave que cette vigilance dérivât en opposition systématique à grande échelle.

27. Entreprendre une action pédagogique étendue, à la fois d'écoute et d'explication sur l'énergie éolienne terrestre.

7.2.4. Les incertitudes sur la maturation des techniques nouvelles, notamment de stockage

La croissance à grande échelle des énergies intermittentes supposent le développement des dispositifs de gestion de l'adéquation offre-demande dans le temps :

- extension des interconnexions pour élargir les périmètres de mutualisation, ce qui suppose des renforcements de réseau ;
- dispositifs d'abattement temporaires de certaines consommations « différables » dans le temps ;
- et/ou dispositifs de stockage-déstockage d'énergie convertible en électricité ;

l'ensemble faisant l'objet de « gestion intelligente » à différentes échelles.

La mutualisation à grande échelle rencontre de nombreuses difficultés et trouve ses limites au-delà d'une certaine proportion d'énergies intermittentes, comme le montre l'exemple actuel du Danemark et de l'Allemagne. Les possibilités de stockage de toutes natures deviendront probablement au fil du temps un facteur clé du développement des énergies décarbonées¹³⁵.

Les solutions de stockage de masse aujourd'hui en développement sont peu nombreuses :

- l'inertie calorifique ;
- l'hydraulique ;
- les batteries électrochimiques ;
- le cycle hydrogène.

¹³⁴ À ceci près que le caractère peu modulable dans le temps court de l'énergie nucléaire est moins pénalisant que le caractère intermittent de l'énergie éolienne.

¹³⁵ La France dispose avec ses îles (Corse, DOM...), peu ou pas interconnectées, d'un « laboratoire » précieux pour la gestion de ces problématiques.

7.2.4.1. La chaleur

D'une manière générale, l'inertie thermique (des constructions, du sol, des masses d'eau, etc.) est le premier moyen de stockage de l'énergie. Le potentiel de stockage que présentent les équipements domestiques, notamment les ballons d'eau chaude sanitaire est d'ores et déjà largement exploité et apporte une contribution significative à la gestion de pointes de demande : 8 millions de ballons effacent ainsi leur demande aux heures « pleines ». Il ne faudrait pas diminuer cette ressource intéressante par substitution de chauffe-eau au gaz aux cumulus électriques.

7.2.4.2. Le stockage hydraulique

L'hydraulique est la plus souple des sources d'électricité, et EDF utilise naturellement au mieux le potentiel des grands barrages dans une perspective de gestion des pointes¹³⁶. Son potentiel de développement est limité¹³⁷.

Les STEP (stations de transfert d'énergie par pompage) utilisent le dénivelé entre un bassin haut et un bassin bas pour remonter de l'eau en période d'excès de production et la turbiner en période d'excès de demande. Le rendement du dispositif dépasse 80 %. Leur production en France est encore très limitée (6000 GWh), mais des projets intéressants de STEP marines¹³⁸ sont en cours dans les DOM (Guadeloupe, puis la Réunion).

Un développement à grande échelle de ces installations est peu probable à moyen terme : les STEP marines se heurtent à l'ensemble des contraintes de la construction en zone littorale, et les STEP terrestres se heurtent à des coûts d'investissement élevés.

7.2.4.3. Les batteries électrochimiques

La technique des batteries est presque aussi ancienne que l'électricité elle-même, et les techniques sont matures pour de nombreux usages, en général de taille limitée (des batteries de voitures thermiques aux smartphones...). Leur usage pour le stockage de grandes quantités d'énergie est moins avancé pour des raisons de coût de revient.

Aujourd'hui, le coût d'une capacité de stockage de 1 kWh dans une batterie de type « automobile » pouvant atteindre environ 2000 cycles est de l'ordre de 600 €. Le coût de revient de l'opération de stockage-déstockage d'un kWh avoisine donc 0,30 €. Les autorités chinoises programment une division par 4 du coût de ces batteries d'ici 2020, ce qui ferait descendre le coût du stockage-déstockage au-dessous de 0,08 €/kWh¹³⁹.

Pour des batteries sédentaires, soumises à moins de contraintes, les batteries sodium-soufre (produites aujourd'hui presque exclusivement par la firme japonaise NGK)

¹³⁶ Dans un cadre contraint par les nécessités des autres usages de l'eau...

¹³⁷ Un recensement d'EDF (1992) évalue le potentiel physique maximum à 22 500 MW (y compris les STEP), dont seule une partie sera réellement exploitable.

¹³⁸ L'avantage de la STEP marine est que le bassin inférieur est fourni par la nature (la mer).

¹³⁹ Ces batteries utilisent du lithium, dont les ressources, en l'état actuel des prospections, sont concentrées dans quelques pays et menacées de raréfaction.

peuvent atteindre environ 5000 cycles pour un prix de l'ordre de 200 €/kWh stocké. Le coût de revient de l'opération de stockage-déstockage d'un kWh avoisine donc 0,04 €, devenant probablement 0,3 ou 0,2 à échéance de 2020-2025. De tels prix sont de nature à fournir dès les prochaines années (et dans des « niches » dès aujourd'hui¹⁴⁰) des solutions concurrentielles pour la gestion de l'intermittence de l'énergie éolienne.

La recherche française, traditionnellement en pointe en physique du solide et en électrochimie, (et a fortiori la recherche européenne) a tous les atouts pour mettre au point et développer ce type de solution, qui a le grand avantage de ne faire appel à aucune matière première menacée de rareté.

L'énorme enjeu que constitue au plan mondial le développement du véhicule électrique génère un effort de recherche développement considérable dans le monde entier, dont on peut attendre des progrès décisifs. Ainsi, mais ce n'est qu'un exemple, le Conseil des affaires de l'État chinois a mis en ligne le 9 juillet 2012 son plan de développement des véhicules électriques qui prévoit pour 2015 une division par 2 des coûts et la production de batteries automobiles à 2000 yuans / kWh, soit 250 €/kWh de capacité (2000 cycles garantis).

Enfin, il faut rappeler qu'une batterie qui a fait son service sur une automobile garde encore 80 % de son potentiel d'utilisation dans des usages moins exigeants (moyennant une reconfiguration peu onéreuse de son électronique). À échéance de 2025-2030 commencera à apparaître une ressource proportionnelle aux flottes de véhicules électriques mises sur le marché cinq ans plus tôt.

7.2.4.4. Le cycle hydrogène

Le cycle hydrogène, combinant l'hydrolyse de l'eau lors des périodes d'excès de production électrique et l'utilisation de piles à combustible lors des périodes d'excès de demande¹⁴¹ est un ensemble de techniques dont de nombreux prototypes et utilisations de niche fonctionnent dans le monde. La recherche française (notamment le CEA) est bien placée dans la compétition mondiale.

Le rendement du cycle stockage-restitution dans les formules actuelles est médiocre (moins de 40 %, mais avec des possibilités de récupération de chaleur).

On cite des prix de l'ordre de 0,15 à 0,22 € / kWh stocké – déstocké. Il est là aussi difficile de prévoir la courbe d'apprentissage.

7.2.4.5. Compétitivité des formules de stockage-déstockage

Ces données laissent penser que la question de la gestion de l'intermittence des énergies renouvelables a de solides chances de trouver dans les batteries électrochimiques des solutions compétitives¹⁴² au moment où leur extension en France commencera à poser des problèmes sérieux.

¹⁴⁰ Pae exemple à l'île de la Réunion où EDF utilise ces batteries en accompagnement des éoliennes.

¹⁴¹ L'hydrogène peut aussi être produite à partir d'hydrocarbures, mais avec production de CO₂. Ce n'est pas ce qui est envisagé ici.

¹⁴² Ces solutions pourront probablement permettre des économies de renforcement des réseaux, mais la mission n'est pas entrée sur ce point dans des comparaisons économiques.

Le développement du « cycle hydrogène » se poursuit en parallèle (avec aujourd'hui un retard de l'ordre de 10 à 15 ans sur les batteries) et à des coûts qui ne sont pas disqualifiés en ordre de grandeur. Les batteries ont aujourd'hui l'avantage que le réseau d'approvisionnement électrique existe, alors que la distribution de l'hydrogène reste à déployer et que tous les problèmes de sécurité posés par l'emploi de l'hydrogène à grande échelle ne sont pas encore réglés.

Des divisions par deux, quatre ou plus des coûts selon les techniques peuvent être raisonnablement espérés d'ici la prochaine décennie, et devraient libérer le développement des énergies intermittentes, les coûts de stockage passant progressivement au-dessous du différentiel de coût de l'électricité entre les heures d'excès d'offre et les heures d'excès de demande.

7.2.4.6. Autres

Aucune autre forme de stockage (volants d'inertie, air comprimé...), exploitables dans des « niches » particulières, n'apparaît susceptible d'offrir des possibilités compétitives à l'échelle voulue dans les délais utiles.

28. Encourager dès maintenant « sans modération » la récupération de chaleur, l'hydraulique, l'utilisation de la biomasse non valorisable, l'énergie éolienne.

8. Les questions intersectorielles

8.1. Biomasse et CO₂

8.1.1. Les potentialités et le gisement (hors déchets)

La biomasse agricole capte le CO₂ de l'air et le transforme en chaînes carbonées complexes via la photosynthèse¹⁴³; récoltée, elle peut fournir des matériaux ou de l'énergie (chaleur, électricité, carburant) par combustion. Elle n'apparaît pas dans les inventaires officiels en termes de CO₂ car elle est considérée appartenir au cycle court (annuel) du carbone. La biomasse forestière, pluriannuelle, est comptabilisée en émissions à la récolte dans le secteur UTCF. L'une et l'autre, peuvent être, dans certains usages énergétiques, substituées au fossile. La biomasse¹⁴⁴ est la première énergie renouvelable utilisée en France : 10,1 Mtep sur 22,7 Mtep d'EnR produites en 2010. Elle est appelée à un développement important d'ici 2020 (le plan national 2009/2020 prévoit 21,5 Mtep issues de la biomasse sur les 36 Mtep d'EnR attendues), et au-delà. Le développement des EnR prévu par le Plan national 2009/2020 se chiffre à +20,5 Mtep entre 2005 et 2020, dont 11,6 Mtep de biomasse agricole et forestière¹⁴⁵ (cf. tableaux du bureau biomasse en annexe) :

- 3,5 Mtep dans le transport (à 100 % issu de biomasse agricole pour G1),
- 1,1 Mtep dans l'électricité (méthanisation, bois surtout),
- 7,3 Mtep dans la chaleur (bois essentiellement).

Pour la méthanisation agricole, l'objectif annoncé¹⁴⁶ (300 méthaniseurs pilotes d'ici 2013, et 1000 méthaniseurs en 2020) est loin d'être atteint, avec 40 installations à la ferme, fournissant 81 Gwh d'électricité et 110 Gwh thermiques.

Sur le bois, les estimations varient selon les sources ; pour l'ADEME, compte tenu du chemin parcouru depuis 2005, il faut mobiliser 23 Mm³ de bois en plus en 2020¹⁴⁷, sachant que la production totale de la forêt en 2012 est évaluée à 115 Mm³/an¹⁴⁸, et le prélèvement à 55 Mm³¹⁴⁹. A l'horizon 2030 et 2050, l'ADEME prévoit d'atteindre une récolte annuelle de 92 Mm³¹⁵⁰.

Au total, à horizon 2030 et 2050, les scénarios ADEME envisagent que 18 Mtep de biomasse supplémentaires soient destinées à la combustion dont 11 issus de forêts

¹⁴³ Elle respire aussi en dégageant du CO₂, mais beaucoup moins qu'elle n'en absorbe.

¹⁴⁴ cf. « les usages non alimentaires de la biomasse » CGEDD n° 008149-01, CGEiet n° 2012/13, CGAAER n° 11132 et 11135.

¹⁴⁵ Avant plafonnement à 7 % récemment décidé pour les biocarburants.

¹⁴⁶ Dans le cadre du COMOP énergie du Grenelle.

¹⁴⁷ 1 m³ récolté = 0,22 tep.

¹⁴⁸ Pour l'IGNf et le CITEPA, la production forestière moyenne annuelle sur 2005/2009 est de 126 Mm³ (84Mm³ en bois fort tige x 1,5= volume total aérien) et la récolte de 74Mm³ = (44X1,5)+ 8 de mortalité.

¹⁴⁹ Chiffres IGNf/CITEPA qui diffèrent des chiffres ADEME (récolte 2010+mortalité =55Mm³).

¹⁵⁰ Notons qu'il s'agit d'un exercice prospectif où l'on suppose atteint en 2050 l'objectif « facteur 4 ».

(menus bois, rémanents de coupe broyés sur place), 2 issus de connexes de scieries et 5 de résidus agricoles et bois hors forêt.

8.1.2. Les problématiques

Compte tenu des taux d'incorporation déjà atteints en biocarburants, l'essentiel de l'effort d'ici 2020 devrait porter sur la méthanisation des effluents agricoles, et surtout sur le bois issu de forêt, qui fournissent les meilleurs rendements énergétiques (chaleur, biogaz G1 ou G2 pour l'électricité ou liquéfié comme carburant).

Leur mobilisation à hauteur des objectifs prévus nécessite la levée des obstacles actuels :

- au développement de la méthanisation agricole, qui assure une meilleure autonomie énergétique aux exploitations agricoles, une diversification du revenu agricole, et fournit un digestat dont l'utilisation comme fertilisant permettrait, s'il pouvait être commercialisé, une réduction du recours aux engrais minéraux (N et P) et donc une double réduction des émissions de GES ; des propositions opérationnelles ont été faites¹⁵¹ pour lever divers freins :
 - x améliorations ponctuelles du tarif pour mieux prendre en compte la chaleur valorisée sur l'exploitation ;
 - x sortie du statut de déchets des digestats par la voie de l'homologation groupée ;
 - x et surtout recours à des cultures énergétiques à titre principal et secondaire, comme en Allemagne où existent 8000 méthaniseurs à la ferme ;
- à la mobilisation du bois, pour apporter les volumes nécessaires et prévenir les conflits d'usages avec l'industrie du matériau (panneaux, papier) et avec les usagers futurs (chimie bio-sourcée, biodiesel G2, bioéthanol G2, biométhane G2). La mission « biomasse » précitée a mis en évidence la tension créée sur la demande par les soutiens à la chaleur et à l'électricité, au niveau du segment de marché du bois le moins valorisé (sous produit du sciage), alors que l'offre ne dispose que de leviers très insuffisants, limités à la reconstitution des dégâts de tempête en Aquitaine. Le revenu du bois énergie ne peut permettre le renouvellement des peuplements : ainsi, le consentement à offrir des propriétaires privés, qui détiennent l'essentiel de la ressource supplémentaire disponible, est très insuffisant, et la gestion durable, appuyée sur un modèle économique selon lequel « le bois paye la forêt », ne peut plus être assurée. La relance de l'investissement forestier privé (desserte, renouvellement), mais aussi la structuration du sciage et l'innovation pour incorporer plus de bois feuillu dans la construction et le matériau, sont nécessaires pour atteindre les objectifs. L'ADEME propose d'ailleurs un « ambitieux plan de mobilisation » autour des mêmes constats. Le fonds forestier stratégique carbone financé par les enchères des quotas de carbone à partir de 2013 n'ayant pas eu de suite (le produit des enchères a été attribué à l'ANAH pour la rénovation énergétique des logements précaires), un ambitieux plan de mobilisation est particulièrement attendu. Deux missions sont annoncées (CGAAER/CGEIET/CGEDD sur le fonds carbone et la filière bois, et celle du député J.Y. Caullet sur le financement

¹⁵¹ rapport n° 12 025 CGAAER/008169-01 CGEDD.

de la filière). Il n'en demeure pas moins la nécessité d'élargir le gisement (augmenter le recyclage et utiliser des bois peu adjouvantés, qui pourraient être plus strictement réglementés au titre des ICPE), et de permettre un bon retour au sol des éléments minéraux, ce qui suppose d'autoriser l'épandage de cendres en forêt. En tout état de cause, ces évolutions ne pourront voir le jour si l'engagement de maintenir le puits forestier à long terme est respecté. C'est pourquoi la mission biomasse a appelé à développer une vision stratégique sur l'avenir de la forêt sous l'angle de l'atténuation et de l'adaptation, et à nourrir cette réflexion en développant la modélisation du cycle du carbone à travers différents modèles sylvicoles. Enfin, ces développements offrent peu de place aux autres usages, matériau (alors que la chimie bio-sourcée représente déjà 5 % des approvisionnements et prévoit de doubler cette part d'ici 2020), ou biocarburants G2.

8.2. L'aménagement du territoire et l'urbanisme

8.2.1. Les « plans climat territoriaux »

Les « Plans climat-énergie territoriaux » apparaissent pour la première fois en France dans le Plan Climat National de 2004, qui engage les collectivités à élaborer au niveau local l'équivalent du Plan Climat National. La loi Grenelle 2 (Art. 75) rend l'élaboration de ces démarches obligatoire avant le 31 décembre 2012 pour les régions, les départements, les communautés urbaines, les communautés d'agglomération ainsi que les communes et communautés de communes de plus de 50 000 habitants.

Le bilan à fin 2012 est très inégal, certaines collectivités s'étant engagées fortement dans cette voie, tandis que d'autres restaient très en deçà. Il est trop tôt pour évaluer l'impact de ces démarches, en termes physiques, mais aussi en termes pédagogiques, l'un de leurs intérêts étant de mettre le sujet à l'agenda local et de contribuer à la prise de conscience des acteurs.

8.2.2. « Éclatement urbain » et facteur 4

La construction actuelle en France semble globalement se localiser aux plus mauvais endroits du point de vue des émissions de GES : la majorité des logements individuels (et une bonne partie des lieux de travail) se construisent aujourd'hui dans des bourgs et des villages éloignés des villes, le long des voies départementales ou communales existantes. Contrairement à ce qu'on a pu connaître dans les décennies antérieures, l'urbanisme opérationnel ne représente plus que 5 % de la construction, et les lotissements 20 %. Les agglomérations ne s'étendent plus guère en continuité de l'existant (l'« étalement urbain » est bloqué) mais la ville (habitat et activités) « éclate » et ses éclats colonisent l'espace rural au hasard des réseaux disponibles (on parle de ville « *plug in* »)¹⁵².

