

Trajectoires 2020 - 2050
vers une économie sobre en carbone
Rapport du Comité présidé par Christian de Perthuis



Trajectoires 2020-2050 vers une économie sobre en carbone

Président

Christian de PERTHUIS

Rapporteurs

Johanne BUBA

Aurélien MILLION

Pascale SCAPECCHI

Olivier TEISSIER

Assistante

Elise MARTINEZ

Coordonnateur

Dominique AUVERLOT

Octobre 2011

Préface

J'ai eu la chance d'animer les travaux du Comité « Trajectoires 2020-2050 vers une économie sobre en carbone » et suis fier d'en présenter le rapport qui explore les voies d'un renforcement de l'action face au changement climatique.

Je tiens en premier lieu à souligner le professionnalisme de l'équipe des rapporteurs qui a réuni, en un temps record, la masse d'information impressionnante qui charpente ce rapport. Son efficacité a bénéficié du soutien et de la coordination fournis par le Centre d'analyse stratégique. Elle a été démultipliée par les apports d'expertises externes venant alimenter les travaux du groupe. Que les uns et les autres soient ici chaleureusement remerciés.

Ce travail reflète la qualité des échanges qui se sont instaurés au sein du Comité. Par construction, ce Comité reflète une diversité de points de vue qui ont pu s'exprimer dans un esprit de dialogue constructif. J'ai été impressionné par l'engagement des différentes parties prenantes durant nos travaux et suis heureux que les axes de convergence l'aient largement emporté sur les points de désaccord. Je remercie bien sincèrement tous les membres du groupe pour le temps et l'énergie qu'ils ont consacrés à nos travaux.

J'espère que ce rapport donnera au lecteur une information complète et impartiale l'aidant à se positionner sur les enjeux de l'action collective face au réchauffement du climat. Je formule enfin le souhait qu'il aide nos décideurs à prendre les meilleures options pour conjuguer, en France comme en Europe, ambition climatique et développement économique et social.

Christian de Perthuis
Professeur d'Économie associé à l'Université Paris-Dauphine
Président du Comité

| | |
|-----------------------------|---|
| Résumé pour décideurs | 9 |
|-----------------------------|---|

| | |
|--------------------|----|
| Introduction | 19 |
|--------------------|----|

Chapitre 1 - Le contexte et les questions posées 21

| | |
|--|----|
| 1. Le triple jeu d'engagements déjà pris par la France..... | 21 |
| 2. Une déconnexion partielle entre émissions observées et croissance économique, bien insuffisante pour atteindre le « facteur 4 » | 22 |
| 3. Le « facteur 4 » français et le « facteur 5 » européen sont-ils compatibles ?..... | 26 |
| 4. Comment les objectifs européens et français s'intègrent dans la négociation climatique internationale ? | 28 |
| 5. Quelle trajectoire viser entre aujourd'hui et 2050 ? | 29 |
| 6. Le jalon 2020 et les choix politiques à prendre en Europe : faut-il remonter l'engagement de - 20 % ? | 32 |
| 7. Faut-il introduire d'autres jalons intermédiaires et les proposer au plan européen ? | 35 |

Chapitre 2 - Ce que font nos partenaires européens 37

| | |
|---|----|
| 1. Les émissions de GES en Europe : des évolutions à géométrie variable..... | 37 |
| 2. Le positionnement des pays par rapport aux objectifs 2020 et 2050 | 40 |
| 3. Les modes de gouvernance de la politique climatique | 42 |
| 4. Une panoplie d'instruments pour orienter le secteur électrique vers le bas carbone | 44 |
| 5. Le lien entre politique climatique, R&D et stratégies industrielles | 46 |
| 6. Les incitations économiques à l'égard du « secteur diffus » | 47 |
| 7. Les innovations en matière de financement | 49 |

Chapitre 3 - Construction de trajectoires sectorielles françaises 51

| | |
|---|----|
| 1. Hypothèses et limites des trois scénarios étudiés..... | 51 |
| 2. Énergie : plusieurs voies possibles vers un système bas carbone..... | 54 |
| 3. Industrie : poursuivre les gains d'efficacité énergétique et agir sur les filières | 59 |
| 4. Bâtiments : l'inertie du parc et le rythme de sa rénovation | 62 |
| 5. Transports : le rythme de l'électrification, l'organisation des transports urbains et la marchandise | 65 |
| 6. Vers une agriculture « écologiquement intensive »..... | 68 |
| 7. Forêt et puits de carbone : l'enjeu de la préservation du puits forestier | 71 |
| 8. Comparaisons avec les résultats de la feuille de route européenne | 73 |
| 9. Assurer les cohérences spatiales, industrielles et économiques | 76 |

Chapitre 4 - Les impacts économiques 79

1. Un exercice de modélisation français 79
2. La répartition des réductions d'émission dans le temps : les gains de l'action précoce..... 80
3. Une répartition sectorielle de l'effort qui souligne l'hétérogénéité des secteurs..... 83
4. Les impacts sur la croissance de l'économie et de l'emploi suivant le mode de recyclage de la valeur carbone 84
5. Les ruptures technologiques nécessitent des instruments spécifiques..... 85
6. La question du financement et son lien avec le prix du carbone 86
7. Les conditions sociales de la transition vers une économie sobre en carbone 88
8. Analyse des impacts pour la France d'un rehaussement de l'objectif européen de réduction d'émission en 2020..... 90

Chapitre 5 - Propositions pour une transition réussie vers une société sobre en carbone 93

1. Renforcer les mesures de politique industrielle favorisant la transition vers une économie sobre en carbone..... 93
2. Favoriser le développement de la R&D et la diffusion des innovations technologiques propices à la transition vers une économie sobre en carbone 95
3. Allonger la prévisibilité de la politique climatique par la définition de cibles européennes contraignantes en 2030 et renforcer sa crédibilité par la mise en place d'une gouvernance renouvelée 96
4. Renforcer le signal prix du carbone en l'étendant à l'ensemble de l'économie et en améliorant la régulation du système européen d'échanges de quotas de CO₂ 98
5. Améliorer et prolonger les mécanismes de flexibilité dans un cadre international et développer leur utilisation au sein même de l'Union européenne..... 99
6. Gérer le produit des enchères et des futures contributions climat-énergie en toute transparence dans le but de favoriser la croissance économique, l'équité sociale, le développement d'innovations sobres en carbone et la solidarité internationale..... 100
7. Anticiper les évolutions du marché de l'emploi et préparer les transitions professionnelles..... 102
8. Développer des modes de financements innovants associant capital public et capital privé et utilisant le levier de la valeur carbone 103
9. Intégrer de façon efficace les objectifs de la politique climatique dans les politiques d'aménagement des espaces urbains et ruraux..... 104

Conclusion..... 107

Bibliographie..... 109

Compléments 115

Complément 1 – Propositions des différents membres du groupe 119

Complément 2- L'analyse de l'évolution des émissions européennes et françaises depuis 1990 – *Aurélien Million*..... 181

| | |
|---|------------|
| Complément 3 – Une illustration des politiques climatiques étrangères <i>Johanne Buba</i> | 195 |
| Complément 4 – Construction de trajectoires sectorielles françaises <i>Aurélien Million – Pascale Scapecchi – Olivier Teissier</i> | 223 |
| Complément 5 – Synthèse des résultats de modélisation <i>Pascale Scapecchi – Denis Ferrand</i> | 287 |
| Complément 6 – Favoriser le développement de la R&D et la diffusion des technologies propices à une économie sobre en carbone <i>Matthieu Glachant – Dominique Auverlot</i> | 313 |
| <hr/> | |
| Annexes | 319 |
| Annexe 1 – Lettre de mission | 323 |
| Annexe 2 – Liste des membres du groupe de travail | 325 |
| Annexe 3 – Liste des intervenants | 331 |

Résumé pour décideurs

Les informations en provenance de la communauté scientifique appellent à un changement rapide de trajectoires des émissions de gaz à effet de serre dans le monde pour éviter un réchauffement moyen de la planète supérieur à 2°C : d'après les scénarios du Groupement intergouvernemental des experts sur le climat (GIEC), une division par deux des émissions mondiales à l'horizon 2050, soit une réduction de 80 à 95 % au sein des pays développés. Les travaux du Comité ont exploré les meilleures voies pour y contribuer en France.

Les orientations à prendre doivent tenir compte d'une double donne. D'une part, les négociations internationales menées dans le cadre des Nations Unies, malgré des avancées techniques, ont peu de chance d'aboutir à échéance rapide à un accord international ambitieux. D'autre part, l'économie n'a pas connu de reprise forte à la suite de la violente récession de 2008-2009, alors même que la situation financière des États s'est affaiblie et qu'un doute s'est installé à l'égard des dettes souveraines au sein de la zone Euro.

Dans un tel contexte, les travaux du Comité ont suivi un fil conducteur : rechercher 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. Une action ambitieuse face au changement climatique pourra contribuer au redressement de notre économie et à la constitution de nouveaux avantages comparatifs dans la compétition internationale si deux conditions sont réunies :

- intégrer beaucoup plus directement que par le passé la politique climatique à une stratégie conjuguant politique de développement des filières industrielles, effort de recherche et développement et diffusion de l'innovation au sein du tissu économique ;
- crédibiliser les instruments de l'action publique en construisant une gouvernance qui rende 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.

Ces orientations d'ensemble se déclinent suivant quatre axes : l'analyse du contexte européen, la construction de trajectoires sectorielles françaises, le diagnostic des scénarios envisageables et l'identification des instruments à mettre en place.

1. Le contexte européen est actuellement marqué par les discussions concernant l'atteinte de l'objectif auquel s'est engagé l'Union européenne d'une réduction d'au moins 80 % des émissions de gaz à effet de serre entre 1990 et 2050. Cet objectif

n'ayant pas été décliné par État membre, le Comité a en premier lieu analysé la position de notre pays par rapport à l'ensemble européen. Compte tenu de la structure de nos émissions, et notamment le faible niveau des émissions d'origine industrielle et énergétique sur lesquels les réductions les plus importantes sont visées au sein de l'Union, il en ressort que l'objectif national du « facteur 4 » qui ramènerait notre pays à un niveau d'émission inférieur à deux tonnes d'équivalent CO₂ par habitant en 2050 s'inscrit bien dans le cadre des objectifs européens de long terme. Cet objectif national ne doit pas être conditionné par l'évolution des négociations climatiques internationales. Il doit être atteint par notre pays avec des moyens d'action qui renforcent simultanément la croissance économique, l'emploi et les différentes filières industrielles.

Il n'y avait pas, au moment des travaux du Comité, consensus au sein de l'Union européenne sur la meilleure trajectoire à viser pour atteindre les objectifs de long terme et notamment sur l'opportunité de rehausser l'objectif communautaire de réduction de – 20 % des émissions de gaz à effet de serre en 2020 relativement à 1990. L'audition de trois pays favorables à un tel rehaussement a montré des innovations intéressantes de politique climatique : très fort lien avec les stratégies industrielles de production et d'exportation de nouvelles technologies en Allemagne ; mise en place d'une gouvernance *ad hoc* avec plusieurs innovations financières au Royaume-Uni ; utilisation de la taxation du carbone de façon domestique en Suède. Ceci suggère qu'au-delà des actions déjà mises en place dans le cadre du Grenelle de l'environnement, notre pays devra continuer à innover en matière d'action publique pour atteindre des objectifs climatiques ambitieux.

2. Les potentiels de réduction des émissions. Depuis 1990, les émissions françaises de GES se sont partiellement déconnectées de la croissance économique, le mouvement semblant s'accélérer à partir de 2005, au-delà de l'effet mécanique de la récession économique. Ce décrochement rend acquis l'atteinte des objectifs de notre pays au titre du protocole de Kyoto et probable le respect de nos engagements actuels à 2020 dans le cadre du paquet Énergie-Climat si la mise en œuvre des mesures du Grenelle de l'environnement ne bute pas sur des contraintes de finances publiques. En revanche, la seule poursuite de ces progrès incrémentaux ne suffira pas à nous mettre sur une trajectoire visant le facteur 4 en 2050. Il faudra pour cela opérer des ruptures de technologie et/ou d'organisation afin de réaliser les potentiels de réduction identifiés dans chaque secteur. Pour atteindre le facteur quatre, cinq conditions d'ensemble devront être réunies :

- il faudra agir à la fois sur la demande en incitant à l'efficacité énergétique et plus généralement à la baisse des consommations de biens et services à forte empreinte carbone, et sur l'offre en encourageant les procédés de production sobres en carbone. Cette condition est en particulier indispensable pour que les sources primaires d'énergie non émettrices puissent couvrir les demandes aux différents horizons prospectifs ;
- l'ensemble des secteurs, soumis ou non au système européen d'échange de quotas de CO₂, devront accélérer leurs réductions d'émission. Une attention particulière doit être apportée aux secteurs diffus où de multiples sources d'émission rendent plus ardue la mise en place d'incitations adaptées : le transport, les bâtiments et l'agriculture. Les secteurs de l'agriculture et de la forêt méritent une analyse spécifique du fait de leur aptitude à produire du carbone renouvelable et à stocker le carbone atmosphérique. Cette dernière pourrait être

fortement réduite en ce qui concerne la forêt dans les décennies qui viennent en l'absence d'investissements. Il convient par ailleurs de rapidement freiner les pressions à l'artificialisation des sols exercées par l'expansion périurbaine ;

- les acteurs économiques devront disposer dans chaque secteur d'un jeu d'incitations prévisibles à long terme qui les conduisent, grâce à l'action publique, à engager rapidement les efforts d'investissement et d'innovation requis pour atteindre les cibles d'émissions carbone envisagées en 2050. À cet égard, une grande diversité de conditions prévaut dans les différents secteurs, avec des enjeux respectifs différents en matière d'innovations technologiques ou d'organisation ;
- des sources de financement devront être mobilisées pour réaliser les investissements supplémentaires et couvrir les coûts des reconversions nécessaires pour aller vers l'économie sobre en carbone, sans déstabiliser les finances publiques dont la consolidation restera une priorité dans les années qui viennent. Les actions de R&D, mais aussi l'innovation et la diffusion technologiques peuvent à la fois favoriser la compétitivité de nos entreprises, mais aussi la croissance de notre économie sur le long terme : leur financement sera particulièrement important ;
- pour réunir les conditions d'acceptabilité sociale de ces mutations, la transition vers l'économie sobre en carbone devra rapidement avoir des effets bénéfiques sur les entreprises et l'emploi et s'accompagner d'une distribution équitable des efforts à engager.