La consommation d'espace agricole due à ce type de « rurbanisation » est d'autant plus excessive que les règlements locaux exigent souvent des surfaces minimum de terrain pour construire (fréquemment 1500 m² en cas d'assainissement individuel).

¹⁵² Depuis 2009, les données du recensement montrent le repeuplement des bourgs et villages ruraux au détriment des agglomérations : les données de la construction et de la population convergent.

Ainsi se multiplient pour l'avenir les besoins de déplacement domicile-travail et domicile-services dans des zones de faible densité inaccessibles aux transports en commun. Une grande partie des ménages concernés, de revenus moyens ou modestes choisit cette localisation faute de pouvoir financer une implantation plus proche des services urbains. Ces ménages sont évidemment vulnérables aux augmentations du coût de l'énergie.

Le propos n'est pas ici de remettre en cause au nom du développement durable la préférence de nombreux français pour l'habitat individuel, surtout à certains stades de leur cycle de vie. Ce mode d'habitat se révèle d'ailleurs « performant » sur un certain nombre d'aspects du développement durable (gestion de l'eau, des déchets, économie de transport pour les loisirs...). Il s'agit d'endiguer le besoin croissant de déplacement à motorisation thermique.

Les causes de cette dynamique perverse sont profondes. Sans être exhaustif, on peut citer quelques facteurs convergents :

- environ 31 500 maires de communes rurales (de moins de 2 000 habitants) ont le pouvoir de délivrer un permis de construire et cherchent à « revitaliser leur commune ». Les instruments de planification urbaine actuels ne contrarient pas cette aspiration¹⁵³ ;
- aucun dispositif efficace de récupération de la rente résultant de l'autorisation de construire un terrain n'étant effectivement à l'œuvre, il en résulte de forts intérêts privés à faire rendre constructibles les terrains agricoles en lisière des villages ;
- le différentiel de prix foncier entre la ville et l'espace rural est excessif du fait de la géographie de la spéculation foncière (qui se porte plus sur les centres que sur la périphérie et les écarts) ;
- les communes en périphérie immédiate des agglomérations sont enclines à des politiques restrictives, faute de disponibilités financières pour urbaniser. L'électorat urbain, aujourd'hui majoritairement propriétaire, trouve globalement un intérêt financier à ce malthusianisme ;
- le développement de réseaux électroniques a réduit le sentiment d'isolement qui pouvait détourner de la vie rurale.

Aucun pays européen ne semble connaître en même temps et à ce point tous ces handicaps à une urbanisation raisonnée.

La comparaison en termes de GES de l'urbain et du « rurbain » est complexe si on prend en compte l'ensemble des paramètres « en cycle de vie ». Les travaux du CERTU sur le sujet¹⁵⁴ se gardent de conclusions définitives aux coûts actuels des facteurs. En revanche :

- toute augmentation substantielle du coût de l'énergie déstabilise le modèle, et met de nombreux ménages « rurbains » en difficultés ;

¹⁵³ Peut-être les mots d'ordre contre l'éclatement urbain.

¹⁵⁴ V. notamment les travaux de Jean Charles Castel.

- la multiplication de ces ménages renforce jour après jour les obstacles sociaux à l'indispensable augmentation des prix des combustibles fossiles, ce qui constitue peut-être le blocage le plus grave¹⁵⁵.

Il n'est sans doute pas facile de sortir de cette situation. Aucune mesure « prête à l'emploi » ne semble disponible pour desserrer l'étau. La mission estime ne pas avoir en son sein les compétences pour formuler des recommandations à proprement parler sur des sujets qui font l'objet d'études et de controverses nourries entre spécialistes. Il lui apparaît toutefois qu'aucun progrès notable ne peut faire l'économie :

- de révisions profondes de la fiscalité foncière tendant à la récupération par la collectivité de tout ou partie de la rente foncière (les ressources ainsi dégagées ayant vocation à financer l'urbanisation en continuité des agglomérations) ;
- et d'une redistribution du pouvoir en matière de fixation du droit des sols et d'autorisation de construire.

8.3. L'énergie « 2.0 »

8.3.1. La « 3e révolution industrielle » : les ouvrages récents (Gilles Berhault¹⁵⁶, Jeremy Rifkin¹⁵⁷, Joël de Rosnay¹⁵⁸...)

Un certain nombre de recherches et d'ouvrages destinés au grand public décrivent l'avenir de la gestion de l'énergie comme fondée sur la combinaison intelligente :

- de production décentralisée d'énergie décarbonée, chaque bâtiment devenant une « mini-centrale » ;
- de capacités de stockage, notamment dans les batteries sédentaires, dans celles des véhicules électrique ou dans des réserves d'hydrogène ;
- des « réseaux intelligents » permettant de gérer la mutualisation à l'échelon local, réduisant d'autant les besoins d'interconnexion à longue distance ;
- et une évolution des structures de pouvoir, le « pouvoir latéral » (J. Rifkin), décentralisé et autogestionnaire, se substituant progressivement en tous domaines aux structures centralisées des États ou des grands opérateurs. Ainsi apparaîtraient des structures de gestion locales démocratiques, en lien notamment avec les collectivités territoriales.

¹⁵⁵ Notons que, sur un marché foncier livré à lui-même comme le nôtre, l'augmentation du coût des déplacements quotidiens dévalorise les biens fonciers « rurbains » et augmentent les valeurs foncières urbaines.

¹⁵⁶ « *Développement durable 2.0* », Gilles Berhault, janvier 2009, éd. De l'Aube.

¹⁵⁷ « *The third industrial revolution* » traduction française : « La troisième révolution industrielle, comment le pouvoir latéral va transformer l'énergie, l'économie et le monde », Jeremy Rifkin, février 2012, éd. Les Liens qui Libèrent.

¹⁵⁸ « *Surfer la vie, comment survivre dans la société fluide ?* » Joël de Rosnay, mai 2012, éd. Les Liens qui Libèrent.

Le parallèle entre le déploiement de l'échange d'information sur Internet et dans les réseaux sociaux et la circulation de l'énergie y est souvent évoqué.

Le schéma est séduisant et mérite qu'on évalue son potentiel. On peut observer :

- que le parallèle entre la circulation de l'information et celle de l'énergie se heurte aux limites de toute comparaison, la logique de ces deux registres présentant tout de même des différences évidentes ;
- que des études récentes soulignent la fragilité des réseaux couplés (énergie et information), leur manque de robustesse et de résilience¹⁵⁹ ;
- et, surtout, que les conditions économiques pour le déploiement de ces modèles ne sont pas encore réunies : comme on l'a vu ci-dessus, les coûts des systèmes de production stockage et mutualisation locale sont aujourd'hui supérieurs d'un facteur 2 à 4 ou plus à celui des productions centralisées (grandes centrales, grands barrages, grands parcs éoliens...) interconnectées à l'échelle européenne.

A l'horizon 2025-2030, il est cependant possible, voire probable, que les évolutions technologiques et géopolitiques rendent ces schémas viables, et, compte tenu de l'inertie des cycles d'investissement, il y a sans doute lieu de développer au maximum la recherche-développement dans les composantes de ces schémas et les démonstrateurs expérimentaux, d'autant plus que la France a des atouts scientifiques distingués à faire valoir.

29. Faire des paris, notamment à l'occasion de la réflexion sur les normes de construction pour 2020, sur les développements de « l'énergie 2.0 » et en tout cas laisser ouvertes les possibilités de déploiement de ces systèmes.

8.4. Les évolutions de comportement

Tous les travaux prospectifs qui envisagent l'atteinte du « facteur 4 » explorent la contribution possible des évolutions technologiques, puis attendent de l'évolution des comportements le solde des réductions d'émissions. On dispose de peu de travaux sur les déterminants de ces comportements qui aujourd'hui apparaissent étrangement décalés par rapport à l'urgence climatique.

8.4.1. L'usage des bâtiments :

Nos comportements courants d'usage de l'énergie dans les bâtiments paraissent à première vue peu en phase avec les impératifs de réduction des émissions. À preuve, exemple parmi d'autres, les températures constatées dans les bâtiments en hiver, de 20 à 28° C selon les lieux et les jours (23,5° C en moyenne), alors que :

- l'article R 131-20 du code de la construction fixe à 19° la « limite supérieure de température de chauffage » dans les « locaux à usage (...) de bureaux ou recevant du public » (annexe 10.) ;

¹⁵⁹ La Recherche décembre 2012.

- la norme AFNOR X35-203 préconise une température dans les bureaux de 20 à 24° C l'hiver.

Ces contradictions ne font pas l'ombre d'un débat¹⁶⁰. Tout se passe comme si le niveau de confort faisait partie de l'intangible, du non négociable, voire du tabou.

En effet, le déterminant majoritaire tant de l'investissement que de la gestion quotidienne est la recherche du confort. On manque de données statistiques sur les températures réelles dans les logements. Des études en cours devraient bientôt permettre de combler cette lacune, mais on observe que les normes sociales de confort ont eu tendance à augmenter régulièrement dans les dernières décennies (CREDOC).

Les travaux sociologiques récents montrent en fait que les déterminants de ces comportements dans l'habitat obéissent à une logique de « mode de vie » dominant dont les composantes techniques et d'usage forment un tout, assez éloignée de la logique rationnelle individuelle de l'« *homo oeconomicus* » : le type d'habitat, lui-même corrélé au cycle de vie et au revenu, détermine les consommations bien plus que le calcul économique.

Les comportements et l'offre technologique évoluent de concert, liés dans un système socio-technique cohérent. La recherche du confort obéit à la fois à des normes sociales qui imposent, conjointement avec l'offre technique disponible, une figure de la normalité en matière de mode de vie. Chaque société secrète des modes de vie dominants accordés aux objets techniques disponibles, dont la majorité des ménages s'écarte peu : par exemple, le couple « température intérieure élevée – habillement léger », qu'on peut juger illogique dans une rationalité écologique, est surdéterminé par la norme sociale.

Les convictions écologistes pour les uns, ou l'esprit ancestral d'économie pour d'autres influent sur les « petits gestes »¹⁶¹, mais peu sur les données structurelles des comportements de consommation. Plus fréquentes dans les strates les plus cultivées et les plus aisées de la population, elles sont corrélées avec des dépenses effectives supérieures à la moyenne (du fait notamment de niveaux supérieurs d'équipement).

Les changements de modèles ne se font qu'à l'occasion de ruptures ou de crises, à condition que l'offre technologique soit mûre pour soutenir le changement. Les progrès de la sécurité routière ou du tri des déchets en France sont des sources d'enseignements, tendant à montrer que nos comportements peuvent évoluer lorsqu'à la fois :

- nous en comprenons l'utilité en termes concrets ;
- une offre technique nouvelle le facilite (cf. les systèmes de collecte des déchets) ou l'impose (cf. les radars automatiques) ;
- la norme sociale évolue alors, ce qui suppose qu'il y ait un modèle économique bénéficiaire sous-jacent (cf. l'accord entre les industries de l'emballage et celle

¹⁶⁰ Rappelons que pour un hiver moyen, 1° C de plus engage 7 % d'énergie de chauffage (donc d'émissions de GES) en plus. Revenir de 23,5° C à 19° C économiserait d'un coup 30 % d'émissions.

¹⁶¹ « *Les petits gestes ne donnent que de petits résultats* » (D. Mc Kay).

du traitement des déchets, ou l'influence des assurances automobiles sur la sécurité routière).

Paradoxalement, les déterminants des pratiques sont moins étudiés dans une part importante du tertiaire (les bureaux, notamment) que dans l'habitat, alors que les gisements d'économies qu'on peut attendre d'une meilleure gestion de l'énergie sont considérables.

Quelle action pédagogique doit-on envisager ?

Nos concitoyens, les enquêtes le montrent, sont irrités par les messages généraux ressentis comme culpabilisant. Il faut sans doute en faire l'économie. En revanche, lorsqu'ils ont besoin d'information factuelle personnalisée pour résoudre leurs problèmes propres et gérer leurs consommations, ils ont beaucoup de difficultés à y accéder. On peut penser que c'est au travers de nos cas concrets individuels que peut passer l'information et la pédagogie de base.

Les corps intermédiaires, gestionnaires de bâtiments (organismes d'HLM, syndicats d'immeubles...), professionnels du bâtiment et de la thermique, fournisseurs de matériels, etc. eux-mêmes en déficit de formation et d'information ont un rôle potentiellement considérable et c'est sans doute sur eux qu'il faut cibler de lourdes politiques de sensibilisation, de formation et d'information.

8.4.2. Les déplacements

On retrouve dans le domaine des déplacements cette primauté de la recherche du confort et de la « qualité de vie », naturellement corrélée au niveau de revenu, au détriment de l'économie d'énergie et d'émissions de GES. En témoigne le marché automobile, prospère sur le créneau des voitures lourdes et puissantes. En témoigne également le marché du tourisme lointain et de la croisière¹⁶².

Parallèlement se dessinent de nouvelles pratiques de partage (covoiturage, autopartage, voiture en libre service...) rendues possibles :

- par les ressources d'Internet et des réseaux sociaux ;
- par l'évolution du statut social de l'automobile qui, dans l'imaginaire collectif, perd progressivement son caractère d'objet identitaire distinctif.

On doit donc recommander de :

30. Développer les recherches sur les comportements réels vis-à-vis des paramètres environnementaux.

31. Engager des programmes importants de sensibilisation, de formation et d'information sur le changement climatique et les moyens concrets de réduire les émissions de GES envers les « corps intermédiaires » de professionnels au contact du public.

¹⁶² Une croisière d'une semaine consomme entre 300 et 500 l de fioul par passager.

32. Poser le plus tôt possible la question des limites et des obstacles qui risquent d'être rencontrés dans la rénovation thermique lourde du parc de bâtiments afin de s'engager sans attendre dans la recherche de solutions.

33. Mettre à profit les moments de crise pour engager les transformations nécessaires, lorsqu'à la fois l'opinion en comprend la nécessité et que l'offre technologique est disponible.

Conclusion

Le « facteur 4 » a été l'hypothèse de ce rapport. Difficile de conclure en éludant la question de la validité de cette hypothèse : est-il raisonnable, pour un pays de taille modeste comme la France, confronté à des urgences économiques et sociales graves, dans un monde de compétition impitoyable où s'exacerbent les égoïsmes nationaux, de s'accrocher à une promesse faite en d'autres temps et dans un contexte différent ?

Notre réponse est quatre fois oui :

- oui, parce que l'impression que la France fait des efforts alors que ses partenaires n'en font pas est erronée. Entre les pays qui signent des accords et ne les respectent pas (comme le Canada), ceux qui transforment profondément leur système énergétique (comme l'Allemagne), ceux qui répugnent à signer des accords mais lancent des grandes manœuvres de conversion de leur économie (comme la Chine¹⁶³) ou foisonnent d'initiatives locales (comme plus de la moitié des États des États-Unis), la situation internationale est beaucoup plus contrastée et évolutive qu'on ne peut le penser a priori ;
- oui, parce que, malgré les retards dramatiques pris par la communauté internationale dans la réponse institutionnelle au défi climatique, toute l'économie mondiale intègre progressivement cette contrainte, et fait le pari que les technologies d'avenir seront économes en carbone. La montée en puissance inéluctable du danger ne pourra que confirmer cette orientation pour l'avenir, par-delà les à-coups conjoncturels. La France ne peut se tenir en marge de ce mouvement faute de perdre à moyen terme ses atouts dans la compétition internationale ;
- oui, parce que les années prochaines offrent à la France une séquence exceptionnelle, avec le débat sur la transition écologique et les lois qui en découleront en 2013, le 5e rapport du GIEC en 2014 et la conférence sur le climat que la France se propose d'accueillir en 2015, dont, aux termes de l'accord de Durban, l'enjeu est crucial ;
- oui, enfin parce que dans un pays qui doute de lui-même, renoncer à un engagement que tout justifie serait une atteinte malvenue à l'image qu'il se construit de lui-même.

Reste à choisir, jour après jour, le chemin le plus efficient pour y parvenir et à conduire au mieux le pilotage de l'action publique dans un univers pavé d'incertitudes majeures. La mission s'est donc exercée à esquisser ce que pourrait être à la fois la carte routière et le « tableau de bord » de cet itinéraire¹⁶⁴, sans chercher à le tracer dans son entier, triant sur chaque sujet stratégique :

- les connaissances avérées, matériau de base pour l'action pédagogique ;

¹⁶³ cf. le plan quinquennal chinois 2011-2015.

¹⁶⁴ On voit employé souvent le mot « trajectoire », dont la connotation balistique évoque un choix ab initio déterminant le parcours entier, sauf à « corriger la trajectoire ». La mission suggère plutôt le terme d'itinéraire, tant les carrefours seront nombreux d'ici 2050 et au-delà.

- les incertitudes affectées de plus ou moins grandes probabilités susceptibles de guider les décideurs publics dans ses décisions et ses prises de risque ;
- et les ignorances qui dessinent le champ futur de la recherche et de l'étude.

Au rang des certitudes (ou du moins des « très fortes probabilités », selon le vocabulaire employé), il faut ranger les principales conclusions des travaux du GIEC : la poursuite des tendances actuelles d'émission de gaz à effet de serre conduit à des dérèglements climatiques d'une ampleur qui met en danger la survie même de nos civilisations, peut-être de notre espèce. Certitude également la « perte de chances » que provoque tout retard de réaction de la communauté internationale.

Le système d'observation des émissions de CO₂ sur le sol français et européen ne laisse guère de place au doute non plus, et fournit des données avec une précision largement suffisante pour l'action. On a également une bonne connaissance enfin des conséquences en termes d'émission de la plupart des actes de la vie économique, traduits notamment dans les « facteurs d'émission ».