3. Les différents scénarios possibles. Dans le cadre du temps qui lui a été imparti, le Comité n'a pas multiplié les travaux de scénarisation mais a étudié trois trajectoires, déclinées par secteur, qui aboutissent toute à une réduction de 75 % des émissions de gaz à effet de serre en 2050. La différence entre ces trois trajectoires est qu'elles passent par trois points différents en 2020, correspondant à trois options possibles au plan communautaire (- 20, - 25 ou - 30 % d'objectifs de réduction) et aboutissent au plan national à des réductions comprises entre 33 et 41 % en 2030 (voir le tableau 2 annexé à ce texte). Si la question du rehaussement de l'objectif européen n'a pas fait l'objet de consensus au sein du comité, les travaux de modélisation et d'analyse réalisés permettent d'évaluer les paramètres à prendre en compte pour la décision :

- le rehaussement de l'objectif à - 25 ou - 30 % conduit en premier lieu à un bénéfice climatique additionnel avec un cumul des émissions réduit de 8 % à l'horizon 2050. Les simulations effectuées par les différents modèles illustrent les bénéfices de l'action précoce : avec un objectif rehaussé, les réductions sont mieux réparties dans le temps ce qui évite une forte augmentation des contraintes en fin de période. Un tel rehaussement serait également un facteur de remontée du prix du quota de CO₂ sur le système d'échange européen ce qui est un objectif aujourd'hui largement partagé. S'il s'accompagnait des mesures d'accompagnement adéquates, il permettrait de constituer des avantages compétitifs dans les nouvelles filières économiques sobres en carbone ;
- certains participants au groupe ont fait valoir que les délais requis pour les investissements dans l'industrie faisaient de la cible 2020 un horizon trop rapproché pour changer les règles du jeu du système européen d'échange de quotas de CO₂. D'autres ont marqué la crainte que l'atteinte de réductions additionnelles d'ici 2020 dans les secteurs d'émission non couverts par le système européen d'échange de quotas de CO₂ n'alourdissent les charges pour la

puissance publique dans la mesure où un grand nombre d'incitations dans ces secteurs repose sur l'utilisation d'argent public. Enfin certains rappellent que l'action européenne serait démultipliée si le dispositif européen était rattaché à un marché mondial du carbone ;

- compte tenu des réserves précédentes, le Comité a cherché à mettre en relief les conditions favorables pour opérer avec succès un tel rehaussement des objectifs. Le renforcement du système d'incitations économiques, par élargissement de la tarification du CO₂ énergétique aux secteurs non couverts par le système communautaire des quotas, en est une composante essentielle. Cet élargissement devrait idéalement emprunter la voie européenne, mais retenir la voie nationale si les délais de concrétisation d'une telle démarche au plan communautaire restaient excessifs ;
- l'utilisation des fonds issus de la tarification nationale ou européenne du carbone peut favoriser la croissance et l'emploi à court mais aussi à moyen terme. Le Comité recommande à cet égard que cette utilisation s'inscrive dans une vision pluriannuelle, en intégrant les cinq priorités suivantes : une baisse des charges pour favoriser l'emploi et renforcer la compétitivité des entreprises; une compensation ciblée sur les ménages en situation de précarité ; le financement de la R&D et de la diffusion des innovations technologiques sobres en carbone en France et dans le cadre de la coopération internationale ; le financement de nouvelles formations et d'aides aux reconversions professionnelles ; le soutien à la lutte contre le changement climatique des pays les moins avancés.

4. Les instruments à mettre en œuvre. Une condition de réussite de la transition vers l'économie sobre en carbone est que les signaux envoyés par l'autorité publique tant européenne que française soient crédibles et prévisibles. Au plan national, le Comité est donc favorable à une gouvernance renouvelée de la politique climatique avec, à l'image de ce que font les Britanniques, la mise sur pied d'un comité indépendant réunissant les expertises nécessaires, et ouvert sur le monde économique et la société civile. Il est également favorable à l'établissement de cibles intermédiaires tant au plan national qu'europpéen :

- au plan national, il souhaite que l'on mette à l'examen un dispositif de cibles intermédiaires d'émissions de gaz à effet de serre (triennales ou quinquennales), non contraignantes et déclinées au plan sectoriel, pour renforcer la capacité nationale de pilotage des trajectoires et évaluer l'adéquation entre les moyens mis en œuvre et les résultats obtenus ;
- au plan communautaire, une fois actées les décisions sur 2020, il est souhaitable que soit très rapidement fixé un objectif européen de réduction en 2030 en cohérence avec l'objectif 2050. Cet objectif, de l'ordre de - 40 à - 45 % au plan communautaire d'après les estimations de la feuille de route européenne, devra être décliné précisément entre États membres et dans les règles d'évolution du plafond du système d'échange de quotas européen qui doit rester un instrument de pilotage puissant et efficace pour la réduction des émissions industrielles. Le Comité souhaite à cet égard que les propositions de renforcement de la régulation du marché du carbone sous l'égide d'une autorité européenne indépendante, inspirées du rapport Prada, soient mises en place rapidement ;
- au plan international et pour accroître la flexibilité des politiques climatiques, la poursuite de l'utilisation des mécanismes de projets créés dans le cadre du Protocole de Kyoto peut être une source utile de flexibilité externe. Elle devra être

ciblée sur les pays les moins avancés ou qui font des efforts prouvés de réduction d'émission et sur les démarches de type programmatique. L'extension de ces mécanismes, harmonisée au sein de l'Europe, permettrait de plus de faciliter l'atteinte des objectifs de réduction dans les secteurs non couverts par le système européen des quotas.

Au plan financier, le Comité est favorable à la mise en place de mécanismes innovants permettant d'utiliser la valeur future des réductions d'émission et des économies d'énergie pour financer aujourd'hui en prêt ou en fonds propres des investissements réducteurs d'émission. De tels dispositifs, s'il était mis en place à grande échelle, permettraient notamment de lever l'une des contraintes les plus fortes pesant sur l'accélération des travaux de rénovation dans le parc immobilier.

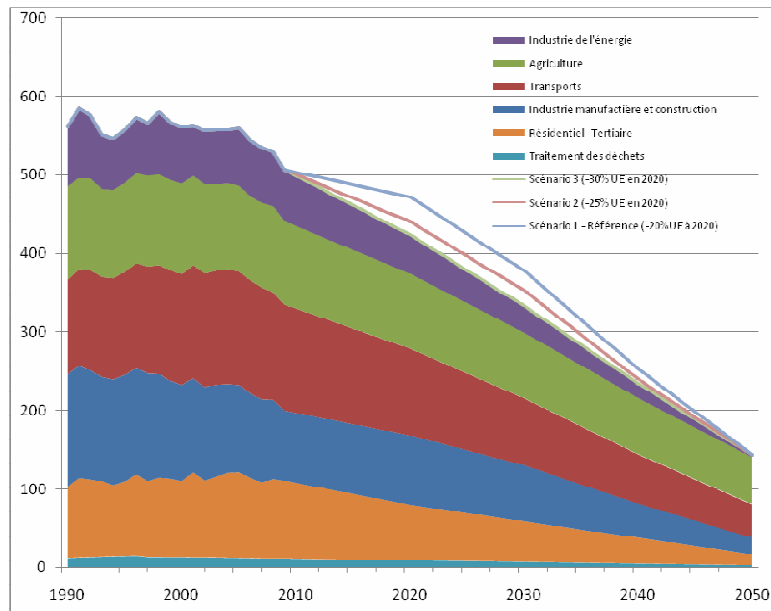
Le lecteur trouvera dans le chapitre 5 du rapport le détail des propositions du Comité destinées à faciliter une transition réussie vers une économie sobre en carbone. Par ailleurs, le premier complément au rapport réunit un certain nombre de propositions que les participants au Comité ont souhaité formuler sous leur propre responsabilité.

LES 9 PROPOSITIONS DU RAPPORT

1. Renforcer les mesures de politique industrielle favorisant la transition vers une économie sobre en carbone.
2. Favoriser le développement de la R&D et la diffusion des innovations technologiques propices à la transition vers une économie sobre en carbone.
3. Allonger la prévisibilité de la politique climatique par la définition de cibles européennes contraignantes en 2030 et renforcer sa crédibilité par la mise en place d'une gouvernance renouvelée.
4. Renforcer le signal prix du carbone en l'étendant à l'ensemble de l'économie et en améliorant la régulation du système européen d'échanges de quotas de CO₂.
5. Améliorer et prolonger les mécanismes de flexibilité dans un cadre international et développer leur utilisation au sein même de l'Union européenne.
6. Gérer le produit des enchères et des futures contributions climat-énergie en toute transparence dans le but de favoriser la croissance économique, l'équité sociale, le développement d'innovations sobres en carbone et la solidarité internationale.
7. Anticiper les évolutions du marché de l'emploi et préparer les transitions professionnelles.
8. Développer des modes de financements innovants associant capital public et capital privé et utilisant le levier de la valeur carbone.
9. Intégrer de façon efficace les objectifs de la politique climatique dans les politiques d'aménagement des espaces urbains et ruraux.

2 graphiques et 2 tableaux pour illustrer le résumé pour décideurs

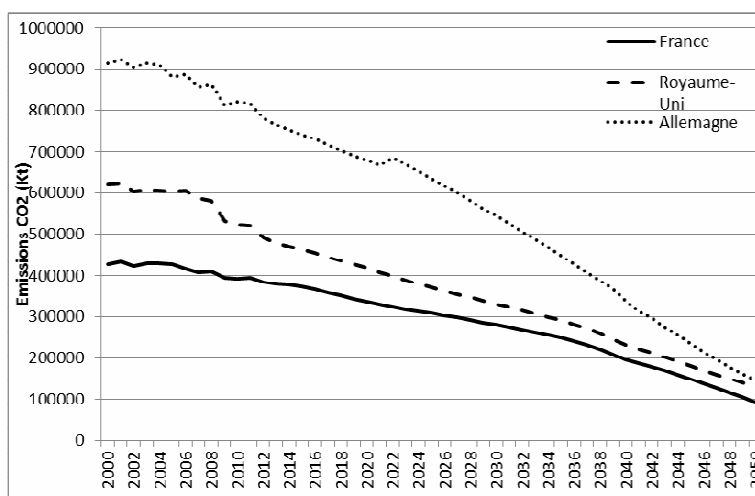
Graphique 1 : Trajectoires d'émissions de gaz à effet de serre par secteur pour atteindre l'objectif de 75 % en 2050 en France (MtCO₂e)



Source : travaux du Comité

Ce graphique représente les trajectoires d'émissions de gaz à effet de serre de la France issues des travaux de scénarisation du Comité. Elles aboutissent chacune à une réduction de 75 % des émissions de gaz à effet de serre en 2050 relativement à 1990 mais passent par trois points différents en 2020, correspondant à trois options possibles au plan communautaire (- 20, - 25 ou - 30 % d'objectifs de réduction par rapport à 1990). La répartition sectorielle des émissions correspond au scénario - 30 % au niveau communautaire en 2020 par rapport à 1990. Les émissions représentées pour la France couvrent tous les gaz à effet de serre couverts par le protocole de Kyoto, sont au périmètre de la métropole et des départements d'outre-mer. Elles n'intègrent pas les émissions ou le stockage de carbone liés au mode d'utilisation des sols et à leur changement d'usage (forêt et agriculture très majoritairement).

Graphique 2 : Répartition entre la France, l'Allemagne et le Royaume-Uni d'une trajectoire d'émission visant – 80 % en 2050 (CO₂ énergétique uniquement)



Source : modèle POLES

Ce graphique représente les trajectoires de réduction des émissions de la France, du Royaume-Uni et de l'Allemagne pour atteindre une division par cinq des émissions européennes à l'horizon 2050 telles que les a calculé le modèle POLES. Les réductions d'émissions sont plus élevées pour l'Allemagne que pour la France et intermédiaire au Royaume Uni. Cela s'explique par l'existence d'un gisement de réductions potentielles à plus faible coût dans ces deux pays, principalement dans le secteur de la production énergétique.

Tableau 1 : Émissions de gaz à effet de serre par secteur pour atteindre l'objectif de 75 % en 2050 en France

| | 1990 | | 2005 | | 2050 | | Evolution /1990 (%) |
|--------------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|---------------------|
| | (MtCO ₂ e) | Part du total (%) | (MtCO ₂ e) | Part du total (%) | (MtCO ₂ e) | Part du total (%) | |
| 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 | 3 | 2 | - 96 |
| Traitement des déchets | 13 | 2 | 13 | 2 | 3 | 2 | - 76 |

Source : travaux du comité

Ce tableau présente par secteur les émissions de gaz à effet de serre de la France (au périmètre de la métropole et des départements d'outre-mer), en 1990, 2005 et en 2050 dans le cadre d'une trajectoire menant à une réduction de 75 % des émissions de gaz à effet de serre en 2050 relativement à 1990. Ces chiffres n'intègrent pas les émissions ou le stockage de carbone liés au mode d'utilisation des sols et à leur changement d'usage (forêt et agriculture très majoritairement).

Tableau 2 : Comparaison des évolutions entre la France et l'UE 27

| | Part du total (%) | | Évolutions/1990 (%) | | | | | | | |
|--|-------------------|-----|---------------------|------|-------------|-------------|-------------|-----------------|------|-------------|
| | 2005 | | 2005 | | 2020 | | 2030 | | 2050 | |
| | Fr | UE | France | UE | Fr | UE | Fr | UE | Fr | UE |
| Total (tous GES) | 100 | 100 | 0 | - 7 | -16 à -25 | - 23 à - 26 | - 33 à - 41 | - 40 à - 44 | - 75 | - 79 à - 82 |
| Industrie de l'énergie (CO ₂) | 13 | 31 | 3 | - 7 | - 25 à - 32 | - 30 à - 34 | - 49 à - 53 | - 54 à - 68 | - 96 | - 93 à - 99 |
| Industrie manufacturière (CO ₂) | 18 | 18 | - 8 | - 20 | - 24 à - 36 | - 31 à - 32 | - 32 à - 48 | - 34 à - 40 | - 84 | - 83 à - 87 |
| Transport (hors aérien international et maritime) (CO ₂) | 25 | 18 | 18 | 25 | + 3 à - 8 | + 15 à +27 | - 22 à - 29 | + 8 à - 17 | - 65 | - 61 à - 74 |
| Résidentiel-tertiaire (CO ₂) | 17 | 13 | 16 | - 12 | - 11 à - 20 | - 21 à - 25 | - 33 à - 42 | - 37 à - 53 | - 85 | - 88 à - 91 |
| Agriculture (non CO ₂) | 17 | 10 | - 10 | - 20 | - 14 à - 19 | - | - 26 à - 29 | - 36 à - 37 | - 49 | - 42 à - 49 |
| Autres (non CO ₂)* | 8 | 8 | -30 | -30 | - 41 à - 47 | - | - 48 à - 58 | - 71,5 à - 72,5 | - 86 | -70 à -78 |

Source : travaux du comité

- * Cette ligne couvre les émissions de GES non CO₂ des secteurs de l'industrie de l'énergie, de l'industrie manufacturière, du transport (hors aérien international et maritime), du résidentiel-tertiaire et des déchets.

- Pour les secteurs, cette comparaison concerne uniquement les gaz retenus dans la feuille de route de la Commission européenne, et ne permet pas de couvrir tout l'inventaire ; il y manque les émissions de CO₂ de l'agriculture, et des déchets, soit environ 2 % des émissions totales hors UTCF ; le secteur UTCF n'est par ailleurs pas traité par la feuille de route climat 2050 de la Commission.

Ce tableau compare, pour les gaz à effet de serre précisés dans l'entête, les points de passage sectoriels à 2020, 2030 et 2050 des trois trajectoires d'émissions de gaz à effet de serre de la France issues des travaux de scénarisation du Comité avec les jalons sectoriels proposés pour l'UE 27 par la Commission européenne dans sa « Feuille de route vers une économie compétitive à faible intensité de carbone à l'horizon 2050 » publiée le 8 mars 2011.

Crise économique et politique climatique

Dans sa fameuse *Review* réalisée à la demande du Trésor britannique en 2006, l'économiste Nick Stern a popularisé un raisonnement auparavant confiné aux cercles relativement étroits des économistes du climat : sitôt qu'on allonge l'horizon temporel du décideur, les coûts de l'inaction face au réchauffement du climat sont bien plus élevés que ceux de l'action immédiate. Jusqu'à 20 % du PIB à un horizon de 50 ans pour les premiers, contre 1 à 2 % du PIB pour les seconds. Quel décideur responsable pourrait dès lors choisir l'option de l'inaction ? Mais dans un contexte de crise économique et financière, combien de décideurs prennent leurs décisions avec un horizon dépassant quelques mois ?

Depuis 2006, les informations en provenance de la communauté scientifique ont été dans le sens d'un renforcement de l'évaluation des dommages potentiels associés à nos émissions de gaz à effet de serre. Le quatrième rapport d'évaluation du GIEC, publié en 2007, documente de façon très complète les risques associés à la poursuite des trajectoires d'émission dans le monde. Sur la base de ces travaux, l'objectif de limiter le réchauffement moyen à 2°C a été retenu par la communauté internationale. Un consensus assez large prévaut sur le fait qu'une division par deux des émissions de gaz à effet de serre dans le monde d'ici 2050 mettrait toutes les chances de notre côté pour y parvenir, ce qui implique d'aller bien plus loin dans les pays développés. Sous l'angle de la science du climat, jamais le raisonnement de Stern n'a été aussi pertinent.

Pourtant, les progrès de l'action internationale face au changement climatique ont été tenus depuis la décision européenne de lancer le « paquet Énergie-Climat » en décembre 2008. La négociation climatique a été confinée à des volets techniques, ce qui éloigne la perspective d'un accord international crédible sur les réductions d'émission. Contraints par la crise, les acteurs, publics ou privés, prennent leurs décisions les yeux rivés sur le court terme : ils n'acceptent pas une charge supplémentaire sur l'économie aujourd'hui, même si celle-ci est remboursée au décuple demain.

La mission du Comité « Trajectoires 2020-2050 vers une économie sobre en carbone » était précisément de réfléchir à l'articulation souhaitable entre les différents horizons temporels de la politique climatique. Ses travaux ont été organisés pour identifier les options combinant réduction des émissions de gaz à effet de serre et progrès économique et social. Trois approches complémentaires ont été développées : l'analyse comparative des expériences européennes (chapitre 2), la

construction de trajectoires sectorielles prospectives (chapitre 3) et l'évaluation des impacts économiques et sociaux à partir des outils de l'économiste (chapitre 4). Ses propositions présentées au chapitre 5 visent à identifier les instruments dont la mise en œuvre simultanée permettrait d'accélérer la transition vers une économie sobre en carbone tout en facilitant la dynamisation de l'économie et de l'emploi à court terme.

Ces voies sont-elles réalistes en temps de crise, s'interrogeront les sceptiques ? Si elles sclérosent les acteurs en raccourcissant leur horizon, les crises économiques peuvent aussi devenir des catalyseurs de changement. Comme le rappelle la formule de Jean Monnet : « *Les hommes n'acceptent le changement que dans la nécessité et ils ne voient la nécessité que dans la crise* ». Si le climat n'est plus une charge qui obère la capacité de rebond de l'économie, mais un levier permettant de créer plus de richesses et d'emplois, nul doute qu'il sera bien plus rapidement intégré dans nos choix collectifs. Un changement dont la nécessité a fait l'objet d'un large consensus au sein du Comité.

Le contexte et les questions posées

L'une des questions clefs de l'action face au changement climatique est de relier les différents horizons temporels. La nécessité de réduire massivement les émissions de gaz à effet de serre à l'horizon 2050 fait l'objet d'un large consensus. Ce consensus a tendance à s'effriter à mesure qu'on se rapproche de cibles intermédiaires plus proches de nous : 2030, 2020. Il peut aboutir à des visions opposées sur le type d'action (ou d'inaction) à entreprendre, ici et maintenant. Comme aime à le répéter un maire d'une agglomération engagé dans l'action face au changement climatique : « au Conseil municipal, c'est un jeu d'enfant d'obtenir l'unanimité à l'horizon 2050 ; le consensus se fissure à l'horizon 2020 ; mais le vrai débat, c'est quand on passe au vote du budget de l'année prochaine ». Au plan local comme au plan national, il est important que ce débat soit conduit avec les meilleures informations possibles et en posant les bonnes questions. La première tâche du Comité a consisté à réunir une telle information en s'accordant sur les questions clefs à poser.

1. Le triple jeu d'engagements déjà pris par la France

En matière de réduction d'émissions de gaz à effet de serre, la France est déjà liée par trois engagements complémentaires à court, moyen et long termes :

- **le court terme concerne la période 2008-2012.** Au titre du protocole de Kyoto, la France s'est engagée à stabiliser, entre 1990 et la moyenne de la période 2008-2012, les émissions des six gaz à effet de serre couverts par le protocole¹, dont le principal est le dioxyde de carbone. Cet engagement résulte de la décision prise au Conseil environnement de l'UE, les 17 et 18 juin 1998, où les ministres se sont entendus sur un partage entre États membres de l'engagement européen d'une baisse de 8 % sur la même période ;
- **l'engagement de moyen terme concerne l'année 2020.** Lors du Conseil européen des chefs d'État et de gouvernement des 8-9 mars 2007, l'Union européenne a retenu un objectif de baisse de 20 % de ses émissions en 2020 par rapport à 1990 (soit 14 % par rapport à 2005). Cet objectif a ensuite été décliné par pays dans le cadre du Paquet énergie-climat, sur lequel un accord a été trouvé en décembre 2008, qui assigne des objectifs contraignants à notre pays présentés plus en détail dans la suite de ce chapitre. Il a été précisé que la Commission proposerait au Parlement et au Conseil des mesures de réduction supplémentaires

(1) Le « Panier de Kyoto » se compose de six gaz à effet de serre (le dioxyde de carbone CO₂, le méthane CH₄, le protoxyde d'azote N₂O, l'hydrofluorocarbure HFC, le perfluorocarbure PFC et l'hexafluorure de soufre SF₆).

pour atteindre un objectif de – 30 % « en cas d'accord international satisfaisant ». La discussion sur l'opportunité d'un passage à – 30 % reste cependant ouverte au plan européen, la Commission et certains États membres souhaitant relever l'objectif de – 20 % pour des raisons internes, indépendantes de l'évolution de la négociation climatique. La France n'a pour l'instant pas pris de position officielle sur ce point, restant sur une approche classique de relèvement de l'objectif de réduction en 2020 conditionné par l'évolution de ces négociations ;

- **avec le « facteur quatre »**, la France a été l'un des premiers pays européens à adopter des cibles de réduction de ses émissions à **l'horizon 2050**, compatibles avec une division par deux des émissions mondiales de gaz à effet de serre telle qu'elle visée dans les scénarios privilégiés par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). L'objectif de diviser par quatre les émissions de gaz à effet de serre relativement à 1990 a été inscrit dans la loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique du 13 juillet 2005. Il a été confirmé par la loi du 3 août 2009 relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement. Ces textes législatifs laissent cependant subsister quelques ambiguïtés sur le périmètre exact des émissions couvertes et la période de référence choisie.

Lorsqu'on compare ces trois cibles, à la situation de départ, quelle image va-t-il sortir ? L'analyse des émissions observées révèle que la France aura réduit ses émissions sur la période 2008-2012 nettement au-delà de l'objectif Kyoto, les deux inconnues concernant 2020 et surtout 2050.

2. Une déconnexion partielle entre émissions observées et croissance économique, bien insuffisante pour atteindre le « facteur 4 »

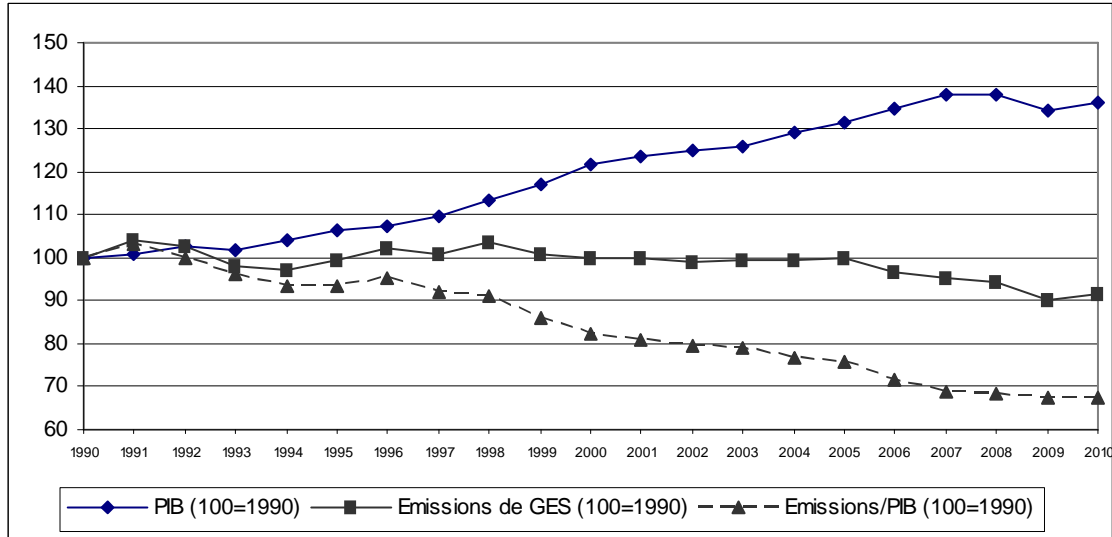
Première étape de toute démarche prospective : correctement appréhender le point de départ et chercher à détecter les tendances d'évolution à l'œuvre, leurs ruptures éventuelles, les signaux faibles susceptibles d'annoncer des ruptures plus importantes à l'avenir. Le complément 2 réunit à la fin du rapport l'ensemble des éléments qui ont été analysés aussi bien au plan français qu'au plan européen en la matière. Trois idées principales en ont été tirées pour alimenter les travaux du Comité.

Primo, sur les vingt dernières années, les émissions de gaz à effet de serre de la France¹ ont partiellement décroché de la croissance économique. Entre 1990 et 2008, la croissance du PIB a approché les 40 % alors que le total des émissions a légèrement reculé. Durant la crise économique, les émissions de gaz à effet de serre continuent de décliner par rapport au PIB (voir graphique 3). Cette déconnexion

(1) Dans ce rapport, les chiffres d'émissions de gaz à effet de serre utilisés correspondent aux conventions adoptées dans le cadre du protocole de Kyoto. L'inventaire reprend toutes les émissions produites sur le territoire national (France métropolitaine + DOM) qu'elles résultent de la combustion des produits énergétiques carbonés ou des process industriels utilisant comme matière première des produits carbonés. Les émissions des transports aériens, maritimes et fluviaux « domestiques », y compris ceux liés aux échanges entre la France métropolitaine et les DOM, font partie du recensement. En sont exclus les émissions liées aux transports maritimes et aériens internationaux. À noter que nous considérons une version de l'inventaire français 2011 qui n'intègre pas les corrections provisoires sur le méthane émis par les décharges demandées par le secrétariat de la Convention cadre des Nations Unies sur le changement climatique.

partielle entre émission et croissance économique n'est pas propre à la France : on l'observe sur l'ensemble des pays de l'Union européenne, mais avec des spécificités nationales très marquées (voir complément 2).

Graphique 3 : Croissance économique et émissions de gaz à effet de serre de la France (évolution du PIB en volume, des émissions de GES et de l'intensité GES - 100 = 1990)



Source : INSEE, inventaire d'émissions au périmètre Kyoto, CITEPA, soumission avril 2011

NB : les émissions de GES pour 2010 sont des estimations provisoires

D'où proviennent ces gains incrémentaux conduisant à un découplage partiel entre la trajectoire de nos émissions et celle du PIB au cours des vingt dernières années ? Ils ont de fait précédé la mise en œuvre des politiques climatiques et ne peuvent donc leur être imputés. Ils traduisent une combinaison complexe de gains d'efficacité (énergétique, mais pas seulement) et de changement dans la structure de la production nationale avec en particulier le recul de la part de l'industrie. Certains membres du Comité ont ainsi fait observer que les émissions liées à la demande de biens et services par les ménages avaient sans doute augmenté plus rapidement que les émissions mesurées sur le territoire national en raison de ce dernier facteur. En l'état actuel des connaissances statistiques (encadré 1), il n'est pas possible de mesurer avec rigueur ce phénomène, aussi le Comité souhaite-t-il qu'un suivi statistique permette à l'avenir de mieux suivre ce phénomène dans le cadre d'une gouvernance rénovée de la politique climatique (chapitre 5). Le point essentiel est que la seule poursuite de ces gains ne permet absolument pas d'aboutir à une division par quatre des émissions de gaz à effet de serre en France à l'horizon 2050, même si on retient des hypothèses pessimistes sur la croissance économique des prochaines décennies. L'une des priorités du Comité a donc été de rechercher les conditions d'émergence de ruptures (technologies, comportements, organisations) permettant d'aller au-delà de ces gains incrémentaux tendanciels.