Les incertitudes sont de quatre ordres différents :

- scientifiques : bien qu'on en présume l'ampleur, les conséquences détaillées des augmentations probables de température à échéance séculaire ne sont pas décrites par les modèles disponibles, et il faut s'attendre à toutes les surprises¹⁶⁵ ;
- technologiques : les techniques de production d'énergies décarbonées susceptibles de produire un impact significatif, les techniques de stockage de l'énergie, dont elles devront très probablement s'accompagner et qui pourront « décarboner » de plus en plus la mobilité, les techniques de captage et de séquestration du CO₂, une partie des techniques d'amélioration du bâtiment, etc. font l'objet d'efforts de recherche et développement intenses dans le monde entier, mais la plupart d'entre elles ne sont pas encore parvenues à des coûts susceptibles de concurrencer les énergies fossiles à leurs tarifs actuels : on y trouve couramment des coûts de revient 2 à 4 fois supérieurs au « fossile », mais aussi des « courbes d'apprentissage » pentues, où les gains annuels de productivité peuvent dépasser 10 % année après année, au fil de solutions technologiques successives, chacune en rupture avec la précédente. Pour la puissance publique, il s'agit de choisir les créneaux sur lesquels elle va concentrer ses efforts de développement :
 - x recherche appliquée et déploiement pour les techniques économiquement « matures » ou quasi-matures comme l'éolien terrestre ;
 - x recherche plus en amont pour les techniques moins matures comme le photovoltaïque, où on peut penser que les solutions techniques qui se développeront sans aide publique à grande échelle ne sont pas celles qui sont aujourd'hui sur le marché ;
- géopolitiques et économiques : la question de la disponibilité des hydrocarbures, et de l'évolution des coûts d'approvisionnement est évidemment une grande

¹⁶⁵ Certains impacts sont déjà avérés, notamment sur les pénuries d'eau, avec les conséquences sur l'agriculture et la forêt.

inconnue qui conditionne l'ensemble de l'économie de la décarbonation. Il faut cependant distinguer coût d'approvisionnement et prix final sur le marché, ce qui pose la question de la gestion et du partage de la rente (entre le coût de revient et le prix sur le marché final) ;

- x l'augmentation du coût d'approvisionnement pour la France pèse sur la croissance économique¹⁶⁶ ;
- x en revanche, plus les hydrocarbures sont chers sur le marché final, plus les techniques alternatives et les investissements d'économie d'énergie sont rentables ;
- x la différence entre coût de revient et prix final se partage entre pays producteurs (« royalties »), profit des entreprises pétrolières et recettes pour les États consommateurs (taxes). Le raisonnement économique montre que, toutes choses (notamment les taux de profit) égales par ailleurs, l'augmentation des taxes (qu'on suppose compensée par des diminutions d'autres impositions et/ou par des redistributions sociales) entraîne une diminution des royalties¹⁶⁷, allégeant d'autant la facture pétrolière de la France.
- x il en résulte qu'une politique de valorisation¹⁶⁸ du carbone à des niveaux suffisants (en utilisant la ressource dégagée pour compenser les effets sociaux) paraît la condition *sine qua non* de l'atteinte du « facteur 4 » en 2050.

« Les tarifs publics comme les prix privés doivent refléter la rareté, le coût social et environnemental du service rendu ou de la marchandise consommée. (...) Le prix du carbone s'inscrit également dans cette recherche d'une croissance verte à condition, là encore, je l'ai dit, d'en faire une règle commune aux économies développées et aussi de responsabiliser les pays émergents » (François Hollande, Président de la République, discours d'ouverture de la conférence environnementale, 14 septembre 2012) ;

La mission est consciente que la difficulté politique en est grande, tant les effets réels de la taxation peuvent paraître paradoxaux.

- socio-politiques : l'économie de GES interpelle les comportements et le fonctionnement de la démocratie à toutes les échelles, du voisinage à la planète. On peut relever :
 - x l'incertitude sur la capacité de la communauté internationale à convenir d'efforts partagés et de grande ampleur. L'échéance de 2015 est capitale et il est heureux que la France se mette en situation d'y jouer un rôle majeur ;
 - x l'incertitude sur les choix nationaux, et notamment sur l'avenir de l'électricité d'origine nucléaire après 2020, lorsque la question du remplacement des anciennes centrales par des centrales de nouvelle génération se posera ;

¹⁶⁶ cf. notamment les travaux de Jean-Marc Jancovici (www.manicore.com).

¹⁶⁷ cf. notamment les travaux de Henri Prévot (www.hprevot.fr).

¹⁶⁸ Directement par la fiscalité (qui a l'avantage de procurer des recettes) ou par un système de quotas payants, ou par des réglementations restrictives (cf. les « certificats d'économie d'énergie » v 4.2.4.) qui peuvent avoir le même effet.

- x l'incertitude sur l'acceptation par la population des contraintes liées aux énergies décarbonées : on voit se dessiner un mouvement « NIMBY » envers les éoliennes. Il est difficile de dire aujourd'hui s'il se bornera à éviter les implantations les plus critiquables ou s'il hypothéquera l'exploitation du gisement éolien français (comparable en ordre de grandeur, rappelons-le au parc électronucléaire actuel, mais au prix d'un déploiement d'éoliennes sur 5 % du territoire (et donc très visibles). Il y a lieu de prendre dès maintenant très au sérieux l'effort de pédagogie, et sans doute la nécessité de l'appropriation des projets par les communautés locales, nécessaires.

Enfin la mission a rencontré évidemment de larges zones d'ignorance, que la recherche et les études sont appelées à réduire.

Le système de mesure des émissions, dont on a dit ci-dessus la qualité, présente deux lacunes importantes qui doivent pouvoir être réduites à moyen terme :

- le secteur de l'agriculture et de l'UTCF présente des spécificités matérielles (diversité des sources d'émission et des gaz en cause, connaissance imparfaite des phénomènes à l'œuvre, difficultés techniques des mesures, pertinence des conventions de mesure...) qui rendent les bilans beaucoup plus difficiles à établir que dans les autres secteurs. Ce serait demi-mal si cela ne conduisait à des décisions contre-productives, notamment dans la gestion du bois. Il y a donc lieu de soutenir la recherche sur la connaissance des phénomènes à l'œuvre et de militer pour une révision des conventions internationales de comptage ;
- le « contenu en carbone » des produits importés est mal connu, à la fois parce que les procédés de fabrication à l'étranger sont difficiles à connaître, et par manque de conventions mondialement partagées sur la manière de compter. Des progrès sont en cours, mais il y a un grand intérêt à les accélérer dans le cadre d'Eurostat, car cette connaissance est indispensable à tout progrès dans la prise en compte, quelles qu'en soient les modalités, du carbone dans les échanges internationaux. Rappelons que le carbone « gris » importé en France représente 39 %¹⁶⁹ du carbone produit sur le sol français¹⁷⁰.

Les paramètres économiques pouvant guider l'action publique vers l'efficacité sont à la fois mal connus et mal partagés :

- il paraît utile de savoir combien on peut économiser de GES pour un euro dépensé dans telle ou telle action ou catégorie d'action. Sans des connaissances de ce type, on s'expose à un certain gâchis, dépensant beaucoup ici pour économiser peu, et laissant en jachère des actions beaucoup plus efficaces. Les calculs de coûts d'abattement requièrent une rigueur méthodologique que la mission n'a hélas pas rencontrée dans les travaux auxquels elle a pu accéder. La mission a ainsi constaté que les banques de données internationales (McKinsey, Bloomberg) sur le sujet étaient gravement erronées, au point de les rendre inutilisables. Les utilisateurs de modèles économiques concourant à des études destinées aux pouvoirs publics utilisent des chiffres de cette nature sans publier leurs hypothèses, et on trouve très peu de travaux diffusés¹⁷¹ sur les paramètres intégrés dans ces outils. La mission s'est aventurée, secteur par secteur, à donner des estimations grossières de

¹⁶⁹ En 2007 Chiffre SOeS 2012.

¹⁷⁰ Rappelons également que l'engagement « facteur 4 » ne porte que sur les GES produits sur le sol national. Le présent rapport s'est conformé à ce périmètre.

coûts d'abattement, dans l'unique but de montrer leur extrême dispersion, susceptible d'entacher l'efficacité globale de nos politiques. Le développement d'une capacité de recherche et de publication sur ces données est urgent. Cette capacité devra avoir une certaine permanence (de l'ordre d'une mise à jour par an), puisque les aléas des évolutions technologiques font varier les hypothèses chaque année ;

- ces données à caractère économique ne peuvent résulter que d'une veille technologique pointue, analysant les coûts et les avantages de chaque technique (avec des marges d'incertitude inévitables) et suivant les progrès de tous les dispositifs pertinents ou susceptibles de le devenir. Le décideur public est aujourd'hui dans un univers de contradictions permanentes et environné de groupes de pression, avec une grande difficulté d'accéder à de l'information évaluée¹⁷².

Dès lors apparaît l'utilité d'un lieu, d'un « observatoire permanent du facteur 4 » où convergeraient les données d'observation des émissions, les produits de la veille technologique, et une capacité d'évaluation technico-économique qui fournisse aux décideurs publics, mais aussi privés, des données sur les rapports coûts / « avantages carbone » des possibilités techniques connues à un moment donné. La mission se borne ici à décrire sommairement la fonction manquante, sans prendre parti sur la forme qu'elle pourrait prendre, soulignant seulement la nécessité de ne déposséder aucun acteur de ses responsabilités. Le présent rapport a cherché à explorer le genre que pourrait revêtir cette information, qui n'a d'intérêt que livrée au débat.

C'est pourquoi, conformément à la lettre de mission, la mission se tient disponible pour contribuer à l'organisation d'une ou plusieurs journées d'étude autour des problématiques évoquées.

Restera enfin à répondre à la question que posait Groucho Marx, placée en exergue à ce document...

« La vraie générosité envers l'avenir consiste à tout donner au présent »

Albert Camus

¹⁷¹ La mission peut évidemment avoir manqué quelque travail universitaire sur le sujet : on parle ici de données couramment accessibles aux décideurs publics et à leurs experts.

¹⁷² Un exemple de ces contradictions successives : dans les jours où sont écrites ces lignes paraissent successivement deux informations : un document de l'AIE estimant que le développement du véhicule électrique sera gravement handicapé par la difficulté de trouver des bornes de recharge dans l'espace public, et un communiqué du gestionnaire des voitures en libre service à Paris annonçant le libre accès des particuliers à ses bornes de recharge déployées dans la ville, ouvrant manifestement ainsi une voie à la solution du problème... ainsi vont et viennent, iront et viendront jour après jour les surprises de la technologie, alors qu'on doit engager des dizaines de milliards d'Euros sur des décisions à long terme.

Jean-René Brunetière

Signé

Ingénieur général
des ponts, des eaux et des
forêts (coordonnateur)

Sylvie Alexandre

Signé

Ingénieure générale
des ponts, des eaux et des
forêts

Marc d'Aubreby

Signé

Ingénieur général
des ponts, des eaux et des
forêts

Georges Debiesse

Signé

Ingénieur général
des ponts, des eaux et des
forêts

André-Jean Guérin

Signé

Ingénieur général
des ponts, des eaux et des
forêts

Bernard Perret

Signé

Ingénieur général
des ponts, des eaux et des
forêts

Dominique Schwartz

Signé

Ingénieur général
des ponts, des eaux et des
forêts

Annexes

1. Lettre de mission



MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE

Conseil général de l'Environnement
et du Développement durable

Le Vice-Président

Référence CGEDD n° 008378-01

La Défense, le - 3 AOÛT 2012

Note

à l'attention de

Monsieur Jean-René BRUNETIERE
Monsieur Marc D'AUBREY,
Monsieur Georges DEBIESSE,
Monsieur André-Jean GUERIN
Monsieur Bernard PERRET,
Monsieur Dominique SCHWARTZ,

Ingénieurs généraux des ponts, des eaux
et des forêts

Le programme de travail 2012 du Conseil général de l'environnement et du développement durable (CGEDD) prévoit une mission sur la réalisation des engagements relatifs au « facteur 4 » (réduction d'un facteur 4 des émissions de gaz à effet de serre en 2050 par rapport à 1990). Vous trouverez en annexe la note de commande.

Je vous confie cette mission enregistrée sous le n°008378-01 dans le système de gestion des affaires du CGEDD. M. Jean-Philippe DURANTON, inspecteur général de l'administration du développement durable est chargé du suivi. Il en est le superviseur. Sa coordination sera assurée par M. Jean-René BRUNETIERE, ingénieur général des ponts, des eaux et des forêts.

Un comité des pairs composé de Messieurs Michel BADRE, Jean-Claude GAZEAU, Jean-Paul OURLIAC, ingénieurs généraux des ponts, des eaux et des forêts et M. Bernard BRILLET, inspecteur général de l'administration du développement durable, sera constitué pour cette mission.

J'attire votre attention sur mon souhait de disposer du rapport définitif pour le 30 octobre 2012.

Conformément à la procédure en vigueur, je vous demande de m'adresser votre rapport de fin de mission aux fins de transmission au ministre de l'écologie, du développement durable et de l'énergie.

Christian LEYRIT

Copies : M. le Président et Mme la Secrétaire de la 5ème section
M. le Président et M. le Secrétaire de la 2ème section
Mme la Coordinatrice de la MIGT Paris
M. Michel BADRE
M. Jean-Philippe DURANTON
M. Jean-Claude GAZEAU
M. Jean-Paul OURLIAC
M. Bernard BRILLET

Référence CGEDD n° 008378-01

Mission d'expertise sur la réalisation des engagements relatifs au « facteur 4 »

Note de commande

La division par quatre des émissions de gaz à effet de serre entre 1990 et 2050 sur le territoire national est inscrite dans la loi. Tous les secteurs d'activité doivent contribuer à ce résultat. Les pouvoirs publics ont mis en place des programmes ambitieux pour atteindre cet objectif, notamment à la suite du Grenelle Environnement.

Aujourd'hui, deux types de questions méritent d'être clarifiées : l'ensemble des dispositifs mis en place dans chaque secteur d'activité, tels qu'ils fonctionnent réellement, est-il en passe de produire le résultat global escompté ? Quelles sont, secteur d'activité par secteur d'activité, les hypothèses sous-jacentes, les marges d'incertitude et les possibilités d'inflexion des tendances constatées en matière d'évolution des émissions ?

Pour répondre à la première question, il est nécessaire de rassembler les éléments permettant d'évaluer l'impact des dispositifs publics (réglementations, plans et programmes) en place, afin de tracer, secteur par secteur, les trajectoires d'économies d'émission les plus probables à échéance prévisible dans le scénario tendanciel actuel. La mission recueillera, en coopération avec les directions concernées du ministère, les éléments de connaissance et d'analyse sur cette question et d'en produire une synthèse.

Sur le second point, on peut observer que cette norme de division par quatre des émissions ne s'est pas, jusqu'à maintenant, traduite dans une ventilation par secteur d'activité. Sur le moyen et long terme, faute de lignes directrices sur la distribution, étagée dans le temps, de l'effort entre secteurs, voire sous secteurs, de l'activité nationale, on peut craindre que la norme générale reste peu opérante. Il y aurait lieu, pour fixer de telles lignes directrices, d'identifier d'une part les hypothèses implicites et les marges d'incertitude du scénario tendanciel actuel, et d'autre part les possibilités d'inflexion de ce scénario par des actions de politique publique, sous des conditions à définir.

Un certain nombre de travaux de prospective ont tracé des lignes d'évolution possible pour les émissions de GES, en fonction de décisions qui seront prises et des actions qui seront engagées par les pouvoirs publics ainsi que des progrès technologiques qu'on peut attendre ou espérer. Ces travaux se fondent sur des ensembles d'hypothèses formulées par des experts, comportant naturellement des marges d'incertitude d'autant plus grandes que le terme est lointain. Les rapports suivants, entre autres apportent des éléments

- le rapport « trajectoires 2020 - 2050 vers une économie sobre en carbone » du Comité présidé par Christian de Perthuis (2011)
- le rapport du Centre d'analyse stratégique sur La valeur tutélaire du carbone (rapport Quinet 2009)
- Le rapport « Energies 2050 » coordonné par Jacques Percebois et Claude Mandil (2012)
- le rapport « TRANSvision report on transport scenarios with a 20 and 40 years horizon » (Commission européenne, DG TREN 2009)

Il me paraît utile aujourd'hui de mettre plus clairement en évidence ces hypothèses, notamment sur les valeurs explicites ou implicites des « coûts d'abattement » des émissions selon les secteurs et des « coefficients d'élasticité » entre les données économiques et les émissions de GES, ainsi que les prévisions d'évolutions technologiques et sociologiques qui fondent ces hypothèses.

Je crois en outre nécessaire de rassembler les éléments d'information les plus pertinents d'ordre technologique, économique et sociologique actuellement disponibles, de les expliciter et de les

expertiser, et éventuellement d'identifier ceux qui justifieraient d'être soumis au débat.

Enfin, il serait utile de mettre en évidence les sujets qui n'ont pas encore fait l'objet d'une étude suffisamment approfondie et sur lesquels il conviendrait de travailler sans attendre.

La mission engagera une réflexion sur ces différents points en insistant, au moins dans un premier temps, sur le secteur des transports, de la responsabilité directe du MEDDE et fort contributeur en émissions de GES. L'analyse du secteur des transports prendra bien sûr en compte ses interrelations avec les autres secteurs, en particulier l'énergie et l'aménagement urbain.

Bien évidemment ce travail devra être réalisé en liaison étroite avec les services du MEDDE en charge de ces questions, notamment la DGEC, la DGITM, la DGALN et le CGDD. La mission pourra en outre faire appel en tant que de besoin à des compétences extérieures au MEDDE.

La mission évoquera par ailleurs les liens entre la démarche française et celle des autorités européennes qu'il conviendra que vous interrogiez sur les fondements techniques de leurs travaux.