Évaluer les émissions à partir de la demande ?

Traditionnellement, les émissions de gaz à effet de serre (GES) sont réparties entre les différents pays selon les quantités émises sur un territoire donné pendant une année. Les inventaires nationaux dont les règles sont harmonisées au plan international par les lignes directrices basées sur les travaux du GIEC sont le support statistique utilisé. C'est à partir de

ces inventaires, audités par des examinateurs internationaux, que sont calculés les données de référence et les objectifs dans le Protocole de Kyoto. En France, c'est le CITEPA qui est chargé de réaliser l'inventaire national des émissions conformément aux obligations et lignes directrices nationales.

Depuis quelques années, certaines voix s'élèvent pour changer ce mode de calcul et prendre en compte les émissions dues à la consommation. L'argument derrière cette demande est souvent apporté par les pays en voie de développement qui produisent nombre de biens pour les pays développés. Ainsi, ils verraient leurs émissions se réduire au profit de celles des pays consommateurs, au premier rang desquels Europe et États-Unis.

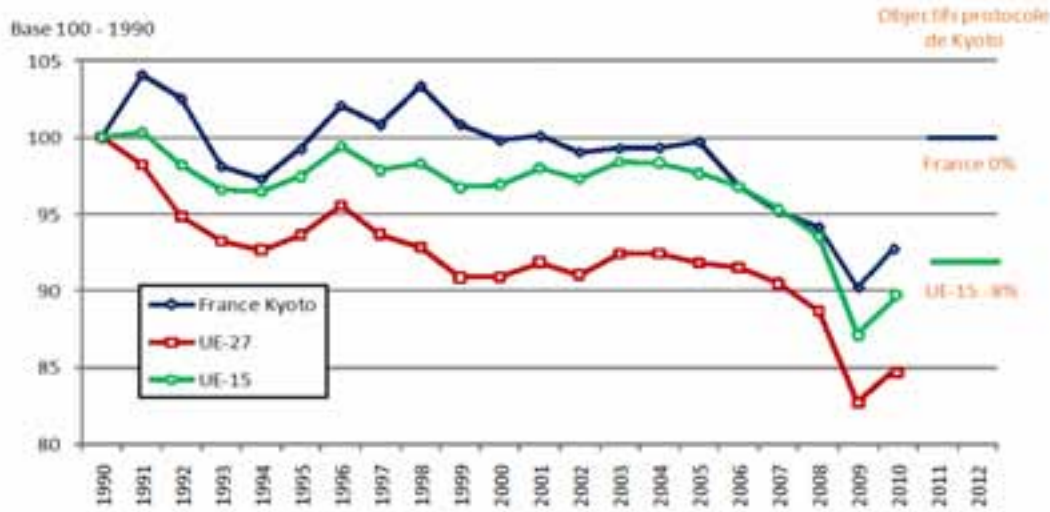
Une étude récente parue dans *Proceedings* de la *National Academy of Sciences* (PNAS) des États-Unis de mars 2010 démontrerait même que les pays européens auraient plus d'émissions importées que les États-Unis à ce titre. Un autre exercice a été mené par l'OCDE en utilisant des données du commerce bilatéral et des émissions de CO₂ concernant 41 pays/régions et 17 branches d'activité. Cette étude met en avant un déficit carbone pour les pays de l'OCDE (France : 134 Mt de CO₂ en 2000 soit 35 % d'émissions en plus) qui a augmenté depuis la précédente version pour la majeure partie d'entre eux, concourant à l'idée de délocalisation. Enfin, on peut également citer une étude qui a évalué, pour la France, les importations de CO₂ à 260 Mt et les exportations à 178 Mt. Ainsi, la consommation de CO₂ française serait de 82 Mt supérieure à sa production, soit un total de 499 Mt pour 2005.

Ces études apportent de précieux compléments à la vision de la répartition des émissions fournie par les inventaires nationaux et nourrissent des recherches très utiles sur les liens entre le commerce international, les émissions de gaz à effet de serre et les fuites de carbone potentielles. Elles posent cependant de redoutables problèmes méthodologiques et statistiques et imaginer reconstruire le système de mesure des émissions à partir de la demande serait d'une part très incertain et certainement très coûteux. Cette voie n'est donc sans doute pas la meilleure pour renforcer le dispositif de calcul et de vérification des émissions, par ailleurs indispensable pour atteindre un accord climatique crédible et contraignant au plan international.

En second lieu, on observe une inflexion dans l'évolution des émissions de notre pays au milieu de la décennie 2000. Jusqu'en 2005, nos émissions ont oscillé autour d'un plateau horizontal. Depuis 2005, elles semblent décliner d'un peu plus de 1,5 % par an en moyenne (avec une forte accélération avec la récession de 2009, non suivie d'un « effet de rebond » en 2010¹). Comment interpréter ce mouvement ? Une analyse plus fine des émissions par type de gaz et par secteur est présentée dans le complément 2. Sa complexité interdit toute conclusion hâtive. Plusieurs facteurs peuvent cependant être mentionnés : dégradation économique, envolée des prix de l'énergie, mais aussi premiers résultats observés de la mise en œuvre de mesures climatiques nationales et communautaires. Ce dernier point sera corroboré par la suite des analyses qui aboutissent à un résultat important pour les arbitrages à effectuer sur l'horizon 2020 : si on suppose une stricte application des mesures de politique climatique déjà prises au plan européen avec les règles en vigueur de l'ETS et de celles déjà décidées dans le cadre national du Grenelle de l'environnement, alors la France atteindrait ses engagements européens de 2020 sur les émissions de gaz à effet de serre compte tenu des réductions d'émission déjà opérées. Ce résultat est conditionné au maintien sur l'ensemble de la période des outils incitatifs prévus, et à la mise en œuvre effective des programmes d'investissements publics, dans un contexte budgétaire incertain.

(1) En 2010, les émissions de CO₂ liées à l'énergie de la France ont augmenté de 2,2 % par rapport à 2009. Mais l'année 2010 a été particulièrement froide si bien qu'elles auraient baissé de 0,6 % après correction du climat.

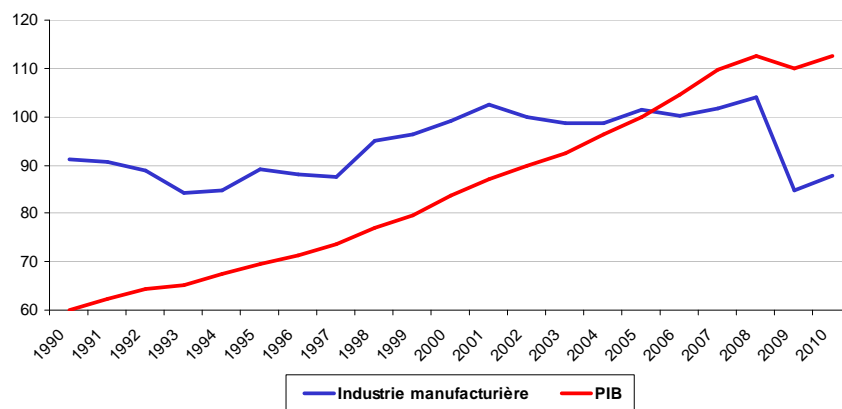
Graphique 4 : Évolution des émissions de gaz à effet de serre entre 1990 et 2009 de la France et de l'Union européenne (en indice, base 1990)



Source : CITEPA et AEE (estimation provisoire pour année 2010)

La troisième idée importante tirée de l'analyse rétrospective concerne le lien entre activité économique, emploi et émissions de gaz à effet de serre. Les ruptures à mettre en œuvre pour aboutir au « facteur 4 » doivent aller bien au-delà des progrès incrémentaux précédemment décrits. Il convient de réfléchir à la trajectoire vers l'économie sobre en carbone en termes de transformations structurelles, certaines activités, certains emplois, certaines consommations devant disparaître et d'autres apparaître. L'ensemble des membres du Comité s'est prononcé en faveur d'une ambition climatique pour l'Union européenne et de la France, qui aille de pair avec une redynamisation de l'économie, y compris dans sa partie industrielle. C'est la raison pour laquelle la dernière partie de notre rapport présente des propositions destinées à faire de l'objectif de décarbonation de notre économie, non plus une contrainte comme cela est souvent trop souvent présenté, mais un véritable levier de croissance économique, d'élargissement de l'emploi et de ré-industrialisation.

Graphique 5 : Évolution de la production industrielle manufacturière et du PIB (Indices, base 2005)



Source : Insee, présentation de Vincent Mages au Comité

3. Le « facteur 4 » français et le « facteur 5 » européen sont-ils compatibles ?

Du fait de l'inertie du système climatique, les décisions prises aujourd'hui en matière d'émissions de gaz à effet de serre ont des conséquences à très long terme. Une tonne de CO₂ relâchée aujourd'hui dans l'atmosphère exercera son pouvoir de réchauffement pendant plus de 100 ans. Choisir d'émettre ou non cette tonne impacte donc la concentration atmosphérique moyenne de CO₂ pendant un siècle avec des incidences sur le climat qui vont durer bien plus longtemps encore. Depuis son démarrage, la négociation climatique conduite dans le cadre des Nations Unies cherche à intégrer cette perspective du temps long dans la vie internationale (voir encadré). Tant les objectifs français que communautaire à l'horizon 2050 s'inscrivent dans ce cadre avec des références explicites aux travaux des climatologues synthétisés dans les rapports d'évaluation du GIEC.

Le « facteur 4 » a été calibré à partir des travaux issus du troisième rapport d'évaluation du GIEC dont un scénario phare visait une division par deux de l'ensemble des émissions de gaz à effet de serre dans le monde. Pour atteindre les objectifs d'émission de ce scénario en 2050, les pays développés devaient diviser par quatre leurs propres émissions. La France a été l'un des rares pays à transposer ce facteur 4 dans sa législation nationale.

Le GIEC, la cible de 2°C et le facteur 4-5

Les émissions de gaz à effet de serre d'origine humaine provoquent l'augmentation de la quantité de gaz à effet de serre dans l'atmosphère ce qui contribue au réchauffement de notre planète. Ce constat a été confirmé et affiné par le Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC)¹ dans son quatrième rapport publié en 2007. Celui-ci précise notamment que le réchauffement moyen constaté à la surface de la terre au cours du siècle écoulé s'élève à 0,74°C, et que le rythme d'accroissement actuel des concentrations de gaz à effet de serre provoquera un réchauffement moyen de 0,2 par décennie durant les trente prochaines années. Les températures pourraient ainsi augmenter, d'ici 2100, de 1,1°C à 6,4°C, suivant les différents scénarii.

Parallèlement, le GIEC dresse un tableau des possibles conséquences (disponibilité en eau, en nourriture, risques d'événements climatiques extrêmes, conditions sanitaires, niveau de la mer, etc.) en fonction de la température moyenne.

Une stabilisation de la concentration des émissions à 450 ppm serait compatible avec une hausse moyenne de la température de 2°C, niveau pour lequel les conséquences seraient encore acceptables. Cet objectif correspond selon le GIEC à une division des émissions d'un facteur deux à 2050 au niveau mondial. La fourchette des réductions d'émissions pour les pays de l'Annexe I dans leur ensemble se situe entre 25 % et 40 % en 2020 par rapport à 1990, et entre 80 % et 95 % en 2050, soit un facteur 5 à minima.

À la conférence de Cancún, l'objectif de limiter l'augmentation de la température globale à moins de 2°C au dessus de la température préindustrielle a été inscrit dans les accords cadres des Nations Unies sous l'égide de la CNUCCC. Il a été également

(1) Les travaux du GIEC s'articulent autour de 3 groupes de travail : le Groupe I évalue les aspects scientifiques de l'évolution du climat ; le Groupe II traite des questions relatives à l'impact du changement climatique et aux moyens de s'y adapter ; le Groupe III évalue les solutions envisageables pour limiter les émissions de gaz à effet de serre ou atténuer les effets des changements climatiques, y compris sous l'angle économique.

prévu de revisiter cet objectif d'ici 2015, à la lumière du prochain rapport d'évaluation du GIEC.

En octobre 2009, le Conseil européen s'est engagé sur un objectif de réduction des émissions de GES de 80 % minimum¹, pouvant aller jusqu'à 95 % en 2050, par rapport au niveau de 1990, objectif réaffirmé en février 2011. On peut donc parler d'un « facteur 5 ». Cette fourchette reprend les cibles que le quatrième rapport d'évaluation du GIEC a calculées pour l'ensemble des pays développés afin d'atteindre une division par deux des émissions mondiales d'ici 2050. Cependant, ni le Conseil européen ni la Commission n'ont pour le moment discuté ou précisé de la façon dont cette cible commune à 2050 devait être répartie entre les différents États membres.

Les informations réunies par le Comité montrent un degré élevé de compatibilité entre le facteur 4 français et le facteur 5 européen. En premier lieu, la réalisation du facteur 4 porterait les émissions françaises à moins de deux tonnes d'équivalent CO₂ par habitant en 2050 (1,94, voir tableau 47). Ce niveau est inférieur aux 2,18 requis en moyenne pour réaliser le facteur 5 dans l'ensemble de l'Europe. Ce résultat est principalement dû au niveau initialement plus faible des émissions par tête en France, par rapport à nos voisins européens résultant de la composante électrique de notre bouquet énergétique.

Tableau 3 : Cibles 2020 et 2050 de réduction des émissions de gaz à effet de serre (Six gaz à effet de serre du protocole de Kyoto, hors impacts des changements d'usage des sols)

| | | Europe (UE-27) | France |
|--|------|-----------------------|---------------|
| Emissions totales (MtCO₂e) | 1990 | 5 567 | 563 |
| | 2009 | 4 600 | 517,2 |
| | 2020 | 4 454* | 475* |
| | 2050 | 1 113** | 140** |
| Emissions par tête (t/habitant) | 1990 | 11,84 | 9,93 |
| | 2009 | 9,24 | 8,28 |
| | 2020 | 8,74* | 7,2* |
| | 2050 | 2,18** | 1,94** |

* 20 % de réduction par rapport à 1990 au plan européen et traduit au plan français suivant les règles de partage en vigueur.