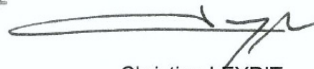
Calendrier:

- Septembre 2012 : première analyse relative à l'état actuel des réflexions concernant les évolutions prévisionnelles globales
- décembre 2012 : rapport définitif traitant l'ensemble des points évoqués dans la présente note.

La mission rassemblera les éléments en vue d'une journée d'étude du CGEDD sur l'objectif « Facteur 4 » au début de 2013.

Pour la ministre et par délégation
Le Vice président du CGEDD

-- 3 AOUT 2012



Christian LEYRIT

2. Liste des personnes rencontrées

Nom	Prénom	Organisme	Fonction	Date de rencontre
Schwartz	Virginie	ADEME	Directrice des programmes	vendredi 23 novembre 2012
Topper	Benjamin	ADEME	Chargé de mission au cabinet du Président	vendredi 23 novembre 2012
Siess	Damien	ADEME	Directeur adjoint Production et énergies durables	vendredi 23 novembre 2012
Mousset	Jérôme	ADEME	Chef du Service Agriculture et Forêts	
Pouet	Jean-Christophe	ADEME	Chef du Service Bioressources	
Varnaison-Revolle	Patricia	CERTU	Chef du département déplacements	mardi 14 août 2012
Verry	Damien	CERTU	Déplacement durable	mardi 14 août 2012
Lasserre	Virginie	CERTU	Déplacement durable, prospective des déplacements	mardi 14 août 2012
Ronez	Benoît	CERTU	Département environnement	mardi 14 août 2012
Allemand	Nadine	CITEPA	Directeur adjoint	vendredi 24 août 2012
Vincent	Julien	CITEPA	Chef du département industrie et énergie	vendredi 24 août 2012
Matthias	Etienne	CITEPA	Chargé de mission sur l'agriculture et la forêt	
Prévot	Henri	Consultant	Ingénieur général des mines honoraire	jeudi 21 juin 2012
Kovarik	Jean-Bernard	DGITM	Adjoint au directeur général	mardi 17 janvier 2012
Croquette	Gilles	DGITM/SAGS/EP/EP2	Chef du bureau des études économiques	mardi 17 janvier 2012
Tutenuit	Claire	EPE	Directrice générale	vendredi 6 juillet 2012
Noël	Coralie	MAAF/DGPAAT	Sous directrice de la biomasse et de l'environnement	
Larbodière	Ludovic	MAAF/DGPAAT	Chargé de mission au Bureau de la Stratégie Environnementale et du Changement climatique	
Dron	Dominique	MEDDE/CGDD	Commissaire générale	
Becker	Jean-Jacques	MEDDE/CGDD/S EEI/MA	Sous-directeur	mardi 19 juin 2012
Rouquette	Céline	MEDDE/CGDD/S OeS/OEMP	Sous-directrice	mardi 13 novembre 2012
Ouradou	Frédéric	MEDDE/CGDD/S OeS/OEMP2	Chef de bureau	mardi 13 novembre 2012
Pasquier	Jean-Louis	MEDDE/CGDD/S OeS/SDES/BPIA		Lundi 8 octobre 2012 (tél.)
Boulnois	Daniel	MEDDE/DGALN	Adjoint au directeur général	
Michel	Jean-Marc	MEDDE/DGALN	Directeur général	
Bardy	Jean-Pierre	MEDDE/DGALN	Sous-directeur de la qualité de la construction	jeudi 21 juin 2012

Ménard	François	MEDDE/DGALN/ STRUCT/PUCA	Chef de projet socio-économie de la ville et de l'environnement urbain	mercredi 5 septembre 2012
Chevet	Pierre- Franck	MEDDE/DGEC	Directeur général	vendredi 20 janvier 2012
Dupuis	Pascal	MEDDE/DGEC	Chef du service énergie-climat	vendredi 20 janvier 2012
Lavergne	Richard	MEDDE/DGEC MEDDE/CGDD	Chargé de mission	jeudi 22 mars 2012
Trigano	Eléonore	MEDDE/DGEC/S CEE/SD5/5A		mardi 6 novembre 2012
Delalande	Daniel	MEDDE/DGEC/S D5/5A	Chef du département	
Dambrine	Fabrice	MINEFI/CGEIET	Haut fonctionnaire au développement durable	mardi 5 juin 2012
de Perthuis	Christian	Univ. Paris- Dauphine	Directeur de la Chaire économie du climat	jeudi 12 juillet 2012
Wang	Wen	Univ. Paris- Dauphine	Doctorante à la Chaire économie du climat	

3. Pouvoir de réchauffement global et définitions

Source : Inventaire des émissions de gaz à effet de serre en France de 1990 à 2010 (CITEPA / Rapport CCNUCC / Mars 2012).

Afin de déterminer l'impact relatif de chacun des polluants sur le changement climatique, un indicateur, le pouvoir de réchauffement global (PRG), a été défini. Il s'agit de l'effet radiatif d'un polluant intégré sur une période de 100 ans, comparativement au CO₂ pour lequel le PRG est fixé à 1. Le pouvoir de réchauffement global, provenant des six substances retenues dans le Protocole de Kyoto est calculé au moyen des PRG¹⁷³ respectifs de chacune des substances exprimés en équivalent CO₂ (CO₂e). Les valeurs de PRG déterminées par le GIEC et retenues pour les inventaires d'émission correspondent aux valeurs définies par la CCNUCC, à savoir :

PRG CO₂ = 1 par définition

PRG CH₄ = 21

PRG N₂O = 310

PRG SF₆ = 23 900

PRGHFC = valeurs variables selon les molécules considérées et leurs contributions qui sont variables au cours des années de la période étudiée (exemples 5 011 en 1990, 6 726 en 1993, 1 620 en 2010). Les calculs sont effectués sur les bases suivantes :

Polluant	HFC-125	HFC-134a	HFC-143a	HFC-152a	HFC-227ea	HFC-365mfc	HFC-23	HFC-4310mee	HFC-32
Base de calcul	2800	1300	3800	140	2900	850	11700	1300	650

PRG_{PFC} = valeurs variables selon les molécules considérées et leurs contributions qui sont variables au cours des années de la période étudiée (exemples 7 317 en 1990, 7 508 en 1994 et 7 320 en 2010). Les calculs sont effectués sur les bases suivantes :

Polluant	PFC-14	PFC-116	C3F8	c-C4F8	C4F10	C5F12	C6F14
Base de calcul	6500	9200	7000	8700	7 500	7400	7000

¹⁷³ les PRG utilisés sont ceux de 1995 selon les décisions prises à ce jour par la Conférence des Parties.

Les émissions des différentes substances rapportées sous-entendent les définitions suivantes :

- CO₂ dioxyde de carbone exprimé en CO₂, soit hors UTCTF2, soit UTCTF inclus,
- CH₄ méthane exprimé en CH₄,
- N₂O protoxyde d'azote ou oxyde nitreux exprimé en N₂O,
- HFC hydrofluorocarbures exprimés en somme de HFC en masse (aucune équivalence n'est prise en compte sauf pour le calcul du PRG),
- PFC perfluorocarbures exprimés en somme de PFC en masse (aucune équivalence n'est prise en compte sauf pour le calcul du PRG),
- SF₆ hexafluorure de soufre exprimé en SF₆.

Les quatre gaz mentionnés ci-après ont une action indirecte sur l'effet de serre en tant que polluants primaires intervenant dans la formation de polluants secondaires comme l'ozone ou les aérosols. Ils n'entrent pas dans le « panier » de Kyoto et ne sont pas assortis d'un PRG par les experts du GIEC. Ils sont inclus dans l'inventaire avec les conventions suivantes :

- CO, monoxyde de carbone exprimé en CO, (Dans l'atmosphère, le CO s'oxyde en CO₂).
- COVNM, composés organiques volatils non méthaniques exprimés en somme de COV en masse (aucune équivalence n'est prise en compte),
- NO_x (NO + NO₂), exprimés en équivalent NO₂, Ces deux familles de composés interagissent selon des réactions complexes dans l'atmosphère pour former de l'ozone qui participe à l'effet de serre,
- SO_x (SO₂ + SO₃), exprimés en équivalent SO₂, Les oxydes de soufre ont indirectement une action de refroidissement climatique, car ils servent de noyaux de nucléation à des aérosols dont l'albédo est assez élevé.

4. Essai de parangonnage avec l'Allemagne et le Royaume-Uni

4.1. Allemagne : le consommateur allemand paiera-t-il pour la transition énergétique ?¹⁷⁴

Aujourd'hui un Allemand émet en moyenne 9 t CO₂ éq. contre 5,8 t CO₂ éq. pour un Français.

L'Allemagne a entamé une transition énergétique qui doit lui permettre d'ici 2050 à la fois de renoncer au nucléaire (le démantèlement est annoncé avant 2022) et de décarboner son énergie pour réduire ses émissions de GES. Dès 2010, le vaste plan « Energiekonzept » a défini 4 objectifs :

- les EnR fourniront 18 % de l'énergie finale consommée en 2020 et 60 % en 2050 ;
- la demande énergétique doit baisser de 20 % en 2020 et 80 % en 2050 (baisses de 10 % et 25 % pour la consommation électrique, mais de 20 % et 80 % pour la chaleur dans le bâtiment) ;
- l'intensité énergétique (consommation d'énergie nécessaire pour générer 1 euro de PIB), doit diminuer de 2,1 % par an ;
- les émissions de GES doivent baisser de 40 % d'ici 2020, 55 % à 2030 et 80/95 % en 2050 par rapport à 1990.

Cet ambitieux programme nécessite à la fois un recours accru dans un premier temps au charbon, au gaz et au lignite (environ 30 000 MW de centrales thermiques fossiles sont en construction ou en projet), et un développement à marche forcée des EnR : l'Allemagne vise une proportion d'éolien, de solaire, de biomasse et d'hydraulique de 80 % dans son mix électrique 2050, contre 20 % en 2011, et 35 % en 2020.

Cette politique est essentiellement soutenue par des tarifs très élevés de rachat de l'électricité, assumés par le consommateur, pour financer les énormes investissements de production et de transport nécessaires¹⁷⁵ : le coût de l'abandon du nucléaire est estimé entre 200 et 400 Md € par une étude récente des opérateurs de réseau, de son côté la banque KfW évalue les coûts de la transition vers les énergies renouvelables entre 350 Md € et 420 Md € d'ici 2022. Pour ne pas handicaper la compétitivité de l'industrie, les clients électrointensifs et les grands industriels bénéficient déjà d'allègements qui devraient être augmentés pour compenser l'augmentation prévue des prix (+70 % d'ici 2025). C'est donc, finalement, le client domestique qui devra payer la facture, qui pourrait augmenter d'au moins 70 % d'ici 2025. L'EEG (équivalent de notre CSPE) représente déjà 15 % de sa facture mensuelle. Elle pourrait augmenter de 40 % entre 2011 et 2012, ce qui commence à éroder le consensus fort jusqu'ici sur cette politique et pose la question de la précarité énergétique.

¹⁷⁴ Source : note d'analyse n° 281 du CAS septembre 2012.

¹⁷⁵ Le coût pour le consommateur allemand (244€/MWh) est déjà presque double de celui payé en France (129 €/MWh), et les primes tarifaires liées aux EnR sont doubles à peu près des tarifs de rachat français.

4.2. Royaume-Uni

Aujourd'hui un Britannique émet en moyenne 10,7 t CO₂ éq. (chiffres 2008). Ce chiffre élevé est dû à la production et à la consommation d'énergie, historiquement liée au charbon, depuis 20 ans davantage tournée vers le gaz et les EnR.

En 2008 le « *Climate Change Act* » a établi des objectifs de réduction des émissions (les « *carbone budgets* ») qui visent à réduire de 80 % les émissions en 2050 :

	Budget carbone 2008 2012	Budget carbone 2013 2017	Budget carbone 2018 2022	Budget carbone 2023 2027
Émissions autorisées Mt CO ₂ éq.	3018	2782	2544	1960
% réduction /1990	23,00 %	29,00 %	35,00 %	50,00 %

En 22 ans, entre 1990 et 2012, les émissions ont été réduites de près d'un quart, par fermeture des centrales à charbon et développement des EnR qui atteignent 10 % de la capacité et du nucléaire qui a déjà atteint 16 % des capacités et doit encore progresser. Les émissions du bâtiment ont reculé de 16 % et celles de l'industrie de 46 % (par délocalisation d'industries lourdes). Les émissions agricoles ont été réduites de près d'un tiers (diminution du secteur laitier).

Pour la période 2012-2020 : les priorités affichées du plan carbone rendu public en décembre 2011 sont :

- l'isolation des bâtiments existants, car 37 % des émissions sont liées à l'habitat (l'objectif est de réduire de 24 % à 39 % les émissions entre 2009 et 2027),
- le remplacement du charbon par du gaz et de l'éolien off shore,
- la réduction de 17 % à 28 % des émissions du transport entre 2009 et 2027 (elles représentent 25 % des émissions) en s'appuyant sur l'efficacité des moteurs et les biocarburants de 2e et 3e génération (algues). Une réduction des émissions (de 20 à 24 % de 2009 à 2027) sans désindustrialiser en incitant les industries à user des EnR (« *renewable Heat Incentive* » équivalent à notre fonds chaleur) et en ayant recours à la CSC pour les centrales à gaz et à charbon.
- L'évolution du mix énergétique d'ici 2030 en ayant recours au nucléaire 10 à 30 GW, aux énergies renouvelables (35 à 50 GW), charbon et gaz équipés de CSC.

Le Royaume-Uni, qui n'a pas connu de construction de centrales nucléaires depuis plus de 10 ans, souhaite renouveler son parc électrique, mais a cruellement besoin d'investisseurs étrangers pour atteindre ses objectifs de production nucléaire. Après

l'abandon en mars dernier d'un projet de grande ampleur qui aurait dû être mené par les entreprises allemandes RWE et E.ON, EDF Energy a exprimé des doutes sur son engagement sur le sol britannique, attendant la réforme EMR (« *electricity market reform* ») et notamment les « *Contracts for Difference* » (CfD), des instruments long-terme visant à fournir des conditions stables et prévisibles permettant d'inciter les entreprises à investir dans les énergies faibles en carbone. La loi sur l'énergie, présentée au Parlement le 29 novembre, comprend les mesures nécessaires pour réformer le marché de l'électricité et « attirer £ 110 milliards d'investissement dont nous avons besoin dans cette seule décennie pour remplacer notre infrastructure énergétique vieillissante avec un mix énergétique plus diversifié et à faible émission de carbone, tout en minimisant les factures des consommateurs ».

Entre 2020 et 2050, l'objectif est de décarboner l'économie en remplaçant l'énergie fossile par de l'électricité verte, des biocarburants durables et de l'hydrogène.

Le plan carbone contient un grand nombre de mesures (plus de 120), mais leur financement dans le temps n'est pas garanti et, là comme ailleurs, les investisseurs se plaignent de la non permanence des dispositifs de soutien (le Md £ pour soutenir un démonstrateur de CSC a par exemple été remis en cause), la crise ayant contraint le pays à renoncer à certaines mesures (fiscalité verte, etc.).

Selon le « *Carbon Plan* », atteindre les objectifs en 2025 (50 % de réduction) ne devrait pas avoir d'impact supplémentaire sur les finances publiques d'ici 2015 (date des élections), mais nécessitera ensuite une décennie de déploiement massif des technologies clés : *smart grids*, CSC, etc.

5. Ressource d'avenir ou menace climatique : les hydrates de gaz naturel

Après leur mort, les organismes végétaux et animaux ou leurs débris peuvent être emportés avec les ruissellements et rejoindre les sédiments lacustres et marins. Les fermentations anaérobies de ces matières organiques se développent dans une large plage de températures et de pressions. Elles sont à la source d'une production importante de méthane (gaz naturel, gaz de marée). Une partie de ce méthane, remontant à travers les sédiments se rapproche des fonds océaniques et des températures proches de 4° C qui y règnent presque uniformément. Sous ces conditions de température et de pression (quelques centaines de mètres d'eau), ce méthane peut être capturé dans une composition quasi-cristaline d'hydrate de méthane (la molécule de méthane est enfermée dans une cage de molécules d'eau, d'où le nom de clathrate donné à ces composés).

Les hydrates de méthane ont l'aspect de la glace. Les photos de blocs fondant en eau et surmontés de flammes bleutées sont évidemment une curiosité pour les géologues et spécialistes des milieux marins. Un volume unitaire d'hydrate peut ainsi emmagasiner (ou libérer) 160 volumes de méthane durant sa formation (ou sa décomposition). La quantification des réserves existantes est progressivement apparue comme porteuse de divers enjeux.

Les quantités d'hydrates de méthane recelés dans les sédiments des talus continentaux océaniques et, dans une moindre mesure, dans les permafrosts, ont fait l'objet d'estimations. Le service géologique américain (USGS) a récemment estimé à 20 millions de km³ la quantité de méthane présente sous forme d'hydrate dans les fonds marins et les sols gelés arctiques. 1 800 Gt de carbone sous forme de CH₄ représente 3.10¹⁵ m³ de gaz, l'équivalent en méthane de deux fois toutes les réserves prouvées de charbon, pétrole et gaz réunis.

Ces estimations demandent à être confortées par des observations de terrain, mais de telles poches de gaz pourraient constituer un fabuleux trésor énergétique. Elles pourraient constituer tout autant une immense source d'émission de gaz à effet de serre. Exploitées comme combustible, les quantités de gaz carboniques produites ne feraient qu'accroître l'excès de ce gaz déjà rejeté dans l'atmosphère.