** Facteur 5 européen et facteur 4 français.

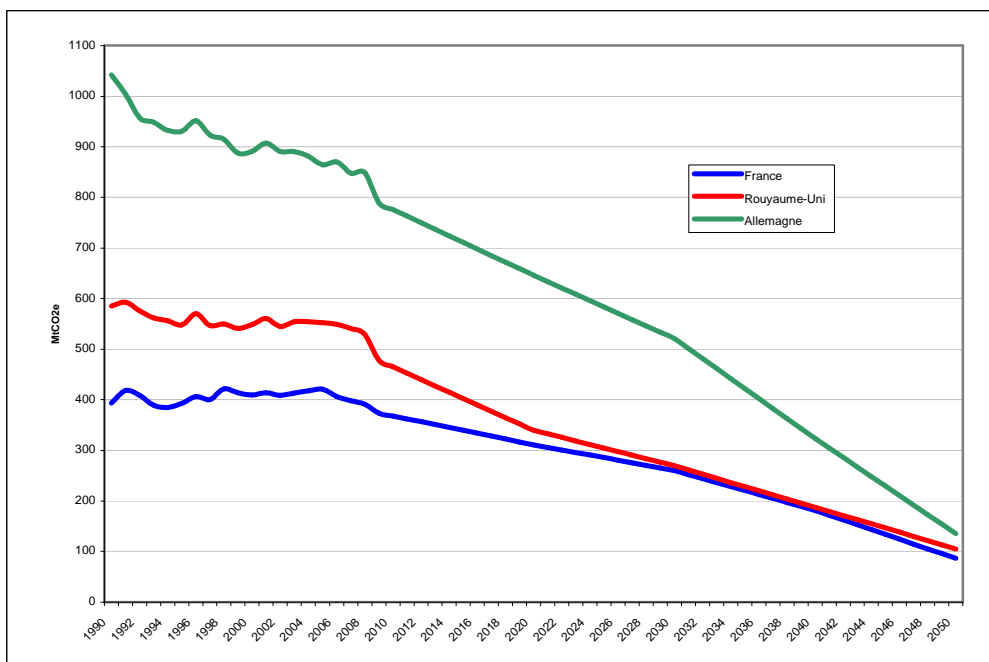
Source : Calculs CAS en utilisant les données démographiques de l'ONU (2011), World Population Prospect

C'est du reste la spécificité de ce mix énergétique qui conduit à un résultat intéressant en termes de projection. A la demande du Comité, une simulation a été réalisée avec le modèle POLES pour ventiler avec efficacité l'objectif de réduction d'émission de – 80 % entre les différents pays européens. Ses résultats sont présentés dans le graphique ci-dessous. Ils conduisent à une cible de – 77 % pour la France, voisin du « facteur 4 », contre – 81 % pour le Royaume Uni et – 86 % pour l'Allemagne, deux pays où il existe un plus large gisement de réduction à bas coûts en reconvertissant

(1) Extrait des conclusions du Conseil d'octobre 2009 : « It supports an EU objective, in the context of necessary reductions according the IPCC by developed countries as a group, to reduce emissions by 80-95 % by 2050 compared to 1990 levels ».

graduellement les centrales électriques fonctionnant au charbon et émettant le plus de carbone.

Graphique 6 : Trajectoires efficaces d'émissions de CO₂ énergétique à l'horizon 2050 dans le cas d'un point de passage à - 30 % par rapport à 1990 pour l'Union européenne



Source : Patrick Criqui (Simulation POLES)

Au vu de ces données et résultats, le Comité a considéré qu'il y avait une grande compatibilité entre le « facteur 4 » français et le « facteur 5 » européens qui sont deux expressions d'un même objectif : réduire en 2050 les émissions de gaz à effet de serre de façon suffisamment ambitieuse pour limiter les risques d'un réchauffement supérieur à 2°C. En conséquence les scénarios retenus dans les travaux du Comité se sont basés sur une cible nationale de division par quatre des émissions à l'horizon 2050.

4. Comment les objectifs européens et français s'intègrent dans la négociation climatique internationale ?

Qu'il s'agisse du facteur 5 européen ou du facteur 4 français, il est important de raccorder ces objectifs à la négociation climatique internationale. L'Europe est à l'origine d'un peu plus de 10 % des rejets mondiaux de gaz à effet de serre dans l'atmosphère et sa contribution relative diminue. L'atteinte de son objectif à 2050 ne permettrait en conséquence d'avancer de façon décisive vers la cible de 2°C qu'à deux conditions, bien identifiées par le GIEC et corroborées par les scénarios globaux présentés par l'Agence internationale de l'énergie au Comité :

- l'ensemble des pays industrialisés devrait adopter une même réduction de leurs émissions de 80 % à 95% à 2050 ;

- les pays émergents, sans prendre des engagements absolus d'ici 2020, devraient amorcer une inflexion de leur rythme d'émission de 15 % à 30 % par rapport au scénario tendanciel entre 2020 et 2050.

Au moment des travaux du Comité, aucune de ces conditions n'était réunie, ce qui risque de limiter l'impact de l'action européenne sur le réchauffement : dans le cas d'un scénario où l'Europe agit de façon unilatérale, le modèle POLES aboutit à une augmentation moyenne de la température de l'ordre de 4°C d'ici la fin du siècle. Faut-il alors pour autant en conclure qu'une action unilatérale de l'Europe risque de jouer contre ses intérêts ?

Ce serait négliger plusieurs bénéfices qui peuvent résulter du maintien de l'ambition climatique de l'Europe : en mettant en œuvre le facteur 5, l'Union européenne peut se créer de nouveaux avantages compétitifs sur les créneaux très porteurs de la croissance verte, en mettant en œuvre des changements structurels pour aller vers l'économie sobre en carbone. Un renforcement de l'ambition permettrait également de réduire la vulnérabilité à l'augmentation du prix de l'énergie ainsi que de contribuer à l'objectif européen de réduction de la dépendance énergétique. Enfin cela pourrait permettre de renforcer la crédibilité européenne dans la négociation internationale, voire inciter d'autres pays à s'engager dans des voies comparables compte tenu des enjeux concurrentiels. Il y a donc beaucoup de raisons qui militent en faveur d'un renforcement de l'ambition climatique unilatéral.

5. Quelle trajectoire viser entre aujourd'hui et 2050 ?

Sous le seul angle du réchauffement climatique, la trajectoire la plus intéressante à tracer, une fois la cible définie, est celle qui permet de descendre le plus rapidement vers le point final, car elle minimise le cumul des émissions. Or c'est cette grandeur, bien plus que le niveau de l'année finale, qui va influencer le rythme du réchauffement. Par exemple, atteindre la cible 5 en Europe en réduisant de 30 % les émissions dès 2020 conduit à un cumul des émissions entre 2010 et 2050 inférieur d'un cinquième à celui résultant d'une trajectoire restant sur l'objectif actuel de - 20 % en 2020.

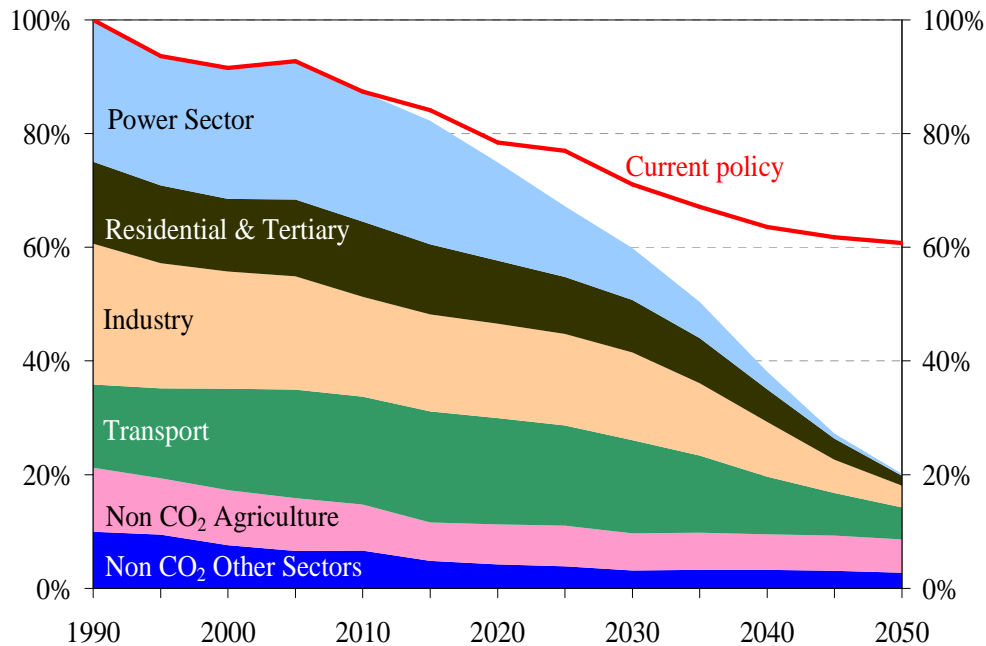
Pourtant, les scénarios visant une réduction de moitié des émissions des pays développés d'ici 2050 retiennent généralement des trajectoires dans lesquelles les réductions d'émissions sont plus lentes en début qu'en fin de période. C'est le cas des scénarios de l'Agence internationale de l'énergie comme de celui qui a été préparé par la Commission européenne. Dans les deux cas, ce profil résulte des contraintes de financement, des rythmes de diffusion des technologies bas carbone et des délais requis pour la réalisation des investissements destinés à changer les parcs de production énergétique, de bâtiments ou de moyens de transport.

Le document publié en 2011 par la Commission européenne, *A roadmap for moving to a low carbon economy in 2050*, présente des projections d'émissions à 2050 pour tenter d'évaluer, compte tenu des contraintes qui pèsent sur les investissements, du coût des technologies, du progrès technique, le point de passage à 2020 et 2030 qui permettrait de minimiser le coût total d'un objectif de long terme de 80 % en 2050. D'après la modélisation retenue par la Commission européenne, le chemin le moins coûteux pour y parvenir serait une cible de 25 % en 2020 et de 40 % en 2030. D'où le terme un peu barbare de « trajectoire coût-efficace ».

Cette trajectoire a été ventilée par grands secteurs économiques, en aboutissant aux résultats figurant sur le graphique ci-dessous. Au plan européen, on peut en retenir que l'ensemble des secteurs doivent être mis à contribution pour atteindre le facteur 5, mais ni dans les mêmes proportions, ni dans les mêmes rythmes. La contribution de la production électrique est la plus importante et correspond environ à la moitié des réductions d'émission obtenues d'ici 2020 et 2030. La réduction d'émissions du secteur des transports est faible jusqu'en 2030 mais s'accélère ensuite tandis que celle de l'agriculture est plus importante entre 2010 et 2030 qu'entre 2030 et 2050 ce qui repose sur une hypothèse de saturation des réductions d'émission des gaz autres que le CO₂ pouvant être obtenus par les changements des méthodes culturales et d'élevage. Les gains d'émissions obtenus dans les parcs de bâtiments ont tendance à s'accélérer assez régulièrement avec la diffusion graduelle de bâtiments neufs plus performants et un rythme des rénovations qui améliore progressivement les performances du parc ancien.

La construction de trajectoires françaises pour atteindre le facteur 4 reprend ces deux niveaux d'analyse utilisés dans l'exercice européen. Le chapitre III présente les travaux que le Comité a engagés au plan sectoriel, en identifiant les contraintes spécifiques à chaque secteur et en tentant de diagnostiquer les innovations de technologie ou d'organisation susceptibles d'accélérer demain les réductions d'émission et les conditions de leur acceptabilité économique et sociale. Le chapitre IV a pour sa part utilisé les résultats des travaux de modélisation que le Comité a pu réunir afin de s'assurer des cohérences intersectorielles et d'identifier les trajectoires apportant les meilleurs retours en termes économique et social. Mais, il apparaît que ces impacts économiques sont tributaires du type d'instruments mis en œuvre pour les atteindre. Or, au moins jusqu'en 2020, une partie des secteurs, communément appelés « secteurs ETS » (pour *Emission Trading Scheme*) sont sous la régulation européenne du système d'échange de quotas de CO₂ dans lequel les objectifs de réduction sont directement fixés au plan communautaire, alors que d'autres, dits « non ETS », se voient attribué un objectif communautaire général et sont tributaires des mesures décidées au plan national. Cette distinction entre secteur ETS et non ETS est particulièrement importante à avoir en tête pour comprendre les choix à opérer sur l'objectif 2020.

Graphique 7 : Réduction des émissions de l'Union européenne pour atteindre l'objectif de 80 % en 2050 dans le cadre d'une trajectoire coût-efficace



Source : Feuille de route climat à 2050, Présentation de Stefaan Vergote (Commission européenne)

La feuille de route climat à 2050 de la Commission européenne

La feuille de route de la Commission pour une économie sobre en bas carbone en 2050, dite « feuille de route climat 2050 », publiée début mars 2011, met en lumière des actions clés pour la transition vers une économie sobre en carbone de l'Union européenne, en vue de l'atteinte des objectifs de réduction des émissions à 2050.

Cette analyse basée sur un travail de modélisation montre que l'objectif de réduction des émissions à 2050 de 80 % de réduction des émissions domestiques¹ pourrait se faire de façon efficace par des réductions domestiques de 25 % en 2020, 40 % en 2030 et 60 % en 2040. Les mesures en place en Europe permettraient d'atteindre les objectifs de réduction de 20 % en 2020 mais elles devront être complétées par de nouvelles mesures afin de se positionner sur cette trajectoire et de minimiser les coûts totaux. En particulier, l'atteinte de l'objectif d'efficacité énergétique au titre des engagements « 20-20-20 d'ici 2020 » du Conseil européen de mars 2007 et de la stratégie Europe 2020 adoptée par le Conseil européen en juin 2010, permettrait de parvenir à des réductions domestiques de 25 % en 2020.

À plus long terme, la feuille de route détaille les trajectoires d'émission pour les différents secteurs en identifiant les principales ruptures technologiques et d'organisation qu'elles impliquent en soulignant que le renforcement des actions précoces est nécessaire pour atteindre les objectifs 2030 puis 2050.