Mais, la véritable crainte vient d'ailleurs. La stabilité des hydrates de méthane est dépendante de conditions de température et pression maintenues dans des plages étroites. Des remontées de bulles de méthane sont observés dès à présent notamment dans certaines zones littorales arctiques. Ces phénomènes font craindre qu'un réchauffement, même minime, de quelques dixièmes de degrés des eaux océaniques profondes puisse entraîner la décomposition d'une part substantielle de ces hydrates et le relargage de quantités importantes de méthane vers l'atmosphère. On connaît le pouvoir de réchauffement global du méthane, 20 fois celui du gaz carbonique sur un siècle, près de 80 fois sur 10 ans. Il y aurait là une puissante boucle de rétroaction positive au réchauffement climatique planétaire.

Il faut dire enfin que la libération passée d'une partie de ces hydrates serait une cause candidate pour expliquer les périodes de maximum thermal (les scientifiques se focalisent notamment sur la période du Paléocène-éocène il y a 55 à 95 millions d'années).

Pour aller plus loin :

IFREMER :

http://www.ifremer.fr/grands_fonds/Les-enjeux/Les-applications/Ressources-energetiques/Les-hydrates-de-gaz

USGS

http://www.usgs.gov/blogs/features/usgs_science_pick/gas-hydrates-and-climate-warming/

<http://www.nature.com/scitable/knowledge/library/methane-hydrates-and-contemporary-climate-change-24314790>

6. La négociation du Climat, et la question des forêts et du secteur UTCF

Préambule

Les émissions anthropiques de GES proviennent des activités des différents secteurs de l'économie mais aussi de la gestion et de l'affectation des sols : les sols agricoles et forestiers et les productions qu'ils portent constituent d'immenses réservoirs de carbone, qui peuvent fonctionner comme « puits » lorsqu'ils absorbent plus de GES qu'ils n'en émettent, ou comme une « source » en situation inverse. Schématiquement, le boisement ou le reboisement d'un sol nu a un effet de « puits net », le déboisement a un effet de « source », les changements de vocation des sols agricoles sont à effet « source » dans le cas de retournement des prairies pour la mise en cultures labourées, et « puits » dans le cas contraire.

Outre ces changements d'affectation, la gestion forestière peut avoir un impact sur l'absorption de carbone sous forme de CO₂ : une forêt jeune continue de croître et d'absorber du carbone, alors qu'une forêt qui vieillit absorbe de moins en moins jusqu'à devenir émettrice nette, la croissance ne permettant plus de compenser les émissions liées à la minéralisation des litières et du bois mort. Une forêt où l'équilibre entre ces deux phénomènes antagonistes que sont la photosynthèse et la minéralisation est réalisé, absorbe autant qu'elle émet : en sylviculture classique, une forêt tempérée où l'équilibre des classes d'âge est atteint, a une pérennité assurée dans le temps et un bilan carbone (positif ou négatif) proche de zéro.

Aujourd'hui dans le monde les forêts concentrent 80 % de la biomasse aérienne et 50 % de la photosynthèse terrestre. Elles absorbent 19 % des émissions anthropiques annuelles soit 10Gt_{eq}CO₂. La déforestation (tropicale essentiellement) et le drainage des forêts marécageuses émettent quant à eux 11 % des émissions anthropiques soit 5,7 Gt_{eq} CO₂.

Le puits forestier net mondial est donc d'environ 4,3 Gt_{eq} CO₂ (source : GIEC) mais pourrait être beaucoup plus important si les déforestations étaient stoppées ou compensées par des reboisements.

À ce stade, quatre remarques sont nécessaires :

1. La complexité des phénomènes mis en jeu peut être mal rendue par des règles de comptabilisation, à la fois simplificatrices et adoptées par précaution : ainsi, lors de la première période du Protocole de Kyoto, le bois coupé en forêt (selon le GIEC 1 m³ de bois stocke environ 1 t de CO₂), a été considéré comme une source à 100 %, comme s'il était immédiatement brûlé, alors que dans la réalité, il continue de stocker du carbone tant qu'il est utilisé, ou recyclé, ou mis en décharge. Ce stockage peut durer plusieurs années, décennies, ou siècles (cf. point 2.1.1 infra). Ces règles ont évolué à Durban, mais la mise en décharge continue d'être considérée comme une émission immédiate, alors qu'une étude récente du FCBA a montré que le taux de minéralisation du bois en décharge est seulement de 15 % au bout de 100 ans. Les taux de minéralisation sont de plus variables selon les climats.

2. Le bilan net « puits/source » d'une forêt ou d'une terre agricole est étroitement dépendant de la cinétique du carbone absorbé puis exporté ou minéralisé sur place, et de la période de référence étudiée. (Pour les terres agricoles, une prairie retournée une fois en 20 ans aura un bilan « source » correspondant à la totalité du CO₂ émis l'année de son retournement, mais 20 fois moindre si elle est considérée sur la période)... Le choix de la période de référence n'est donc pas neutre, d'autant moins sur les forêts dont les cycles de production sont pluridécennaux, voire centennaux, et qui peuvent subir instantanément des accidents de grande ampleur (tempêtes, incendies, sécheresses, attaques de ravageurs) puis reprendre leur cycle sur longue période. Une périodicité courte comme celle des engagements Kyoto (5 ou 8 ans) est donc très déformante et minore la prise en compte des cycles forestiers, par rapport à des bilans de plus long terme... L'accord de Durban laisse aux états la possibilité de ne pas compter les émissions liées aux perturbations naturelles. Mais il faudrait pouvoir raisonner par périodes pluri-décennales pour les forêts.
3. Le caractère anthropique des émissions/absorptions liées à ces changements est difficile à établir dans certains cas, ou artificiel : tempêtes et sécheresses sont des accidents climatiques habituels dont le lien avec l'activité humaine et le changement climatique est indirect, ou de deuxième ordre (il y a eu des sécheresses bien avant l'amplification des émissions anthropiques de GES). En outre, même en l'absence de gestion par l'homme des terres cultivées ou des forêts, on assisterait à des phénomènes d'émissions/absorption par les sols terrestres naturels, dont le couvert végétal continuerait à fonctionner, donc à émettre ou à capter du CO₂... Cette « activité de référence non anthropique » des sols agricoles et forestiers n'est jamais prise en compte dans les bilans qui considèrent toute forme de gestion (y compris l'absence de gestion) comme relevant de l'action humaine. Tout au plus en a-t-on déduit un plafonnement des crédits pouvant être obtenus pour la gestion forestière. Le système actuel constitue donc en quelque sorte une « double pénalité » ...
4. L'ampleur des effets du changement climatique sur le cycle du carbone végétal constitue un facteur de complexité et d'incertitude supplémentaire ; à l'horizon 2050, le rapport « Trajectoire 2020/2050 : vers une économie sobre en carbone » indique que selon une étude récente, en prolongeant les tendances actuelles le puits forestier français aura complètement disparu.¹⁷⁶ Nous verrons au point 1.1.3. les différentes hypothèses et les scénarios de gestion étudiés.

En résumé, malgré les progrès importants accomplis pour le suivi et la mesure des puits de carbone, les approches actuelles de ces phénomènes demeurent schématiques, simplificatrices et déformantes, faute d'en maîtriser parfaitement les représentations théoriques, et faute de données fiables et disponibles.

¹⁷⁶ Le rapport cite l'étude Böttcher et al. (2008).

Voir H. Böttcher, W.A. Kurz et A. Freibauer (2008),

I. L'article 3.3 et l'article 3.4 du protocole de Kyoto. Leur comptabilisation lors des deux premières périodes (2008/2012) et (2013/2017). L'application dans l'Union européenne et en France (source : Dossier Club Carbone Forêt Bois CDC CLIMAT RECHERCHE, DGPAAT, MEDDE).

I.1. Première période 2008/2012

I.1.1 Au niveau mondial

Le Protocole de Kyoto signé en 1997 engage 40 pays industrialisés à stabiliser ou réduire leurs émissions anthropiques de GES. A cet effet les pays de l'Annexe I (pays développés) parties à la Convention Cadre des Nations unies sur le Changement Climatique (CNUCC) reçoivent une quantité d'actifs carbone (les UQA ou unités de quantités attribuées qui représentent 1 téq. CO₂) qui correspondent à leurs objectifs d'émissions sur la période, calculés *hors secteur forestier*, en référence à l'année 1990. Chaque année ils remettent à la CNUCC un inventaire de leurs émissions et ils devront après 2012, restituer autant d'actifs carbone que leurs émissions sur la période d'engagement. Il peuvent également, sous certaines conditions, se voir attribuer un autre type d'unités carbone, les UA ou unités d'absorption, issues de leurs forêts (qui représentent aussi 1 téq. CO₂ mais non échangeables avec les UQA) et peuvent également être utilisées pour la conformité aux engagements pris au titre du Protocole.

Deux articles du Protocole précisent la manière conventionnelle de tenir compte du secteur de « l'utilisation des terres, leurs changements et la forêt » (secteur UTCATF couramment dénommé UTCF en français, ou LULUCF¹⁷⁷ en anglais) :

- **l'article 3.3.** d'application obligatoire comptabilise les émissions ou absorptions liées aux changements d'usage des sols : volet boisement/reboisement/déboisement. Il ne concerne pas les émissions des sols restés agricoles sur la période. La variation nette du stock de carbone des terres ayant changé d'usage depuis 1990 (boisements – déboisements) constitue le « solde 3.3 ». Si ce solde devient négatif, le pays peut le combler à l'aide du solde du 3.4. dans la limite de 33 Mt CO₂ / an pour la France.

- **l'article 3.4.** optionnel, comptabilise les émissions ou les absorptions liées au choix de gestion forestière (forêt jeune, en équilibre, ou vieillie) pour des forêts existantes depuis 1990, mais aussi celles des activités agricoles (gestion des terres cultivées, gestion des pâturages, restauration du couvert végétal). Lors de la première période d'application (2008/2012), il a été décidé que les pays de l'Annexe I pouvaient prendre l'option de comptabiliser les émissions/absorptions liées à la gestion forestière (art 3.4), i.e. du changement de stock de carbone des terres demeures d'usage forestier depuis 1990. C'est l'option choisie par la France. Pour limiter les effets d'aubaine, et distinguer la part des absorptions liées à l'action humaine (l'accord devant plutôt inciter à la réduction des émissions industrielles), la France dont le puits annuel était évalué à 23 MtéqCO₂ en 1990 a vu son puits plafonné à 3,2 Mt éq. CO₂/an (considérant que la gestion forestière active ne participait qu'à 15 % du puits existant). La France n'a pas choisi d'appliquer l'article 3.4 aux activités agricoles compte tenu de l'expertise INRA menée en 2005 et des analyses conjointes avec la profession agricole, qui faisaient apparaître plusieurs difficultés : manque de données suffisantes

¹⁷⁷ *Land-use, land-use change and forestry.*

et de méthodologies fiables, changement de gestion des terres dans le temps, coûts élevés de suivi pour un bénéfice escompté faible, etc.

Des mécanismes de projet permettent aux états de récupérer des crédits carbone en investissant dans des projets de développement dans des pays hors annexe I (MDP¹⁷⁸) ou de l'annexe I (MOC¹⁷⁹), à condition d'en démontrer l'additionnalité, la permanence et le non double-compte.

Enfin, aucune prise en compte du carbone stocké hors forêt dans des produits (bois d'œuvre, panneaux, papier, bois de déchets) n'est réalisée dans cette première période : pour la comptabilité Kyoto, essentiellement du fait que lors des discussions préparatoires à l'accord sur le PK, très peu de connaissance était disponible sur ces sujets, peu de données étaient fiables sur les échanges commerciaux de bois matériau et son recyclage, et aussi parce que la préoccupation prioritaire de certaines parties prenantes a été de cibler sur les émissions industrielles les efforts à conduire.

Ainsi, la totalité du carbone contenu dans la biomasse récoltée (bois coupé en forêt) est comptabilisée comme une émission nette du carbone correspondant. Dès lors, l'utilisation de ce bois sous forme d'énergie, en substitution d'énergie fossile, parce qu'elle est déjà comptabilisée au titre de l'article 3.4, apporte un bénéfice direct et immédiat au secteur utilisateur, en termes de réductions admises des émissions de GES, alors que le stockage de carbone hors forêt par des produits en bois n'est pas valorisable.

En résumé, ces règles de comptabilisation issues d'un processus international à courte échéance, assimilent forêts tropicales et forêts tempérées dans une même vision simplificatrice d'où émerge la priorité de conserver les puits de carbone, mais sans en avoir approfondi les moyens, ni l'application différenciée selon les climats. Elles favorisent théoriquement les pays dont la récolte permet d'atteindre le plafond du puits forestier, et destinent tous les produits à l'énergie en substitution de produits fossiles. Il n'est pas certain que ces règles puissent contribuer efficacement à lutter contre les déforestations tropicales, dans la mesure où leur application demanderait des moyens considérables aux pays concernés, et où c'est souvent la mise en culture liée à la pauvreté qui en est le moteur. En revanche, elles ne tiennent pas compte d'objectifs de politique forestière différenciés selon les types de forêts ; en France en tout cas, il s'agit de générer dans le long terme des recettes de produits de valeur, pour gérer et renouveler les forêts de façon durable, en optimisant leurs fonctions carbone, et en leur permettant de s'adapter au contexte du changement climatique. Ces règles y paraissent même contraires : en favorisant uniquement et fortement l'énergie qui s'alimente de produits peu valorisés, ne couvrant pas les coûts de gestion et de renouvellement, elles n'encouragent pas la hiérarchisation des usages et n'apportent pas de synergie à la politique forestière.

¹⁷⁸ Mécanisme de développement propre donnant des unités de réduction certifiées d'émissions URCE.

¹⁷⁹ Mise en œuvre conjointe donnant des unités de réduction d'émissions URE.

I.1.2 Au niveau européen

Pour atteindre les objectifs de réduction fixés par le Protocole de Kyoto l'UE a mis en œuvre un « paquet énergie-climat » au moyen de deux instruments juridiques¹⁸⁰ :

- sur le secteur industriel, elle a plafonné les émissions industrielles des 27 États membres depuis 2005 dans les secteurs suivants : combustion (production électrique, chauffage urbain, cogénération et raffineries), métallurgie, ciment, verre et papier. Les émissions annuelles des installations sont vérifiées et doivent être couvertes par la détention d'actifs carbone qui peuvent être échangés sur le marché communautaire de quotas créé à cet effet (SCEQE¹⁸¹ ou ETS),

- sur les secteurs hors quotas, qui représentent environ la moitié des émissions communautaires (agriculture, habitat, transport, hors UTCF) est imposé un objectif de réduction global de 10 % réparti entre les États membres selon la décision « partage de l'effort ».

Le secteur UTCF a été délibérément laissé hors de l'application des objectifs de réduction européens.

Le secteur forêt-bois est néanmoins doublement impliqué :

- car le bois-énergie est considéré comme EnR, ce qui incite à sa substitution à l'énergie fossile : la combustion de 4 m³ de bois frais se substitue à 1 tep d'énergie fossile et économise 4 t de CO₂,

- car les industries européennes ont la possibilité d'utiliser des crédits Kyoto issus de la MOC ou du MDP, dans la limite de 13,5% en moyenne de leur allocation initiale, mais sans pouvoir les vendre sur le marché SCEQE. Malgré des demandes initiales de plusieurs États membres dont la France, la Commission a refusé jusqu'ici d'ouvrir ce marché aux crédits forestiers, en raison de risques de déstabilisation du SCEQE, ce qui a très largement réduit l'implication européenne dans les MDP forestiers (projet de boisement/reboisement ou de lutte contre la déforestation). Il est vrai que les incertitudes liées aux mesures et à la permanence de la séquestration sont importantes.

¹⁸⁰ Directive 2003/87 qui instaure le système, décision 406/2009 du « partage de l'effort » qui fixe des objectifs de réduction des émissions de GES pour les secteurs diffus.

¹⁸¹ Système communautaire d'échanges de quotas d'émission SCEQE ou *Emissions Trading Scheme* en anglais.

I.1.3 Au niveau national

La France a notifié chaque année à la CNUCC ses données d'inventaires, chaque notification annuelle met à jour la précédente ; l'édition 2012 présente les données 2010 et met à jour 2008 et 2009¹⁸².

	2008	2009	2010
Activités art.3.3.	+7,6	+6,4	+3,4
boisement-reboisement	-7,2	-7,5	-7,8
défrichement	14,8	13,9	11,2
Activités art. 3.4.	- 59,6	-51,6	- 44,6
Plafond art.3.4	-3,2	-3,2	-3,2

Source soumission CNUCC avril 2012

NB : une valeur négative indique un puits ; la diminution du puits en 2010 est liée à l'impact de la tempête KLAUS, et à celui d'un hiver froid en 2010 qui a entraîné une hausse de la consommation de bois énergie.

En outre, suite à une expertise de la Caisse des Dépôts menée en 2005, la France a développé des « projets domestiques » s'appuyant sur la MOC pour les secteurs non couverts par l'EU ETS (habitat, transport, agriculture), dont plusieurs consistent à développer des chaudières à biomasse bois (réduction attendue d'émission de 0,59Mt CO₂ pour 2008/2012). Des projets volontaires de compensation carbone forestière ont également été développés en Italie, aux Pays-Bas, en Pologne, au Royaume-Uni (source CDC climat). En France, un arrêté est en préparation pour permettre de délivrer des crédits MOC adossés à des UA pour des projets volontaires de boisement-déboisement.

Deux rapports de l'INRA ont été produits sur la projection des émissions du secteur UTCF à 2020 en France.