Ces actions nécessiteront des investissements supplémentaires de l'ordre de 270 milliards d'euros par an, soit 1,5 % du PIB européen, portant l'investissement en Europe à 20,5 % du

(1) L'UE a pour objectif de réduire ses émissions de GES de 80 à 95 % en 2050 par rapport à 1990. Si l'UE réduit ses émissions domestiques de 80 %, l'atteinte des 95 % pourrait se faire via le recours aux mécanismes de flexibilité.

PIB (son niveau avant la crise). L'enjeu majeur porte sur le financement de ces investissements. Par ailleurs, la R&D devra être davantage financée (50 milliards d'euros en plus sur les dix prochaines années) pour favoriser une large pénétration des technologies propres.

Ces transformations apporteraient un certain nombre de co-bénéfices sur le poids de la facture énergétique (175 à 320 Md €/an d'économies), la qualité de l'air et les problèmes de santé liés à la pollution. Elles auraient cependant un effet négatif sur le PIB européen (- 0,1 à - 1,0 point de PIB en 2020, - 0,7 à - 2,0 point de PIB en 2030, d'après l'étude d'impact de la Commission, selon que le prix du carbone est ou non étendu à l'ensemble de l'économie et le type d'utilisation des revenus correspondants) et un effet de sens indéterminé sur l'emploi (- 0,1 à + 0,7 point en 2020, - 0,6 à + 0,4 point en 2030).

6. Le jalon 2020 et les choix politiques à prendre en Europe : faut-il remonter l'engagement de - 20 % ?

À horizon 2020, l'Union européenne s'est déjà engagée à réduire de 20 % ses émissions de gaz à effet de serre relativement à 1990, dans le cadre de sa stratégie sur le « 3 fois 20 »¹ endossée par le Conseil européen de mars 2007, selon laquelle à l'horizon 2020 elle devrait améliorer son efficacité énergétique de 20 %, porter la part des énergies renouvelables dans la consommation d'énergie finale à 20 % et diminuer ses émissions de GES de 20 % relativement à 1990. L'existence de trois cibles, dont seules les deux dernières sont juridiquement contraignantes est porteuse d'une certaine complexité et risque de générer des inefficacités économiques si certaines précautions ne sont pas prises.

Les objectifs et modalités des objectifs du Paquet énergie-climat

Le volet climat du « 3 fois 20 » a conduit à la communication du 23 janvier 2008 et à l'adoption du paquet législatif énergie-climat, reposant sur la distinction de deux objectifs :

1) Une réduction, au niveau communautaire, de 21 % entre 2005 et 2020 des émissions des installations soumises au système ETS. Le système ETS, qui couvre les 27 États-membres, ainsi que la Norvège, l'Islande et le Liechtenstein, concerne les émissions de CO₂ des secteurs intensifs en énergie telles que les installations de combustion, centrales électriques, raffineries, ainsi que les industries du ciment, métallurgie, verre, tuiles et briques, céramique, pâte à papier et papier/carton, soit 12 000 sites industriels responsables d'environ 50 % des émissions de CO₂ et 40 % des émissions de gaz à effet de serre européennes.

L'objectif européen de 21 % sur ETS n'est pas directement transposable au niveau national puisqu'il ne fixe pas les réductions ex ante. Les États membres comportant des installations avec des potentiels de réduction à bas coûts connaîtront des réductions plus importantes sur le secteur ETS. Actuellement, Les industries sous ETS reçoivent gratuitement des quotas sur la période 2008-2012.

Pour atteindre leur objectif, les installations sous ETS peuvent acheter des permis, mettre en œuvre des actions de réduction ou encore acheter des crédits issus de mécanismes de flexibilité (Mécanismes de développement propre – MDP ou Mise en œuvre conjointe – MOC²).

(1) Communication de la Commission du 10 janvier 2007 (COM (2007)2) « Limiter le réchauffement de la planète à 2 degrés Celsius - Route à suivre à l'horizon 2020 et au-delà ».

(2) Les MDP et MOC sont des mécanismes de flexibilité prévus par le protocole de Kyoto, dont la réduction d'émissions (respectivement) dans les pays hors Annexe I et Annexe I donnent droit à des quotas carbone, qui peuvent ensuite être échangés sur le marché européen ou être comptabilisés dans

À partir de 2013, trois modifications majeures ont été introduites : 1) la quasi-totalité de l'allocation des quotas au secteur électrique par enchères dès 2013 ; les autres secteurs devront acquérir une part croissante de quotas par enchères, sauf s'ils sont considérés comme exposés à un risque de fuite de carbone. Dans ce cas leur allocation reste gratuite mais limitée au prorata d'une référence calculée sur les installations les plus performantes (benchmarks) ; 2) les quotas non utilisés peuvent être conservés pour plus tard (dispositif dit de banking), et 3) il est possible d'utiliser des crédits carbone issus de mécanismes de projets Kyoto, jusqu'à un montant correspondant à 13,5 % de l'allocation en moyenne. À partir de 2012, le système ETS recouvrira également l'aviation internationale (i.e. les émissions des compagnies aériennes au cours de leurs vols européens) et, à partir de 2013, le N₂O et les gaz fluorés de certains procédés industriels.

2) Une réduction de 10 % entre 2005 et 2020 au niveau communautaire des émissions des secteurs hors ETS, soit principalement les secteurs des bâtiments, transports, déchets et agriculture, ainsi que les petites installations industrielles. Cet objectif communautaire a été décliné en objectifs nationaux contraignants. Dans ce cadre, la France doit ainsi réduire de 14 % ses émissions hors ETS¹ entre 2005 et 2020. Concrètement, les États membres devront respecter une trajectoire linéaire de réduction des émissions entre 2013 et 2020 qui sera vérifiée tous les ans par la Commission. En cas de non atteinte de l'objectif, l'État membre doit lui remettre un rapport présentant des actions correctives, à défaut de quoi la Commission peut engager une procédure d'infraction à l'encontre de l'État membre concerné. Les émissions au-delà de l'objectif annuel devront être compensées l'année suivante avec un facteur de pénalisation de 1,08. Pour atteindre leurs objectifs, outre les actions domestiques, les États membres disposent de plusieurs mécanismes de flexibilité.

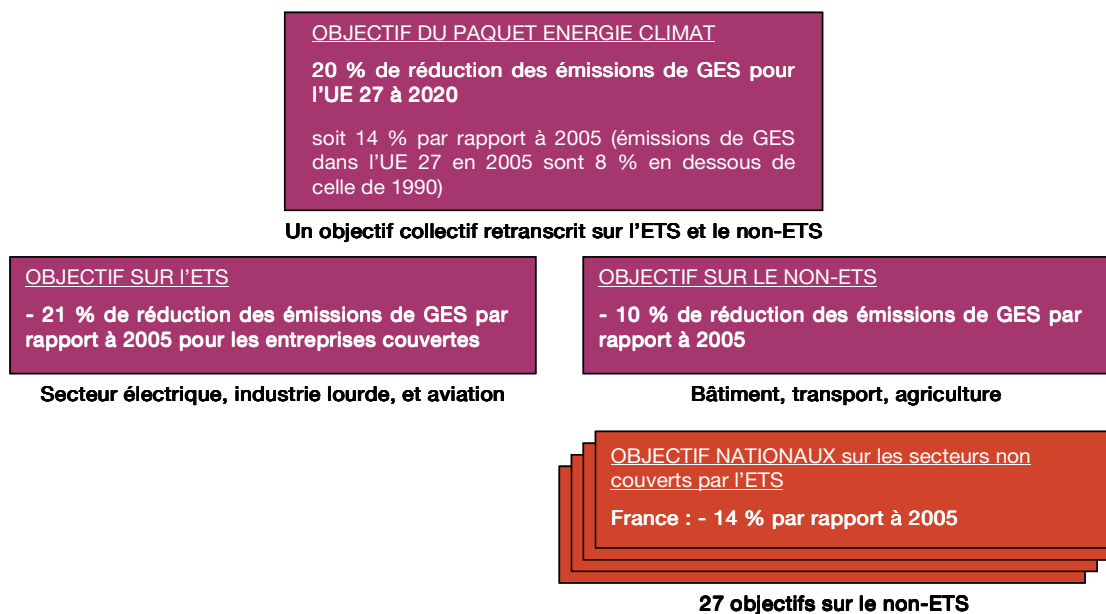
En ce qui concerne l'objectif de réduction des émissions de gaz à effet de serre, l'important est de comprendre que l'objectif de - 20 % entre 1990 et 2020 au niveau communautaire et son éventuel rehaussement à - 25 % ou - 30 % ont deux types d'implications différentes suivant les secteurs concernés :

- les usines de production énergétique et les installations industrielles lourdes et fortement émettrices du type cimenteries, aciéries, usines de verre, de papier, ... qui représentent environ la moitié des émissions communautaires de CO₂, sont intégrées dans le système de plafonnement et d'échange de quotas de CO₂ directement géré au plan communautaire. Pour ces secteurs, l'objectif 2020 a été traduit dans les règles de la troisième phase du marché européen, sous la forme d'un plafond d'émission en recul de - 21 % relativement aux émissions de 2005. Ce plafond s'applique à l'ensemble des 12 000 installations européennes soumises au système.
- le transport, l'agriculture, les bâtiments, la gestion des déchets et les petites installations industrielles ne sont pas intégrés dans le système européen des quotas de CO₂. Pour ces activités, dites « hors-ETS », l'objectif global du Paquet énergie-climat a été traduit par une cible européenne contraignante de 10 % par rapport à 2005 (contre - 21 % pour le secteur ETS). Cette cible de 10 % a ensuite été déclinée en autant d'objectifs nationaux que de pays de l'Union (voir Graphique 8 ci-dessous). Dans ce cadre, la France s'est engagé sur un objectif de réduction de ses émissions « hors-ETS » de 14 % entre 2005 et 2020. La traduction de cet engagement en termes d'objectifs et de mesures sectoriels s'est principalement effectuée à travers le Grenelle de l'environnement.

les émissions nationales des États. Afin de limiter leur afflux sur le marché de quotas, leur utilisation est limitée à 50 % de l'ensemble des réductions européennes, soit quelques 1 600 millions de quotas sur la période 2008-2020.

(1) Les objectifs ont été fixés en prenant en compte le PIB/habitant des États membres.

Graphique 8 : La déclinaison de l'objectif de réduction de 20 % des émissions entre secteurs ETS et non ETS



Source : Commission européenne

Ajoutons enfin que les décisions prises en matière de règles de fonctionnement du système européen d'échanges de quotas ont deux types de répercussions nationales :

- d'une part, à partir de 2013, les États-membres vendront aux enchères les quotas qui ne sont pas alloués gratuitement suivant une clef fixe de répartition entre États-membres définie par la directive (5,3 % de la quantité totale de quotas à mettre aux enchères revient à la France). En retenant les hypothèses de prix du carbone fournies la Chaire économie du climat de l'Université Paris-Dauphine, cela pourrait représenter des recettes annuelles moyennes comprises entre 0,7 à 1,8 milliard d'euros pour l'État français sur la période. Ces travaux montrent que tout abaissement supplémentaire du plafond d'émission conduirait, toutes choses égales par ailleurs, à un relèvement du prix du quota de CO₂ et donc à un accroissement des recettes pour l'État français, issu du prélèvement sur les entreprises sous quotas ;
- d'autre part, la France a choisi de mettre en place, à l'instar d'autres pays européens comme l'Allemagne, la Suède ou l'Espagne, un dispositif dit de « projets domestiques ». Celui-ci permet de créditer des réductions d'émissions qui ont lieu sur le sol français dans le secteur non ETS. Si un tel système était maintenu, voire étendu, en troisième période, il permettrait de lancer une incitation à réduire les émissions d'autant plus grandes dans le secteur non ETS que le prix du quota de CO₂ augmenterait.

Au total, la coexistence d'une régulation européenne et d'une régulation nationale en matière de réduction des émissions de gaz à effet de serre implique que chaque gouvernement de l'Union européenne prenne en compte plusieurs paramètres pour fonder sa position sur le relèvement de l'objectif de réduction de 20 à 25 ou 30 % : la façon dont l'objectif se partage entre secteur ETS et secteur non ETS, la manière dont

l'objectif hors-ETS est partagé entre les 27 États membres, les implications attendues sur le prix du carbone et le produit des enchères ; la nécessité ou non de mettre en œuvre des mesures nationales additionnelles et de les financer rapidement ; l'intégration de la cible 2020 dans les trajectoires « coût efficaces » qui peuvent être visées dans le pays s'il existe une cible nationale à l'horizon 2050.

Au plan communautaire, les résultats de la feuille de route peuvent s'interpréter de la façon suivante : un relèvement à 25 % de l'objectif de réduction d'émission permettrait d'emprunter une trajectoire « coût-efficace » dont les moyens ne sont cependant pas explicitement détaillés. Aller plus loin, par exemple vers un objectif de 30 %, impliquerait soit d'utiliser des mécanismes de flexibilité externe (consistant à créditer des réductions d'émission réalisées en dehors de l'Union européenne), soit de mettre en place des instruments différents.

Pour documenter les impacts de la position française face à un passage à - 25 ou - 30 %, le Comité a organisé ces travaux de la façon suivante : pour viser le point d'arrivée du facteur 4, trois scénarios complémentaires ont été construits qui retiennent des ambitions croissantes pour 2020. L'analyse de leur faisabilité a fait l'objet de discussions prenant notamment en considération l'analyse des mesures qui ont déjà été prises. Ce travail est présenté dans le chapitre III du présent rapport. Le diagnostic des incidences économiques et sociales de ces différents scénarios a été dressé à partir des travaux des équipes de modélisation existantes et est présentée au chapitre IV. Le Comité a par ailleurs souhaité qu'une analyse détaillée des choix retenus par nos partenaires européens soit réalisée. Ses principaux résultats figurent au chapitre II.

7. Faut-il introduire d'autres jalons intermédiaires et les proposer au plan européen ?

Parmi ces partenaires, certains ont mis en place des systèmes d'objectifs intermédiaires qui peuvent dans certains cas glisser dans le temps, et sont généralement révisables en fonction de l'évolution du contexte. Ces cibles semblent répondre à deux impératifs, souvent mis en avant par les industriels, mais qu'il est difficile de rendre pleinement compatibles : d'une part, l'exigence d'une grande flexibilité pour pouvoir s'adapter en cours de route et faire face aux différents chocs qui ne manqueront pas de se produire d'ici 2050 et qu'aucun exercice de prospective n'aura vu venir ; d'autre part, la nécessité d'une plus grande prévisibilité du cadre institutionnel et des politiques publiques suivies permettant aux industriels de définir leur stratégie d'investissement avec un horizon intégrant un objectif à 2030.