Le rapport « Projections des émissions/absorptions de gaz à effet de serre dans les secteurs forêt et agriculture aux horizons 2010 et 2020 » réalisé par l'INRA en 2008 pour le compte du ministère chargé de l'agriculture, indique que la forêt métropolitaine n'est exploitée, depuis quatre bonnes décennies, qu'environ à hauteur de 60 % de ce que permettrait sa production biologique (80 % si l'on considère la fraction physiquement accessible de la production). Cette sous-exploitation conduit à un puits de carbone considérable dans la biomasse, qui représente en moyenne sur 1996–2005 17 Mt C/an¹⁸³, (ou 62,3 Mt CO₂ éq. /an), soit 15 % des émissions nationales de carbone fossile. Une des raisons principales en est que la productivité forestière a augmenté depuis 25 ans au rythme de 1 % par an, comme le volume unitaire par ha,

¹⁸² Ces chiffres tiennent compte des nouvelles données de l'inventaire forestier intervenue en 2011. Cette révision a minoré les données de production ainsi que les données de récolte (notamment pour le bois auto consommé) ; auparavant le CITEPA s'appuyait sur les données de l'EAB et de consommation de bois énergie. Source IFN. Cette révision a eu pour effet de minorer le puits de l'article 3.4. Elle est sans incidence sur la première période compte tenu du plafond de 3,2 Mt éq. CO₂.

¹⁸³ Ces chiffres ne tenaient pas compte des nouvelles données de l'IGN (ex IFN) ; (L'IF n° 28).

et la production globale de la forêt française est aujourd'hui supérieure de 40 % à ce qu'elle était en 1980. Cette capitalisation est porteuse de risques sérieux à moyen-terme : densité excessive des peuplements, fortes hauteurs et volumes, d'où une vulnérabilité accrue vis-à-vis des aléas (tempêtes, sécheresses). On peut y ajouter depuis les effets étudiés du changement climatique qui ont fait apparaître la forte vulnérabilité vis-à-vis du facteur hydrique de ces peuplements vieillissants, trop denses et trop volumineux (programmes INRA CARBOFOR, CLIMATOR, DRYADE, etc.).

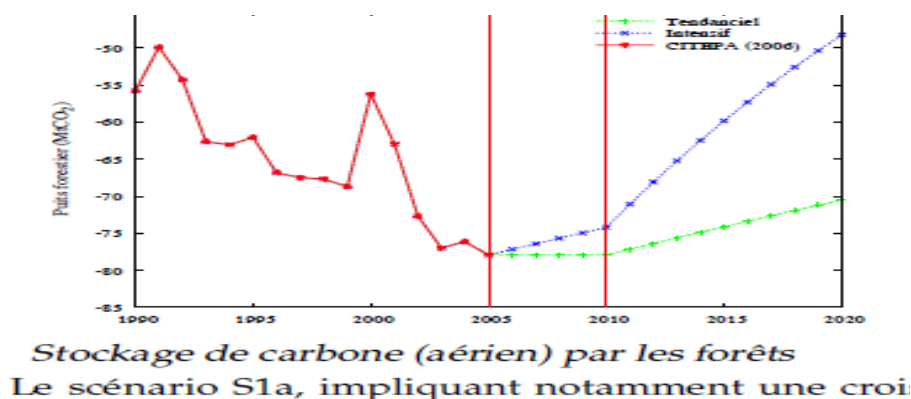
Ce rapport a été actualisé en 2010 pour le compte du MAAF, par un rapport INRA/CITEPA/IFN « Projections d'Emissions et d'Absorptions de Gaz à Effet de Serre du secteur de l'Utilisation des Terres, leurs Changements et la Forêt (UTCF) à l'Horizon 2020 en France » qui indique : « Puisque en France le secteur de l'UTCF présente un bilan positif net de carbone, celui-ci est donc d'une importance cruciale dans les négociations internationales. Les changements d'utilisation des sols et la forêt constituent un puits net important qui s'est considérablement renforcé depuis 1990 sous le double effet du renforcement des puits forestiers (globalement, des prélèvements inférieurs à l'accroissement biologique) et d'une réduction des sources émettrices. Le renforcement du puits depuis 1990 est majoritairement dû à la forêt en place (environ 95 % du puits net total de CO₂ en 2007). Viennent ensuite les conversions de terres en forêt et en prairies qui contribuent à hauteur de 18 % et 16 % respectivement au puits net total (CITEPA, 2009) ».

Ces rapports ont étudié 3 scénarios :

- tendanciel sans amélioration de la gestion (*business as usual*),
- tendanciel intégrant les objectifs du paquet climat-énergie à 2020 : + 21 Mm³/an en 2020 (dans le rapport de 2010),
- intensif intégrant + 2 %/an de la récolte BI/BO et 25 Mm³/an en 2020 pour BE.

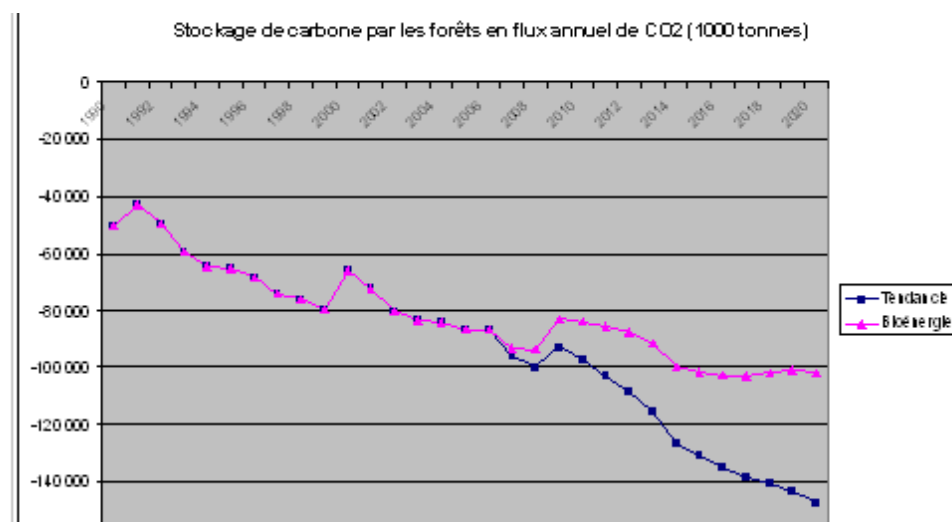
Ils présentent des résultats différents, mais indiquent que le puits restera important en 2020, même en mobilisant fortement la biomasse.

Selon le premier rapport, les deux scénarios tendanciel et intensif conduisent à une diminution du puits en 2020 (57 Mt CO₂ éq. en moyenne sur 2013/2020 pour le scénario intensif, 72 Mt CO₂ éq. /an en moyenne sur 2013/2020 pour le scénario tendanciel).



1

Selon le deuxième rapport, les deux scénarios conduisent à une augmentation du puits forestier/2005, légère dans le scénario intégrant le paquet énergie-climat (+ 8Mt CO₂/an), très élevée dans le tendanciel (+55 Mt CO₂/an). Toutefois ce rapport souligne des incertitudes fortes.



Ces résultats montrent l'ampleur du puits forestier, quels que soient les scénarios, mais aussi avec quelle prudence il convient de considérer le sujet très complexe du secteur UTCF, d'autant que des corrélations fortes existent entre évolutions des terres agricoles et forestières (dans tous les scénarios la surface forestière continue de croître mais à un rythme plus modéré).

En tout état de cause, selon le rapport de 2010, « *les résultats de la modélisation des émissions / absorptions de GES des sols agricoles et forestiers, indépendamment des scénarios simulés, montrent le rôle prépondérant des conditions climatiques (température, pluviométrie...) dans la variation du stock de carbone, comparé au rôle des types d'occupation des sols. Cet effet important du climat sur la variation de stocks de carbone dans les sols induit des fluctuations importantes dans le bilan GES global du secteur UTCF. Ainsi, afin de lisser ces variations interannuelles fortes, une modélisation à climat constant sur la période a été réalisée pour la présente étude* ».

Par ailleurs, une étude sur l'amélioration de l'évaluation des stocks de carbone dans les sols agricoles (étude INRA INFOSOL) a d'ailleurs été lancée en 2009 et a fait l'objet d'une poursuite par l'ADEME en 2011. Dans ces conditions, il est certainement prudent de ne prendre aucun engagement pour la période 2013/2020 sur la réduction des émissions via le secteur agricole de l'UTCF.

En résumé, la France, en situation de gestion sous optimale de sa forêt, présente sur cette période (avec les données d'alors de l'inventaire forestier national), un puits annuel de carbone lié à un accroissement annuel de la biomasse forestière très

supérieur à la récolte. Elle ne peut, compte tenu du plafond de l'article 3.4., bénéficier de ce puits qu'à hauteur de 3,2 Mt CO₂ pour réduire ses émissions annuelles (565 Mt CO₂) : elle a donc émis dans son registre national 16 (5x3,2) millions d'UA au titre de la gestion forestière sur la période 2008/2012.

En revanche, ce plafonnement lui a permis, sans pénalités au titre de la comptabilité Kyoto de prévoir d'augmenter sa récolte pour le matériau et l'énergie. Comme il n'existe pas de valorisation du bois matériau, elle peut valoriser au moins sur les utilisations énergétiques les réductions d'émissions liées à la substitution de carbone forestier au carbone fossile. C'est la stratégie qui a été utilisée avec la mise en œuvre du paquet climat-énergie, du plan national énergies renouvelables 2009/2020, et des projets domestiques.

I.2 La deuxième période à compter de 2013 et les questions qu'elle suscite

1.2.1 Au niveau mondial

Le contexte est difficile : après le départ du Canada, du Japon et de la Russie, les pays adhérant au Protocole de Kyoto ne représentant plus que 15 % des émissions mondiales... Les travaux préparatoires ont fait évoluer fortement les règles de comptabilisation, arrêtées lors de la conférence de Durban en décembre 2011. La négociation multilatérale est particulièrement tendue sur les sujets forestiers, vu l'importance des déforestations, en particulier dans la zone inter-tropicale sur la période. Parmi les pays développés, **seules la France et l'Australie** sont concernées sur leur territoire par la forêt tropicale. La lutte contre la déforestation reste donc en majorité un sujet des PED, ce qui ne facilite pas la prise en compte de situations différenciées entre forêt tropicale et forêts tempérées.

Les nouvelles règles, issues de ce contexte, font de la forêt un secteur « presque similaire » aux autres secteurs de l'économie, dans un souci de transparence :

- **l'article 3.3.** demeure obligatoire et inclut désormais la «conversion des forêts naturelles en forêts plantées » ; c'est le bilan net sur la période qui compte et non la comparaison à la référence de 1990.

- **l'article 3.4.** devient obligatoire pour la gestion forestière et inclut désormais le stock des produits récoltés et transformés sur le territoire national (les produits importés sont comptabilisés au bénéfice du pays de récolte), dans des proportions modestes, compte tenu des temps de demi vie par défaut issus des travaux du GIEC, améliorables par des méthodologies et des valeurs spécifiques nationales¹⁸⁴.

Le bilan de la gestion forestière des États est désormais comparé à un « niveau de référence » qui représente un scénario « au fil de l'eau », notifié par les États et audité par des experts mis à disposition par les états, formés aux méthodologies du GIEC et accrédités par la CCNUCC. **Cette évolution a été décidée en 2010 lors de la conférence de Cancun.** Ce bilan peut être ajusté « pour tenir compte de l'amélioration de la qualité de l'inventaire » ; en cas de puits constaté supérieur au niveau de référence notifié, il est plafonné à 3,5 % des émissions nationales hors

¹⁸⁴ La demi-vie est le nombre d'années nécessaire pour que la quantité de carbone stockée dans les produits ligneux ne représente plus que la moitié du stock initial : -2 ans pour le papier, 25 ans pour les panneaux et 35 ans pour le bois de sciage.

UTCF en 1990 soit 19,7 Mt éq. CO₂ pour la France ; en cas de débit, il n'y a pas de plafonnement. Enfin, en cas de catastrophe naturelle, un dispositif permet aux États qui le décident d'exclure une partie des émissions accidentelles.

Les règles de comptabilisation pour la gestion des terres agricoles reposent toujours sur la comparaison à la référence de 1990 et restent optionnelles. Elles ont été étendues aux zones humides.

Il reste toutefois de nombreux travaux à conduire, pour déterminer la durée exacte de la deuxième période (2017 ou 2020 ?), et fixer les objectifs de réduction d'émissions des pays qui demeurent dans l'accord, dont l'UE, après le retrait du Canada, du Japon et de la Russie...

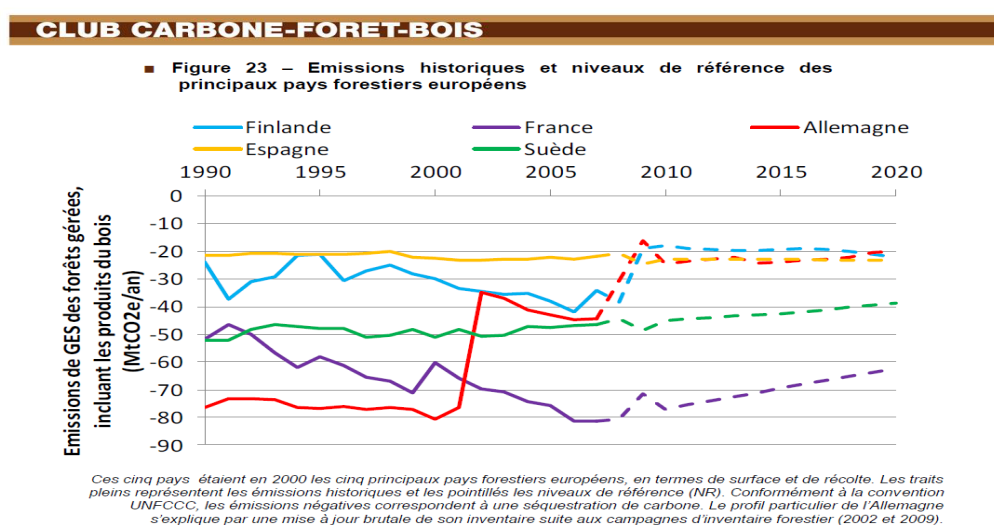
1.2.2 Au niveau européen

Pour l'application des nouvelles règles au sein de l'UE, l'articulation possible du secteur UTCF avec le paquet énergie-climat et avec l'objectif de réduction des émissions constitue une question fondamentale. **Or l'Union peine à établir une stratégie pour l'après 2020, et à imposer à ses partenaires l'intégration de nouveaux secteurs (aviation) ; le marché de quotas est très excédentaire, ce qui pèse sur le prix du carbone communautaire.**

A ce stade, les crédits carbone issus des projets forestiers ne peuvent être échangés sur ce marché. D'autres options comme l'intégration des projets forestiers dans le cadre du partage de l'effort ou dans un cadre séparé sont étudiées.

Sur la forêt, il a été décidé de notifier un niveau de référence fondé sur des projections. D'après la CDC, les scénarios « au fil de l'eau » notifiés par les grands pays forestiers européens (Finlande, Suède, Allemagne, France, Espagne, Italie) prévoient « une tendance à la baisse de la séquestration de carbone par leurs forêts pour la période 2008/2020 provoquée par le corpus d'incitations à la substitution susmentionnée et par une quantité croissante de surfaces arrivant à l'âge de la récolte ».

*Source : dossier N° 4 du Club Carbone Forêt Bois.CDC CLIMAT RECHERCHE
JUILLET 2012.*



Cela paraît surprenant, puisqu'une des décisions de Cancun a été de ne pas prendre en compte, dans le niveau de référence du puits projeté, les politiques climatiques postérieures à décembre 2009¹⁸⁵. Pour faire aboutir les négociations, et faire une concession importante aux pays tropicaux à qui un effort de réduction de la déforestation est demandé, l'Union européenne a accepté de ne pas prendre en compte les politiques mises en œuvre après juillet 2009, **ce qui a exclu le paquet énergie-climat de décembre 2008 adopté au niveau européen en avril 2009**, les directives correspondantes n'étant pas transposées dans les États membres. Elle a ainsi accepté de se voir pénalisée par la mobilisation de récoltes supplémentaires liées à ces politiques...

D'après la CDC, ces nouvelles règles devraient inciter les pays « à optimiser leur gestion forestière du point de vue du carbone ». Or, c'est à ce niveau que les interrogations s'accumulent.

De nombreux pays s'interrogent aujourd'hui sur **une stratégie « en cascade »** visant à optimiser l'ensemble des services économiques, sociaux et environnementaux rendus par les forêts, mais peu de pays ont jusqu'ici affiché une stratégie d'optimisation chiffrée et techniquement justifiée :

- Le Livre vert sur les forêts européennes publié par la Commission en mars 2010 préconise « à long terme, une stratégie de gestion durable des forêts visant à maintenir ou à accroître les stocks de carbone forestiers tout en assurant un rendement annuel de bois, de fibres ou d'énergie forestière produits selon des procédés durables » ; mais il ne va pas plus loin.
- La stratégie « en cascade » développée en Suisse indique : « à long terme, le meilleur progrès dans le bilan CO₂ consisterait à gérer la forêt pour y utiliser au maximum possible une croissance élevée, récolter le bois de manière continue, alimenter en priorité les débouchés du bois matériau, recycler les produits autant que possible et produire en fin de vie de l'énergie » (WERNER et al.2008).
- En Suède, la même équipe a réalisé une étude sur la manière de maximiser la séquestration en forêt et hors forêt : elle conclut qu'il serait possible, en dynamisant les récoltes d'ici à 2035 et sans atteinte à la gestion durable des forêts, de faire passer le puits de carbone (en forêt et hors forêt) de 60 à 102 MtéqCO₂ par an, qui profiteraient à la Suède à hauteur de 38 MtéqCO₂ (au lieu de 14 aujourd'hui) et aux pays importateurs de produits à hauteur de 68 MtéqCO₂ (au lieu de 46)¹⁸⁶.

Dans le même temps, **la stratégie européenne en la matière est peu visible.**

La Commission s'est engagée depuis 2008 (notamment dans la directive « partage de l'effort ») à évaluer les modalités pour l'inclusion du secteur UTCF dans l'engagement de réduction des émissions. Après consultation publique et avis d'un groupe de travail, elle a proposé en mars 2012 une communication reposant sur une approche en deux étapes : d'abord mise en œuvre d'une approche harmonisée au niveau de l'UE pour la

¹⁸⁵ La mission a eu accès à de soumissions des États membres qui indiquent clairement cet engagement pris par l'UE.

¹⁸⁶ Ces calculs effectués avant l'établissement des règles pour 2013/2017.

comptabilisation du secteur UTCF, ensuite négociation sur les modalités d'intégration du secteur UTCF dans l'objectif de réduction 2020. Le projet de décision, accepté par le Conseil de décembre 2012, prévoit de soumettre les inventaires nationaux à certaines exigences allant au-delà des nouvelles règles issues de Durban :

- l'obligation de comptabiliser les émissions agricoles (terres cultivées et pâturages), qui devait s'appliquer dès 2013 a été repoussée à 2021, (avec estimation des émissions et absorptions de 2013/2020 en 2022), le temps pour les États membres d'harmoniser leurs règles de calcul,
- l'obligation pour chaque État membre de soumettre dès 2013 un plan d'action pour « optimiser » le bilan carbone liée à l'usage des terres, présente dans la proposition initiale, a été abandonnée.

En revanche, cette décision ne prévoit aucune incitation directe au niveau des acteurs économiques : ni accès au marché de quotas, ni crédits européens, ce qui bloque toujours. L'intégration du secteur UTCF, qui serait décisive pour le faire contribuer aux objectifs de réduction des émissions. La Commission met toujours comme préalables :

- la mise en place d'un cadre européen rigoureux et uniformisé,
- l'accroissement de réduction des émissions au-delà des 20 % actuels.

Rappelons qu'en avril 2015, les États membres devront soumettre le 1er inventaire GES pour 2013 (obligation internationale : alignement sur les inventaires Kyoto).

En effet, pour 2013/2020, l'UE devrait s'engager, sur base des objectifs du paquet énergie-climat, à travers la fixation d'un pourcentage de réduction le QELRO¹⁸⁷, qui pour le secteur UTCF a été globalisé à l'échelon européen. Ce QELRO a été déposé en mai 2012 auprès de la Convention Climat et devrait être adopté en décembre.

La mission s'interroge sur les points suivants :

de combien cet engagement est il pour la France ? est ce l'addition des puits notifiés par les États membres ?

- quelle articulation de ce dispositif avec l'engagement pris par chaque état de maintenir son puits forestier ?
- quelle information des parties et notamment de la filière forêt-bois sur ce processus, ainsi que sur les conséquences à envisager des différentes formules possibles : un engagement de réductions d'émissions globalisé au niveau communautaire aurait l'avantage de limiter les risques de non conformité, mais l'inconvénient de faire compenser sans transparence les débits des uns par les crédits des autres...
- quelle articulation entre la fixation de l'objectif de réduction du secteur UTCF et la gestion des UQA utilisées par les États membres pour leur conformité sur la période 2008/2012, qui sont en excédent et pourront être reportées sur la période suivante ? Comment gérer une non conformité après 2012 ?, etc.

¹⁸⁷ *Quantified emission limitation and reduction objective.*

I.2.3. Au niveau national

La position française est établie par la DGEC, en collaboration avec la DAEI du MEDDE, la DGPAAT du MAAF et la DGT.

Sur le volet agricole, la France ne s'est pas opposée au compromis, la période à venir pouvant permettre de surmonter les difficultés méthodologiques de la comptabilité de la gestion des terres cultivées et pâturées, et notamment le dispositif de collecte et de traitement des données à mettre en place (le CITEPA a conduit en 2012 une étude prospective), mais des interrogations demeurent sur l'articulation de cette comptabilité avec la PAC, en particulier sous l'angle des incitations, actuellement absentes et des éventuelles aides d'État. Si la France a un intérêt pour une comptabilisation harmonisée, elle n'est pas prête à accepter l'inclusion d'engagements sur le secteur, ce qui est compréhensible au vu de l'analyse ci-dessus.

Sur la forêt, conformément à la position acceptée par l'UE, la France a notifié son niveau de référence. Compte tenu des incertitudes des résultats des deux études précitées, il a été choisi de faire établir ce niveau par le *Joint Research Center*. Les données utilisées sont différentes des données issues des deux études INRA susmentionnées, et sont issues de modèles établis par l'IIASA¹⁸⁸. **La France a notifié un puits forestier « tendanciel » de 63,1 Mt éq. CO₂, qui ne prend pas en compte les récoltes attendues conformément aux objectifs du Plan national EnR 2009/2020 ; il est additionné d'un puits « produits en bois » de 4,3 Mt CO₂ éq.**

Compte tenu des engagements européens, le document de notification officiel prend en compte les politiques mises en œuvre « jusqu'à avril 2009, s'il n'y a pratiquement aucune incertitude sur leur mise en œuvre » ; compte tenu que le plan EnR 2020 date d'août 2010 et qu'aucun texte législatif ou réglementaire français ne définit l'effort supplémentaire de mobilisation de biomasse forestière, il ne mentionne pas le Plan EnR 2009/2020¹⁸⁹ mais « **seulement une augmentation de la récolte inférieure à 5Mm³/an par rapport à 2010** », ajoutant que « la France prend cette hypothèse conservatoire sur la mobilisation du bois en 2020 afin d'examiner l'intégrité environnementale, d'assurer la cohérence avec les données historiques et la réalité du marché, et dans le but d'asseoir le niveau de référence de façon transparente ». Enfin, il ne prend pas en compte la révision des statistiques forestières de 2011, qui a eu lieu après la soumission du document en avril 2011.

En résumé, dans le cadre de la négociation de Durban, la France a notifié un puits forestier moyen annuel sur la période 2013/2020 de 63,1 Mt éq. CO₂, qui sert désormais de référence. Cette valeur ne tient compte que d'un volume de récolte annuelle supplémentaire de 5 Mm³, très inférieur aux 21 Mm³ prévus par le plan EnR 2009/2020. Sous réserve de la correction liée à la révision d'inventaire¹⁹⁰, si elle mobilisait effectivement les 21 Mm³ supplémentaires affichés dans le Plan EnR 2009/2020, elle pourrait économiser des UQA au titre du secteur énergétique, mais devrait « rembourser des UA » forestières, ou les compenser avec des UQA (avec une

¹⁸⁸ Modèles PRIMES et GLOBIOM *International Institute for applied Systems Analysis* basé à Vienne.

¹⁸⁹ Mais seulement les assises de la forêt de 2008, qui prévoyaient +9 Mm³ de BO et +12 Mm³ de BE d'ici 2020.

¹⁹⁰ Le puits est estimé aujourd'hui à 43 Mt éq. CO₂, source : DGPAAT ; la France va demander une révision de ce niveau de référence pour tenir compte des nouvelles données de l'inventaire, mais ne prendra toujours en compte que 5 Mm³ et non 21 Mm³.

incidence financière qu'il n'a pas été possible de préciser), ce qui n'était pas le cas auparavant¹⁹¹.

Pour la période qui s'ouvre, la France est également confrontée aux incertitudes décrites ci-dessus au niveau européen, dont la filière ne semble pas informée en détail.

Il convient pour « optimiser la gestion forestière du point de vue du carbone », que soient précisées notamment à la filière, qui devrait être consultée, les voies possibles de la négociation communautaire, ainsi que les enjeux financiers compte tenu des incitations contenues dans les règles :

- valeur d'une UA de stock en forêt perdue par rapport à une UQA d'énergie ou de matériau biomasse gagnée par exemple (la confidentialité des transactions semble un obstacle important),
- conséquences pour la France des options ouvertes au plan communautaire,
- conséquences au niveau français pour la négociation des soutiens à la mobilisation forestière demandés au titre précisément du service carbone fourni par les forêts ?

II. Conclusions

II.1 Insuffisances d'outils d'aide à la décision

À ce stade, il est déjà possible de considérer que la tendance à la diminution des volumes transformés en France ne va pas dans le bon sens, puisque seuls pourront être comptabilisés les produits finaux issus de récolte et transformation dans chaque pays d'origine.

Dans ce contexte, il est regrettable que la France ne dispose pas d'un **outil performant de modélisation et de projection du puits de carbone forestier**, qui permettrait de **définir une véritable stratégie d'optimisation de la gestion forestière du point de vue du carbone**, et notamment la période de temps à privilégier, en précisant dans quelles conditions elle serait cohérente avec l'adaptation des forêts au changement climatique et les politiques sectorielles.

D'après le FCBA¹⁹², « en fixant un cadre temporel et une référence de scénario « *business as usual* » il est alors possible d'évaluer la stratégie optimale ». En outre la diversité des forêts françaises rend possibles de très nombreux scénarios et les modèles qui permettent de croiser des options économiques avec des choix sylvicoles sont peu développés, d'après les experts consultés par la mission. Il y a donc un fort intérêt à se doter de tels outils.

Dans le rapport INRA de 2008 cité plus haut, sur le volet forestier, un modèle a été construit pour estimer la production et la récolte au niveau national d'ici 2020, et deux scénarios forestiers (« Tendanciel » et « Intensif ») ont été construits ; dans ces deux

¹⁹¹ D'après la DGPAAT et la DGEC, ces UA ont théoriquement un prix légèrement inférieur au prix des UQA.

¹⁹² Intervention de Ludovic GUINARD (FCBA) du 21 juin 2012 au CLUB CARBONE FORET BOIS.

scénarios, les surfaces forestières augmentent à un rythme annuel de 50 kha/an, rythme légèrement inférieur à celui observé dans les dernières années. Malgré l'expansion de la surface en forêt, le puits de carbone correspondant diminue par rapport à 2005 du fait principalement de l'augmentation de la récolte et d'une mobilisation croissante de bois-énergie sous forme de plaquettes (de 21 MtC (77 Mt CO₂) en 2005 à 19 MtC (70 Mt CO₂) en 2020 dans le scénario « tendanciel », de 20 MtC (73 Mt CO₂) en 2010 à 13 MtC (48 Mt CO₂) en 2020 dans le scénario « intensif »). Cette étude constitue un premier outil pour « substituer aussi complètement que possible la consommation de bois-énergie au stockage en forêt » mais ignore la valorisation du stockage dans les produits, qui n'était alors pas à l'ordre du jour et ne se situe donc pas au niveau des réflexions suisses et suédoises.

L'étude de 2010 a fait une évaluation des gains qui résulteraient pour la France de la comptabilisation du carbone stocké dans les matériaux en bois. Elle a indiqué que :

- « La prise en compte des produits bois dans les scénarios « bioénergie » conduit à stocker en moyenne sur la période 2010-2020, un peu plus de 7 Mt de CO₂ par an. Cela représente un peu moins de 10% des quantités stockées annuellement en forêt pour les mêmes scénarios. Les analyses de sensibilité réalisées permettent vraisemblablement d'envisager un doublement de ces chiffres »,
- « L'examen bibliographique conduit pour cette contribution a montré que nous manquons de compétences d'ingénierie et de production scientifique dans le domaine du stockage de carbone dans les produits bois. Un effort pour couvrir ce domaine permettra de mieux participer aux débats internationaux portant sur le choix des méthodes de comptabilisation, notamment pour la quantification des effets de substitution ».

Ces travaux de recherche et de modélisation devraient être rapidement prolongés et amplifiés pour fournir l'aide à la décision qui fait défaut aujourd'hui.

II. 2 La compatibilité de la stratégie carbone avec l'adaptation des forêts au changement climatique doit être posée dans le même temps

Tout au plus peut-on considérer aujourd'hui, compte tenu des résultats de la recherche¹⁹³, que la vulnérabilité des forêts résultant de l'abandon, du vieillissement et de la surdensité, sur des sols dont la réserve utile en eau va devenir le facteur limitant principal, peut être améliorée par une dynamisation des récoltes, compatible avec un prélèvement accru, comme le souligne le rapport INRA de 2008, sous réserve d'une attention à l'adéquation essences/conditions pédo-climatiques futures.

La recherche devra donc très rapidement être prolongée et amplifiée, non seulement sur les projections d'émissions, mais également et simultanément sur l'adaptation, conformément aux recommandations du rapport ROMAN AMAT de 2007, afin de fournir une aide à la décision publique en vue d'une stratégie forestière répondant aux besoins du pays et assise sur un cadre théorique de référence solide.

¹⁹³ Voir à ce sujet les programmes INRA : CARBOFOR, CLIMATOR, DRYADE, etc. ainsi que les travaux du GIPECOFOR.

II.3 Mobiliser ou conserver le puits forestier ?

En conclusion, si une modification du puits peut être obtenue suite à la révision de l'inventaire, la France verra son niveau de référence réajusté à 43 Mt CO₂ éq.. Mais quel que soit le niveau du puits, si elle applique en totalité ses objectifs de mobilisation de bois (+ 21 Mm³ annuels en 2020 au lieu de 5 Mm³) elle devra compenser ce déficit dans le décompte européen au titre de sa gestion forestière (article 3.4).

Cette évolution paraît inquiétante à deux titres :

- en premier lieu, parce que la négociation internationale accrédite l'idée qu'il est positif de maintenir le puits, donc d'accroître chaque année le stock forestier ; or, si cette vision est cohérente pour lutter contre la déforestation tropicale des forêts primaires, elle est largement fautive dans les forêts gérées tempérées. Une gestion durable des forêts doit en effet en premier lieu assurer dans le long terme le renouvellement et l'amélioration du capital sur pied, dans des conditions compatibles avec les besoins économiques et sociaux, **sans prélever plus que l'accroissement annuel, mais sans accroître indéfiniment le stock** : sur-stocker du carbone en forêt serait particulièrement dangereux dans le contexte du changement climatique, qui accentue fortement la vulnérabilité des peuplements trop denses et trop âgés. Le puits forestier français ne résulte pas d'un choix positif de gestion, mais d'une gestion sous optimale de la forêt privée, qui ne fait plus débat. Le dossier du Fonds Forestier Stratégique Carbone préparé par les interprofessions FBF et FBIE rappelle opportunément que si rien n'est fait, la poursuite de la tendance actuelle pourrait annuler le puits de carbone d'ici 40 ans (étude Botcher citée en début d'article) ;

- ensuite, parce que la France et l'ensemble des États européens qui se sont engagés dans le paquet énergie-climat en 2008 se trouveraient pénalisés en réalisant les objectifs qu'ils s'y étaient fixés, au moins sur la biomasse forestière : voilà donc deux politiques climatiques européennes en incohérence.

Il y a en revanche une évolution positive, soulignée par plusieurs experts : le secteur UTCF est considéré en tant que tel et non mis à part de la discussion sur les émissions de GES.

Chaque état devra désormais se positionner clairement dans sa stratégie de réduction des émissions, et arbitrer s'il appuie cette stratégie sur une augmentation du puits forestier ou sur une mobilisation de la biomasse, comme le prévoit le PNEnR 2009/2020 (ce qui obligerait les autres secteurs à réduire davantage leurs émissions). A l'heure actuelle, les acteurs ne peuvent trouver de stratégie lisible dans les apparentes contradictions entre mobilisation et conservation du puits, et la séquestration de carbone dans le matériau est absente du débat.

Il serait bon que la stratégie française entre ces deux voies soit très rapidement éclaircie, et partagée avec les acteurs de la filière, sans séparer la stratégie « carbone » de la stratégie nationale sur la forêt, qu'elle recommande par ailleurs : dans le contexte induit par le changement climatique, une vision systémique s'impose sur les forêts, associant toutes les politiques publiques et toutes les parties prenantes.

7. Extrait d'un rapport parlementaire (Assemblée nationale n° 3021 rapport fait au nom de la mission sur l'effet de serre, 12 avril 2006)

2 – Pour une révolution dans l'habitat

L'habitat constitue l'autre grand gisement potentiel de réduction des émanations de GES, qui est à notre portée. D'autant plus intéressant à privilégier qu'il se tient, pour l'essentiel, à l'abri de la concurrence internationale et des risques de délocalisation.

La division par quatre, dans le secteur du bâtiment, des consommations énergétiques et des émissions de CO₂ associées, qui représentent aujourd'hui environ 24% du total (16% en 1990), est possible dès maintenant d'un point de vue technique. Pour y réussir, deux conditions fondamentales doivent être réunies :

- jouer la complémentarité et les synergies entre l'isolation, la ventilation, les équipements et les énergies renouvelables, ce qui exige de sortir de la logique française consistant à opposer les uns et les autres, et donc d'adopter une conception globale du bâtiment ;
- impliquer tous les acteurs de la filière qui ont tendance, aujourd'hui, à travailler de façon éclatée et sans continuité : l'ensemble des acteurs – maîtrise d'œuvre, maîtrise d'ouvrage, entreprises, industriels, mais aussi pouvoirs publics et institutions financières – doivent désormais participer à la démarche.

8. Les objectifs du Grenelle peuvent-ils être atteints par des constructions neuves ?

On prend l'exemple du « Pentagone » de Balard.

- Une estimation (prudente) ressort à 600 000 000 € pour 300 000 m².
- On admet qu'il n'émettra aucun gaz à effet de serre, et qu'il remplacera 400 000 m² de bâtiments anciens de performance médiocre, émettant 40 kg CO₂/m²/an.

Le gain annuel en CO₂ est alors de :

$$400\,000 \times 40 = 16\,000\,000 \text{ kg} = 16\,000 \text{ tonnes.}$$

Si on consacre la même somme de 600 M€ à l'amélioration du parc existant, en reprenant les chiffres du comité opérationnel « Grenelle » n° 4, confirmés par les audits, on peut traiter :

$$600\,000\,000 \text{ €} / 200 \text{ €/m}^2 = 3\,000\,000 \text{ m}^2.$$

200 €/m² étant le coût estimé de la division par deux des émissions.

Le parc existant émet en moyenne 31,4 kg CO₂ / m² / an.

Le traitement de 3 M m² évite donc l'émission d'environ :

$$(31,4 \text{ kg CO}_2/\text{m}^2 / 2) \times 3\,000\,000 \text{ m}^2 = 47\,100 \text{ tonnes de CO}_2.$$

Du strict point de vue des émissions de gaz à effet de serre, et en négligeant les émissions induites par la construction (l'« énergie grise » incorporée aux bâtiments), la réaffectation à l'amélioration du parc existant du budget réservé à la construction du bâtiment aurait permis de multiplier par trois leurs réductions d'émissions.