Totalement concilier ce besoin de prévisibilité avec la capacité d'adaptation à l'imprévu semble difficile dans le monde d'incertitude croissante dans lequel nous devons opérer nos choix. Sous cet angle, notre Comité n'a pas plus que d'autres les moyens de résoudre la quadrature du cercle. Par contre, il lui a semblé utile de préciser le rôle que pourrait jouer un objectif à 20 ans, 2030 dans le présent exercice, dans la formation des anticipations des acteurs. Par ailleurs, il s'est interrogé sur la pertinence du maintien de la date de 2050 comme cible de long terme : un objectif glissant à 50 ans exigerait en effet qu'on cale dès à présent l'objectif de long terme sur l'année 2060.

Ces considérations peuvent sembler triviales tant qu'il ne s'agit que de travaux prospectifs. Mais les économistes du climat savent combien le choix des dates et la précision des périmètres couverts par les engagements sont importants sitôt qu'on veut intégrer dans la vie économique une valeur carbone pour guider nos décisions de court et de long terme.

Ce que font nos partenaires européens

Bien qu'ils soient liés par des objectifs communs en matière de politique climatique, les différents pays européens présentent une grande diversité de situations, aussi bien en ce qui concerne l'évolution de leurs émissions que les instruments de politique mis en place. C'est pourquoi le comité a souhaité mieux comprendre les politiques menées par nos partenaires européens, en réunissant un grand nombre d'informations comparatives et en auditionnant des représentants de certains États membres. Les résultats détaillés de ces travaux sont réunis dans le complément n° 3 du rapport. Après avoir rappelé les données de base sur le contexte, ce chapitre étudie successivement les démarches innovantes mises en place chez nos partenaires européens en matière de gouvernance, d'organisation du secteur électrique, de R&D, d'incitations à l'égard du secteur diffus et d'instruments de financement.

1. Les émissions de GES en Europe : des évolutions à géométrie variable

En premier lieu, il est bon de rappeler que le périmètre de l'Union européenne a varié entre 1990 où elle regroupait 15 membres et 2011 avec 27 membres. Ceci conduit à une première distinction entre les 12 nouveaux États-membres (UE-12) et les membres « historiques » regroupés dans l'UE-15.

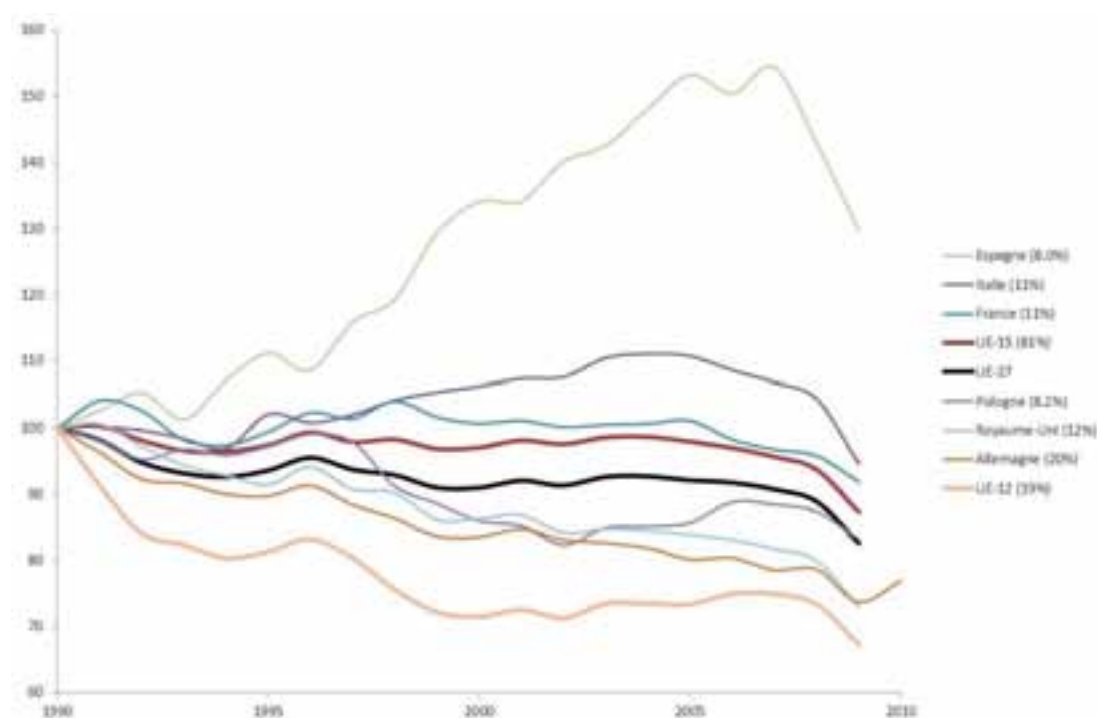
L'UE-12 a adopté une bonne partie des instruments de la politique climatique européenne (et notamment l'ETS) au titre de « l'acquis communautaire »¹. Cette adoption est intervenue au début de la décennie 2000, alors que la plupart de ces pays avaient connu durant les années quatre-vingt-dix de très vives contractions de leurs émissions du fait de la restructuration de leurs économies consécutive à la sortie du système d'économie planifiée. Entre 1990 et 2000, les émissions de l'UE-12 ont ainsi reculé de près de 30 %, donnant à ces pays beaucoup d'avance sur leurs objectifs Kyoto et même dans la plupart des cas sur les objectifs à 2020 du paquet énergie-climat. À partir de 2000 s'est ouverte une nouvelle période de croissance économique dans ces pays, d'où une progression de leurs émissions entre 2000 et 2008. Ces éléments de contexte expliquent, en partie, les positions généralement

(1) Lorsqu'un pays rejoint l'Union européenne, il doit mettre sa législation interne en conformité avec les règles communautaires. On dit alors qu'il reprend « l'acquis communautaire ». En matière de politique climatique, les douze pays d'accessions n'avaient pas encore rejoint l'Union lors de la négociation du protocole de Kyoto et de la rédaction de la directive mettant en place le système européen d'échange de quotas de CO₂.

assez réticentes de l'UE-12 face au rehaussement des objectifs de la politique climatique européenne.

Au sein de l'UE-15, les émissions agrégées ont globalement stagné pour ensuite diminuer à partir de 2003, le phénomène s'accéléralant avec la crise économique actuelle. Au sein de l'UE-15, les pays ont connu des trajectoires individuelles très différentes qui sont décrites plus en détail dans les compléments 2 et 3 du rapport. Pour le moment, la crise économique n'a pas été suivie d'un effet rebond très marqué, comme il a déjà été mentionné au chapitre I.

Graphique 9 : Comparaison des évolutions des émissions de GES de l'UE 15 et de l'UE-12 entre 1990 et 2009 (Base 100 = 1990)



Source : AEE

L'Allemagne et le Royaume-Uni ont tous deux connu des diminutions fortes de leurs émissions durant les années quatre-vingt-dix résultant du recul de l'usage du charbon dans la production électrique, des restructurations industrielles dans les nouveaux Länder en Allemagne et du recul des émissions de gaz non CO₂ principalement dans l'industrie chimique. La France a connu une évolution proche de la moyenne communautaire. La plupart des pays méditerranéens ont connu des hausses plus significatives de leurs émissions, à l'image de l'Espagne ou encore l'Italie dont les émissions ont cru respectivement de + 50 % et + 10 % entre 1990 et 2005.

Ces données en évolution doivent être rapprochées des données en niveaux qui complètent le panorama (voir tableau 5). L'Allemagne est un bon exemple : elle reste un des pays de l'Union avec les plus fortes émissions par habitant et les plus fortes émissions par point de PIB, malgré la réduction sensible observée entre 1990 et 2009 (- 26 %). Les choix énergétiques de départ, généralement liés aux ressources

disponibles, ont conduit certains pays, tels que l'Allemagne ou la Pologne, à conserver une prépondérance du charbon dans la production électrique, en partie pour des raisons de sécurité énergétique. Les écarts d'émission par habitant s'expliquent en large partie par ces choix électriques et positionnent avantageusement la France en dessous de la moyenne communautaire du fait de sa production électrique à base de nucléaire et d'hydraulique. De son côté, la Suède a pris très tôt le parti de réduire sa dépendance énergétique, en s'appuyant sur le nucléaire et les renouvelables (hydraulique et biomasse principalement), mais aussi en réduisant fortement sa demande énergétique par des actions importantes sur l'efficacité énergétique conduites à partir d'une fiscalité carbone unique en Europe. Elle est d'assez loin le pays européen ayant atteint les plus faibles émissions de gaz à effet de serre par habitant ou par unité de PIB.

Tableau 4 : Panorama des émissions de gaz à effet de serre dans sept pays européens - Indicateurs en émissions de gaz à effet de serre

| | Allemagne | Royaume-Uni | Italie | France | Espagne | Suède |
|---|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Émissions 1990-2007 | - 21,5 % | - 18,3 % | + 6,8 % | - 3,3 % | + 54 % | - 9,2 % |
| Émissions 1990-2010 | - 23,5 % | - 24,8 % | - 4,8 % | - 6,8 % | + 26,0 % | - 11,1 % |
| Émissions par habitant* | 11,9 tCO _{2eq} | 10,4 tCO _{2eq} | 9,3 tCO _{2eq} | 8,8 tCO _{2eq} | 9,8 tCO _{2eq} | 6,4 tCO _{2eq} |
| Émissions par PIB (ppp)* | 345 gCO _{2eq} /\$ | 293 gCO _{2eq} /\$ | 308 gCO _{2eq} /\$ | 262 gCO _{2eq} /\$ | 322 gCO _{2eq} /\$ | 191 gCO _{2eq} /\$ |
| Objectif en 2020 | - 40 % par rapport à 1990 | - 34 % par rapport à 1990 | Non chiffré | Non chiffré | Non chiffré | - 40 % par rapport à 1990 |
| Objectif en 2050 | - 80 % par rapport à 1990 | - 80 % par rapport à 1990 | Non chiffré | Facteur 4 | Non chiffré | 0 émission |
| Objectif du Paquet énergie-climat sur le non-ETS | - 14 % | - 16 % | - 13 % | - 14 % | - 10 % | - 17 % |
| Émissions sectorielles* (tCO_{2eq}/hab) | | | | | | |
| Energie | 4,70 | 3,48 | 2,72 | 1,05 | 2,76 | 1,1 |
| Transport | 1,87 | 2,12 | 2,16 | 2,24 | 2,40 | 2,32 |
| Industrie | 2,50 | 1,82 | 1,93 | 1,89 | 2,36 | 1,99 |
| Rés/Tert | 1,56 | 1,66 | 1,38 | 1,61 | 0,85 | 0,46 |
| Autres | 1,24 | 1,33 | 1,13 | 2,02 | 1,44 | 1,31 |

* Valeurs pour 2007, pour éviter de comptabiliser « l'effet crise »

Source : CAS, d'après AEE, FMI, CCNUCC

La mise en place du Paquet énergie-climat et plus récemment la feuille de route européenne a accéléré l'adoption par les États-membres de plans et programmes visant à réduire les émissions. Les informations réunies dans ce panorama montrent une grande diversité de la situation des pays tant vis-à-vis des objectifs inscrits dans Kyoto que par rapport à ceux du Paquet énergie-climat. Ceci contribue à éclairer les positions prises par les différents pays au sujet de l'objectif 2050 et des jalons intermédiaires, notamment celui de 2020.

2. Le positionnement des pays par rapport aux objectifs 2020 et 2050

Le positionnement des différents pays par rapport aux objectifs climatiques doit en premier lieu être examiné à la lumière de l'évolution historique décrite au paragraphe précédent. Comme le montre le tableau 6, pour les douze pays d'accession récente à l'Union européenne et pour des pays comme l'Allemagne ou le Royaume Uni, atteindre des objectifs de réduction d'émission fixés par rapport à 1990 est facilité par l'existence de trajectoires d'émission en forte baisse entre 1990 et 2005, pour des raisons étrangères à toute considération de politique climatique. C'est la raison pour laquelle Allemagne et Royaume-Uni ont du reste pris des engagements de réduction domestiques plus ambitieux que la moyenne communautaire (voir tableau 5). À l'opposé, des pays comme l'Espagne ou l'Italie ont continué d'augmenter leurs émissions entre 1990 et 2005, ce qui accroît la difficulté d'atteinte d'objectifs fixés relativement à 1990. La France est dans une situation intermédiaire, proche de la moyenne de l'UE-15, pour qui un objectif fixé relativement à 1990 ne change pratiquement pas la donner relativement à un objectif fixé relativement à 2005.

Ces considérations de chiffres peuvent apparaître techniques. Elles sont cependant majeures pour traduire les objectifs de réduction de l'Union européenne entre ses États membres, et comprendre le positionnement de certains pays face à la question d'un éventuel rehaussement des objectifs de réduction d'émission en 2020.

Tableau 5 : Les cibles 2020 et 2050 ramenées à l'année 2005

| | Émissions 1990 | Émissions 2005 | | Variations d'émission sur 2005 pour atteindre | | |
|-------------|-----------------------|-----------------------|--------|---|----------------|----------------|
| | MTCO ₂ equ | MTCO ₂ equ | %/1990 | - 20 % en 2020 | - 30 % en 2020 | - 80 % en 2050 |
| UE-15 | 4 265 | 4 178 | - 2 % | - 18 % | - 29 % | - 80 % |
| UE-12 | 1 324 | 971 | - 27 % | 9 % | - 5 % | - 73 % |
| Allemagne | 1 248 | 1 000 | - 20 % | 0 % | - 13 % | - 75 % |
| Royaume-Uni | 776 | 651 | - 16 % | - 5 % | - 17 % | - 76 % |
| Italie | 519 | 575 | 11 % | - 28 % | - 37 % | - 82 % |
| Suède | 72 | 68 | - 7 % | - 14 % | - 25 % | - 79 % |
| France | 563 | 569 | 1 % | - 21 % | - 31 % | - 80 % |
| Espagne | 283 | 434 | 53 % | - 48 % | - 54 % | - 87 % |

Source : Calculs Comité à partir de données de l'Agence européenne de l'environnement

Les débats sur un éventuel relèvement de l'objectif européen de réduction de ses émissions pour 2020 s'articulent globalement entre un groupe de mieux disant en

matière climatique (Suède, Allemagne, Royaume-Uni, Danemark), et un groupe constitué des nouveaux États membres et de l'Italie, très réticents à toute évolution de la position actuelle. Les positions au sein de ces groupes sont évidemment contrastées (voir Tableau 7) : la Hongrie, lorsqu'elle assumait la présidence de l'UE s'était montrée plutôt constructive, alors que la Pologne semble vouloir revenir sur les acquis même du Paquet énergie climat. Au milieu on trouve un certain nombre d'États comme la France qui n'ont pas pris position clairement dans le débat, et essaient de limiter la polarisation de ce débat en cherchant des positions intermédiaires.