9. La RT 2012 est-elle « rentable » ?

9.1. En euros

On se place du point de vue de l'acquéreur, futur occupant, d'un logement construit selon les exigences de la RT 2012.

Par rapport à la RT 2005, la RT 2012 fait gagner en théorie¹⁹⁴ 100 kWh/an/m² (puisqu'on passe, en gros, de 150 à 50 kWh/an/m²).

100 kWh de gaz - en énergie finale tout autant qu'en énergie primaire, puisque c'est la même chose pour le gaz - coûtent au consommateur domestique, TVA incluse, en 2010, 6 € environ¹⁹⁵.

Donc le gain annuel est de 6 €/an/m².

La DHUP estime à 8 % environ le coût de la RT 2012 par rapport à RT 2005.

Avec un coût de construction, TVA incluse, mais hors RT 2012, de 1 500 €/m², le surcoût est de l'ordre de 120 € par m².

Il est alors amorti en 20 ans.

C'est en fait un TRI (temps de retour sur investissement et non un taux de rentabilité interne) presque honorable, même s'il est largement au-dessus de la cible de la plupart des investissements privés. On peut cependant observer :

- qu'il est calculé sur la base du coût 2010 du gaz, énergie la moins chère (qui a néanmoins beaucoup augmenté depuis 2010¹⁹⁶) ;
- qu'il néglige l'impact de cette performance sur la valeur patrimoniale du logement et son évolution dans le temps. L'accroissement inévitable du coût de l'énergie va non seulement augmenter l'économie annuelle, mais aussi accroître la valeur du logement.

Il semble alors que les acquéreurs de logements labellisés BBC, et donc respectant les objectifs de la RT 2012 avant même qu'ils soient obligatoires, aient eu raison.

A fortiori, donc, les promoteurs de la RT 2012.

¹⁹⁴ La consommation réelle diffère en général de la consommation théorique. La comparaison est faite ici entre consommations théoriques.

¹⁹⁵ source SOeS, chiffres-clé de l'énergie, décembre 2011, page 32.

¹⁹⁶ Le rapport Perthuis (page 64) estime respectivement à 1140 € et 410 € le coût du chauffage d'un logement de 100 m² respectant RT 2005 et RT 2012. L'écart est de 730 € par an, soit 7,30 € par m² et par an. C'est bien à peu près ce qui est proposé ici.

9.2. En émissions de CO₂

La question a donné lieu à controverse, portée même devant le Conseil d'État. Les contestataires de la RT 2012 lui reprochaient une certaine indifférence au bilan « carbone » de ses prescriptions. Très précisément, ils suggéraient que le coefficient multiplicateur de 2,58, imposé pour la conversion de l'énergie finale en énergie primaire dans le cas de l'électricité, condamnait sans appel certains usages de l'électricité, tels que le chauffage par convecteurs (ce qui est à la fois indiscutable et légitime) ou plus modestement le traditionnel chauffage de l'eau chaude sanitaire par ballon électrique, dit « cumulus ».

Ce dernier point n'est guère plus discutable : le seul chauffage de l'eau chaude sanitaire nécessaire à une famille, représente, avec un cumulus et le coefficient précité de 2,58, une très large fraction, de l'ordre de 80 %, de la cible des 50 kWh d'énergie primaire par an et par mètre carré. Le concepteur du logement n'a plus alors le choix qu'entre une sur-isolation déraisonnable du bâti, ou l'emploi, pour le chauffage de l'eau sanitaire, de dispositifs évitant ou compensant le funeste coefficient de 2,58. Dans le premier cas, en recourant à l'énergie fossile, il n'est pas évident qu'on n'augmente pas les émissions de CO₂ par rapport au cumulus fonctionnant en heures creuses (et donc avec une énergie électrique a priori peu carbonée¹⁹⁷). Dans le second cas, en préconisant l'adoption d'un chauffe-eau thermodynamique (i.e. d'une pompe à chaleur), on abaisse certainement l'émission de CO₂, surtout si l'on maintient le fonctionnement nocturne, mais on impose à l'acquéreur du logement un surcoût qui, peut-être, aurait pu être employé à de plus importantes réductions, ailleurs, des émissions de GES.

Un peu plus généralement, on peut estimer que le coefficient de 2,58, qui reste une excellente incitation à l'amélioration des performances des pompes à chaleur, est peut-être à moduler en fonction des usages de l'énergie électrique, notamment lorsque cet usage peut être interrompu.

Sans doute y a-t-il là un gisement d'amélioration de la RT 2012, qu'il sera facile d'exploiter avec les futurs dispositifs d'effacement de type « *smart-grid* », et surtout avec un débat plus serein sur les performances du « mix énergétique ». Mais le Conseil d'État a récemment jugé que, globalement, la RT 2012 ne méconnaissait pas l'ardente obligation de la réduction des émissions de GES.

D'une part, en effet la RT 2012 se traduit bien, par rapport à la RT 2005, par une division par trois des consommations d'énergie primaire. Il n'est sans doute pas réellement établi que cela implique une division identique des émissions de GES, ce que suggère pourtant le rapport Perthuis précité, qui fait état d'une baisse de 30 kg à 10 kg par an et par mètre carré, en citant une source « Saint-Gobain » que la mission n'a pu à ce jour élucider complètement. Mais le contraire n'est pas plus établi, et il serait bien audacieux d'avancer que cette division par trois des consommations d'énergie primaire n'apporte qu'une réduction médiocre des émissions. D'autre part, la RT 2012 comporte aussi des dispositifs d'incitation à l'usage d'énergies décarbonées qui ne sont nullement marginaux.

En admettant – ce qui, on l'a dit, n'est pas établi – que la RT 2012 abaisse de 20 kg par an et par mètre carré les émissions de CO₂ (par rapport à RT 2005), cela

¹⁹⁷ Il faut rappeler qu'environ 8 millions de cumulus sont asservis au signal tarifaire d'EDF et participent fortement à la régulation des variations journalières de consommation électrique.

représente environ deux tonnes par an et par logement. En admettant que 10 millions de logements soient à construire d'ici à 2050, et en négligeant l'impact sur le tertiaire (que la RT 2012 concerne aussi bien évidemment) c'est donc 20 millions de tonnes de CO₂, soit environ le tiers des actuelles émissions directes du parc de logement qui serait épargnées en 2050, et cela pour un coût nul pour le contribuable puisque l'investissement aura été consenti quasiment librement par les acquéreurs de logements (tout à fait librement dans le cas des logements « BBC » qui préfiguraient la RT 2012).

10. Extrait du code de la construction « Section 4 : limitation de la température de chauffage »

Article R 131-19 modifié par Décret n° 2007-363 du 19 mars 2007 – art. 2 JORF 21 mars 2007.

Pour l'application des dispositions de la présente section et des arrêtés prévus aux articles R. 131-22 et R. 131-23 :

- la température de chauffage est celle qui résulte de la mise en œuvre d'une installation de chauffage, quelle que soit l'énergie utilisée à cette fin et quels que soient les modes de production de chaleur ;
- un local à usage d'habitation est constitué par l'ensemble des pièces d'un logement ;
- la température de chauffage d'une pièce d'un logement ou d'un local à usage autre que l'habitation est la température de l'air, mesurée au centre de la pièce ou du local, à 1,50 mètre au-dessus du sol ;
- la température moyenne d'un logement ou d'un ensemble de locaux à usage autre que l'habitation est la moyenne des températures de chauffage mesurées dans chaque pièce ou chaque local, le calcul de la moyenne étant pondéré en fonction du volume de chaque pièce ou local.

Article R 131-20 modifié par Décret n° 2007-363 du 19 mars 2007 – art. 2 JORF 21 mars 2007.

Dans les locaux à usage d'habitation, d'enseignement, de bureaux ou recevant du public et dans tous autres locaux, à l'exception de ceux qui sont indiqués aux articles R 131-22 et R 131-23, les limites supérieures de température de chauffage sont, en dehors des périodes d'inoccupation définies à l'article R 131-20, fixées en moyenne à 19° C :

- pour l'ensemble des pièces d'un logement ;
- pour l'ensemble des locaux affectés à un usage autre que l'habitation et compris dans un même bâtiment.

Article R 131-21 modifié par Décret n° 2007-363 du 19 mars 2007 – art. 2 JORF 21 mars 2007.

Pendant les périodes d'inoccupation des locaux mentionnés à l'article R 131-20, d'une durée égale ou supérieure à vingt-quatre heures consécutives, les limites de température moyenne de chauffage sont, pour l'ensemble des pièces d'un logement et pour l'ensemble des locaux affectés à un usage autre que l'habitation et compris dans un même bâtiment, fixées ainsi qu'il suit :

- 16° C lorsque la durée d'inoccupation est égale ou supérieure à vingt-quatre heures et inférieure à quarante-huit heures ;

- 8° C lorsque la durée d'inoccupation est égale ou supérieure à quarante-huit heures.

11. L'ordinateur et le chauffage

Un immeuble de bureau. L'ingénieur sensibilisé au changement climatique éteint son ordinateur lors de la pause déjeuner.

Il économise ainsi (ordinateur consommant 60 W, pause déjeuner de 1h30) :

Économie d'énergie = $0,06 \text{ kW} \times 1,5 \text{ h} = 0,09 \text{ kWh}$

Au mix énergétique français (89 g CO₂ / kWh)

éco CO₂ = $0,089 \text{ kg CO}_2 / \text{kWh} \times 0,09 \text{ kWh} = 0,008 \text{ kg CO}_2$

Il met 1 minute à rallumer son ordinateur, soit 1 € de coût salarial (60 €/h)

La tonne de CO₂ économisée revient à

$1 \text{ €} / 0,000008 \text{ t} = 125\,000 \text{ € environ.}$

Dans son immeuble de bureau, le chauffage n'est pas été coupé le week-end.

Le couper et le rallumer coûterait en saison de chauffe (20 semaines) 10 minutes à un agent de service pour les 200 bureaux de l'immeuble, soit 1 minute (0,5 €) par bureau et par an.

L'immeuble chauffé au gaz consomme 280 kWh/m²/an dont 2/7 (au moins) soit 80 pour le week-end. Cet ingénieur occupe 20 m². On peut donc lui imputer 1600 kWh par an soit :

$1600 \text{ kWh} \times 0,45 \text{ kg CO}_2/\text{kWh} = 0,72 \text{ t CO}_2$

Le CO₂ économisé revient à :

$0,5 \text{ €} / 0,72 \text{ t CO}_2 = 1,4 \text{ € t}$

Un rapport de coût d'abattement de l'ordre de 100 000 entre ces deux actions simples :

- éteindre l'ordinateur à la pause déjeuner ;
- couper le chauffage le week-end.

12. Coûts d'abattement liés aux énergies éolienne et photovoltaïque

	unité	valeur	
		éolienne	Panneau photovoltaïque
puissance de l'appareil	kWc	1500	1
activité/an	h/an	2000	1200
production/an	kWh/an	3000000	1200
économie/mix élec. Fr.	t CO ₂ /kWh	0,000089	0,000089
économie/fossile	t CO ₂ /kWh	0,00065	0,00065
économie annuelle/mix élec. Fr.	t CO ₂ /an	267	0,1068
économie annuelle/fossile	t CO ₂ /an	1950	0,78
CO ₂ gris	t CO ₂ éq.	800	0,9
temps de retour CO ₂ /mix élec. Fr.	ans	3,0	8,4
temps de retour CO ₂ /fossile	ans	0,4	1,2
surcoût/prix de gros électrique	€/kWh	0,025	0,15
durée (contractuelle) du surcoût	ans	15	15
durée de vie	ans	20	30
production soumise à surcoût	kWh/appareil	45000000	18000
production totale sur durée de vie	kWh/appareil	60000000	36000
économie totale/mix élec. Fr	t CO ₂	4540	2,3
économie totale/fossile	t CO ₂	38200	22,5
surcoût total	€	1125000	2700
coût d'abattement/fossile	€/t CO ₂	248	1172
coût d'abattement/mix élec. Fr	€/t CO ₂	29	120

13. Glossaire des sigles et acronymes

Acronyme	Signification
ACV	Analyse en cycle de vie
ADEME	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
AEE ou EEA	Agence européenne de l'environnement ou <i>European Environment Agency</i>
AIE ou IEA	Agence internationale de l'énergie ou <i>International Energy Agency</i>
ANAH	Agence nationale de l'amélioration de l'habitat
ANR	Agence nationale de la recherche
BBC	Bâtiment basse consommation
BEPOS	Bâtiments à énergie positive
BTP	Bâtiment et travaux publics
CAE	Conseil d'analyse économique
CAS	Conseil d'analyse stratégique
CCmA	Courbe de coût marginal d'abattement
CCNUCC	Convention Cadre des Nations unies sur le Changement Climatique
CDC	Caisse des dépôts et consignations
CEE	Certificat d'économies d'énergie
CGAER	Conseil général de l'agriculture, de l'alimentation, et de l'espace rural
CGDD	Commissariat général au développement durable
CGEDD	Conseil général de l'environnement et du développement durable
CGEJET	Conseil général de l'économie, de l'industrie, de l'énergie et des technologies
CGPC	Conseil général des ponts et chaussées
CIDD	Crédit d'impôt développement durable
CIRED	Centre international de recherche sur l'environnement et le développement
CITEPA	Centre interprofessionnel d'étude de la pollution atmosphérique
CmA	Coût marginal d'abattement
CNRS	Centre national de la recherche scientifique
COP 21	21 ^{ème} Conférence des parties à la CCNUCC
CPE	Contrat de performance énergétique
CREDOC	Centre de recherche pour l'étude et l'observation des conditions de vie
CRF	<i>Common reporting format</i> (de la CCNUCC)
CSTB	Centre scientifique et technique du bâtiment
DGAC	Direction générale de l'aviation civile
DGCIS	Direction générale de la compétitivité, de l'industrie et des services
DGEC	Direction générale de l'énergie et du climat
DGEMP-OE	Direction générale de l'énergie et des matières premières - Observatoire de l'énergie

DGPAAT	Direction générale des politiques agricoles, agroalimentaires et des territoires
éco PTZ	Prêt à taux zéro écologique
EDF/RetD	Électricité de France Recherche et développement
EnR	Énergies renouvelables
EPE	Entreprises pour l'environnement
EPFL	École Polytechnique Fédérale de Lausanne
EPR	<i>European Pressurized Reactor</i> (réacteur pressurisé européen)
EU ETS	<i>European Union Emission Trading System</i> - système de quota d'émissions négociables
EUROSTAT	Organe statistique de l'Union européenne
FNH	Fondation pour la Nature et l'Homme
G8	Groupe des huit pays les plus industrialisés
GCIIE	Groupe de coordination et d'information sur les inventaires d'émissions
GES	Gaz à effet de serre
GIEC ou IPCC	Groupe intergouvernemental d'étude du climat ou <i>International Panel on Climate Change</i>
GIS	Groupement d'intérêt scientifique
IFN	Inventaire forestier national
IFPEB	Institut français de la performance énergétique des bâtiments
IGN	Institut géographique national
INERIS	Institut national de l'environnement industriel et des risques
INRA	Institut national de la recherche agronomique
INSEE	Institut national de la statistique et des études économiques
INSPIRE	Directive européenne 2007/2/CE du 14 mars 2007 sur l'information géographique
LATTS	Laboratoire techniques territoires et société
LEPII	Laboratoire d'économie de la production et de l'intégration internationale
LET	Laboratoire d'économie des transports
Loi POPE	Loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique
LOLF	Loi organique relative aux lois de finance
MAAF	Ministère de l'agriculture, de l'alimentation et de la forêt
MDP ou CDM	Mécanisme de Développement Propre ou <i>Clean Development Mechanism</i>
MEDDE	Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie
MEGC	Modèle d'équilibre général calculable
MIES	Mission interministérielle de l'effet de serre
MOC ou JI credits	Mise en œuvre conjointe ou <i>Joint Implementation Credits</i>
NAMEA	<i>National Accounting Matrix Including Environmental Accounts</i>
OMC	Organisation mondiale du commerce
OMM	Organisation météorologique mondiale
PAC	Politique agricole commune

PCET	Plan climat-énergie territorial
PIB	Produit intérieur brut
PIPAME	Pôle interministériel de prospective et d'anticipation des mutations économiques
PNAQ	Plan national d'allocation de quota
PNUE	Programme des Nations unies pour l'environnement
PREDIT	Programme de recherche et d'innovation dans les transports
PRG	Pouvoir de réchauffement global
RAC	Réseau action climat
RATP	Régie autonome des transports parisiens
REACTIF	Recherche sur l'atténuation du changement climatique par l'agriculture et la forêt
RT 2005, RT 2012	Réglementation thermique de 2005, de 2012
SAU	Surface agricole utile
SCEQE	Système communautaire d'échange de quotas d'émission
SECTEN	Secteurs économiques et énergie (enquête CITEPA)
SOeS	Service de l'observation et des statistiques
STEP	Stations de transfert d'énergie par pompage
t CO ₂ éq.	Tonne de CO ₂ équivalent (unité de pouvoir de réchauffement global)
Tep	Tonne d'équivalent pétrole
TER	Train express régional
TES	Tableau entrées-sorties
TRI	Taux de rentabilité internes
UE	Union européenne
UFE	Union française de l'électricité
UTCF	Utilisation des terres, leurs changements et la forêt
VAN	Valeur actualisée nette
WBCSD	<i>World Business Council for Sustainable Development</i>
WWF	<i>World Wide Fund for Nature</i>

**Ministère de l'Écologie,
du Développement durable
et de l'Énergie**

**Conseil général de
l'Environnement
et du Développement durable**

7^e section – secrétariat général

bureau Rapports et
Documentation

Tour Pascal B - 92055 La
Défense cedex
Tél. (33) 01 40 81 68 73