Le Royaume-Uni est à ce jour le seul pays à avoir une position assumée par l'ensemble du gouvernement en faveur d'un passage à un objectif de - 30 % dès 2020. Le pays a adopté des objectifs ambitieux inscrits dans la législation nationale. Enfin, le Royaume-Uni est à l'origine d'une tribune en mars à l'occasion de la publication de la feuille de route 2050, qui engage l'UE à considérer un passage à - 30 %. Cette tribune a été cosignée par 6 ministres de l'environnement d'autres pays. Mais aucun de ces autres pays n'a encore pris une position totalement tranché au niveau européen, à l'image de l'Allemagne où des différends semblent subsister entre le ministère de l'environnement, clairement favorable à un passage à - 30 %, et le ministère des finances, plus réticent comme l'a clairement indiqué le représentant du ministère de l'Environnement lors de son audition par le Comité.

Tableau 6 : positions exprimées par les différents pays européens relativement aux objectifs 2050 et 2020

| | Positionnement sur le relèvement des objectifs à 2020 | Positionnement sur la feuille de route européenne à 2050 |
|-----------|---|---|
| France | À définir | Accueil positif : bonne démarche, intérêt d'une vision de long terme |
| Allemagne | Soutien du ministère de l'Environnement | Accueil positif : mise sur l'efficacité énergétique |
| UK | Soutien actif du gouvernement | Favorable : discussions sur les instruments permettant d'aller vers des objectifs plus ambitieux, objectifs domestiques |
| Suède | Favorable | Favorable : proposition que les « milestones » deviennent des objectifs contraignants |
| Danemark | Favorable | Accueil positif |
| Espagne | Favorable: annonce à Cancun | Accueil positif |
| Portugal | Favorable: conditionnalité ne marche pas | Accueil positif |
| Belgique | Favorable | Accueil positif |
| Grèce | Favorable (signataire de la tribune UK) | Accueil positif |
| Pays-Bas | Défavorable : rester lié aux évolutions dans les négociations internationales | Souhaite garder la possibilité de réviser les jalons, souligne l'incertitude de modélisation de long terme |

| | Positionnement sur le relèvement des objectifs à 2020 | Positionnement sur la feuille de route européenne à 2050 |
|----------|---|--|
| Autriche | Défavorable : lié aux évolutions internationales Ne tiendra pas son objectif Kyoto | |
| Italie | Défavorable : pénaliser la compétitivité industrielle ; lien contexte international | Souhaitait également lier le 25% à la situation internationale |
| Pologne | Défavorable : risque de perte de compétitivité; influence forte du secteur électrique/charbon | Position dure ; pas de mention de chiffre pour 2020; souligne les incertitudes |
| Roumanie | Défavorable | Hostile à la mention de jalon pour 2020 |

Source : DAEI

Pour les pays réticents, la politique climatique de l'UE est synonyme de coûts importants et de perte de compétitivité pour ses entreprises, et un relèvement des objectifs ne peut se faire que dans un contexte international favorable, où les compétiteurs de l'UE adopteraient également des mesures. La plupart des nouveaux États membres, s'ils se montrent plutôt réticents par principe, sont surtout vigilants aux clés de répartition d'un éventuel effort supplémentaire, et à l'application de la solidarité européenne. La position de la Pologne est ainsi apparue particulièrement dure, n'hésitant pas à bloquer l'adoption de conclusions du Conseil sur la feuille de route 2050 en refusant toute mention de chiffre pour 2020 sur la trajectoire coût-efficace, alors même que ses conclusions précisaient que ce chiffre pourrait être atteint dans le cadre du Paquet énergie-climat, si l'objectif d'efficacité énergétique était atteint.

Les rapports nationaux que devrait remettre la Commission fin novembre, ainsi que les analyses supplémentaires conduites sur le second semestre 2011 et la feuille de route Énergie à paraître le 23 novembre, devraient apporter de nouveaux éléments au débat. Les négociations en cours sur les perspectives financières 2014-2020 de l'Union européenne sont aussi un élément pouvant jouer – positivement ou négativement selon les orientations qui seront prises – dans les négociations sur la feuille de route et l'éventuel renforcement de l'objectif 2020.

Une caractéristique commune aux pays plutôt favorables à un rehaussement est d'avoir mis en place des programmes nationaux destinés à mieux intégrer les objectifs climatiques avec des instruments de développement économique, industriel et social. La suite du chapitre s'attache à mettre en relief les instruments innovants qui ont été mis en place à cet effet dans certains pays et notamment ceux dont le Comité a pu auditionner les représentants : Allemagne, Royaume-Uni, Suède.

3. Les modes de gouvernance de la politique climatique

Trois lignes de force communes caractérisent la mise en œuvre des politiques climatiques allemande, britannique et suédoise :

- l'existence d'un large consensus politique et social sur les objectifs à moyen et long terme en matière de réduction d'émission et des instruments qui y sont

associés. Ainsi, la taxation du carbone en Suède, pivot de la stratégie climatique du pays, fut introduite en 1991 par un gouvernement social démocrate puis consolidée par les gouvernements de coalition de centre droit qui lui succédèrent. De même, l'alternance plus récente travaillistes/conservateurs n'a en rien modifié les orientations de la politique climatique britannique ;

- ce consensus favorise la mise en place de stratégies de long terme, apportant une meilleure visibilité et prévisibilité de l'action publique pour les acteurs économiques et sociaux ;
- il est enfin l'occasion de mise en place de systèmes de gouvernance originaux et spécifiques au climat, comme en Allemagne la création d'un fonds public pour la gestion du produit des enchères de quotas du marché ETS ou encore la possibilité d'une programmation pluriannuelle de l'évolution de la taxe carbone en Suède dont les relèvements du taux sont aujourd'hui connus jusqu'en 2015. C'est sans doute le Royaume-Uni qui est allé le plus loin dans la mise en place d'un cadre institutionnel innovant pour gérer la politique climatique.

Le *Climate Change Act* adopté en 2008 a introduit dans la législation britannique l'objectif d'une réduction d'au moins 80 % des émissions de gaz à effet de serre en 2050. Il a simultanément prévu un véritable système de gouvernance dans lequel la politique climatique est fondée sur l'expertise scientifique. Sous l'angle institutionnel, cette articulation entre l'expertise, l'évaluation et la décision politique s'est traduite par la création d'un organisme indépendant, appelé le *Committee of Climate Change*, composé de scientifiques et économistes reconnus. Ce comité est chargé de formuler des recommandations relatives aux objectifs d'émissions mais aussi aux instruments et mesures à mettre en œuvre. Il assure également une fonction d'évaluation indépendante de la politique climatique qui documente notamment les discussions au Parlement. Ses recommandations et évaluations concernent en particulier les *Carbon Budgets* qui sont une seconde spécificité de l'action publique britannique issue de *Climate Change Act*.

Les *Carbon Budgets* sont des objectifs d'émissions fixés sur des périodes de 5 ans, votés par le Parlement et donc considérés comme légalement contraignants. Le Royaume Uni s'est d'ores et déjà doté de quatre *Carbon Budgets*, qui couvrent les périodes quinquennales de 2008-2012 à 2023-2027, soit au-delà de l'échéance du Paquet Energie Climat. Ce système permet de donner une vision de moyen terme aux investisseurs. Le découpage de la trajectoire en plusieurs plans introduit une certaine flexibilité dans le système. Les plans sont construits au fur et à mesure, ce qui permet de prendre en compte les progrès réalisés et ainsi d'« ajuster le tir ». Le débat européen autour de la cible à 2020 fait entrer un paramètre supplémentaire pour les premiers *Carbon Budgets*, car même si l'objectif britannique est un objectif domestique, le coût engendré par la politique climatique sera dépendant des décisions européennes. La part des émissions réduites par les industries britanniques soumises à l'ETS dépendra notamment de l'objectif fixé à 2020 sur l'ETS, ainsi que le montant des revenus attendus de la mise aux enchères des quotas de CO₂. Le gouvernement prévoit donc de rediscuter la cible des premiers *Carbon Budgets* en 2014, une modification des objectifs ne pouvant être décidée par le seul exécutif.

4. Une panoplie d'instruments pour orienter le secteur électrique vers le bas carbone

La libéralisation du secteur électrique a été une politique conduite au plan communautaire depuis deux décennies, qui s'est traduite par des situations nationales complexes et variées. La transition vers l'économie sobre en carbone nécessite une profonde réorganisation tant de la production que de la distribution de l'électricité ce qui implique de trouver les bonnes incitations. Or, le marché électrique souffre de nombreuses imperfections qui justifient des interventions publiques, y compris dans les pays d'orientations libérales comme le Royaume-Uni dont la réforme du marché électrique est analysée plus en détail dans le complément n° 3.

La production électrique est de loin en Europe le premier secteur économique soumis à l'ETS et donc confronté à un signal prix du carbone. Si les études d'évaluation *ex-post* montrent que l'introduction d'un prix du carbone a bien modifié la gestion du parc existant (notamment l'ordre dans lequel on appelle les centrales électriques, le prix du carbone défavorisant celles émettant le plus de CO₂), ce marché ne semble pas jusqu'à présent faire émerger un prix du CO₂ qui modifie suffisamment les anticipations des industriels et leurs programmes d'investissement. D'où la superposition à ce dispositif communautaire de mesures destinées notamment à favoriser la transition vers les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique.

Le développement des énergies renouvelables dans les pays européens passe par des instruments économiques. Certains pays ont fait **le choix de l'instrument quantité** (*Green Certificates*, encore appelés *Renewable Obligations* octroyés par le régulateur et qui peuvent être vendus aux producteurs pour respecter leur obligation de production électrique d'origine renouvelable) – c'est le cas du Royaume-Uni, de la Suède, de l'Italie, et de la Pologne –, alors que d'autres, tels que l'Allemagne, l'Espagne, l'Italie (pour l'électricité photovoltaïque) ou encore la France, ont opté **pour un instrument prix**, soit le tarif d'achat (obligation d'achat de l'électricité d'origine renouvelable à un tarif défini à l'avance), dont les modalités varient d'un pays à un autre (prix garanti pour l'Allemagne ou la France, premium par rapport au prix de vente de l'électricité pour l'Espagne). Le Royaume-Uni, qui a expérimenté les *Green Certificates*, a choisi de les remplacer progressivement par un tarif d'achat à partir de 2017.

Tableau 7 : Part de renouvelables dans la production électrique

| | 2000 | 2010 |
|-------------|------|------|
| Royaume-Uni | 2,7 | 6,7 |
| Allemagne | 6,2 | 16,5 |
| Suède | 57,2 | 55,1 |
| Italie | 18,8 | 25,5 |
| Espagne | 16,1 | 32,7 |
| Pologne | 1,6 | 6,9 |
| France | 13,1 | 13,7 |

Source : AIE (2011), *Renewable Information 2011*. La part renouvelable contient : hydraulique, géothermie, solaire thermique, solaire PV, éolien, vague, déchets municipaux, biomasse, biogaz

Ces dispositifs coexistent avec l'ETS en donnant à l'investissement dans de nouvelles filières bas carbone une incitation complémentaire à celle du prix du carbone. Comme l'ont montré les réajustements des tarifs d'achat opérés en France et en Espagne sur le photovoltaïque, l'existence de tarifs d'achat n'est pas en elle-même une garantie de prévisibilité pour les industriels. En la matière, les choix allemands de fixer des tarifs dégressifs dans le temps et amenés à disparaître à terme sont un instrument intéressant, de même que les méthodes souvent pratiquées en Europe du Nord de « tarifs différentiels ». La superposition durable de deux mécanismes d'incitation agissant sur les prix risque néanmoins de générer des inefficacités à terme. La théorie économique enseigne que pour éviter de telles inefficacités, il faut utiliser d'autres leviers, du côté de l'offre et de la technologie, pour développer de nouvelles filières industrielles.

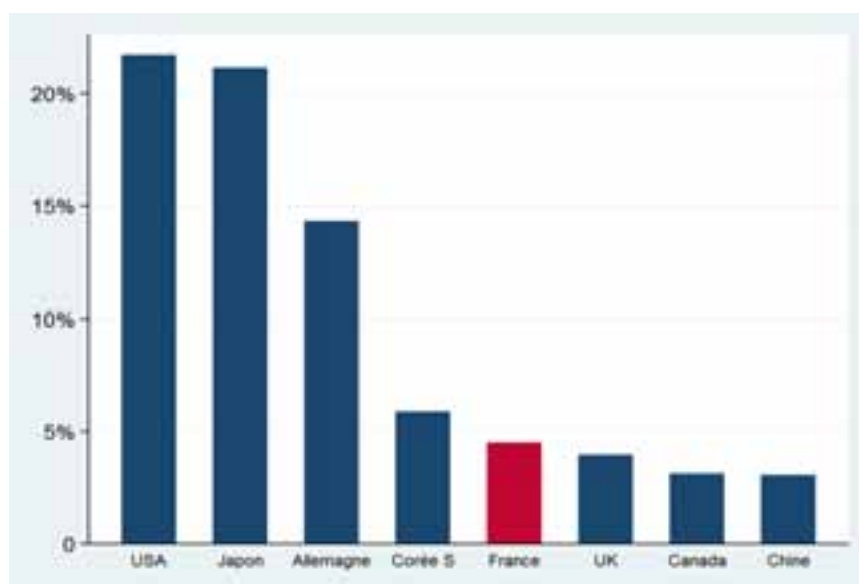
Un autre type de superposition entre l'ETS et instruments nationaux risque d'apparaître lorsqu'un pays pratique la tarification du carbone au plan domestique. De ce point de vue, la Suède et le Royaume Uni présentent des expériences assez opposées. Depuis 2011, la Suède n'applique plus du tout sa taxe carbone nationale aux installations incluses dans l'ETS afin de ne pas pénaliser ses industriels et énergéticiens vis-à-vis des autres acteurs européens. Le Royaume-Uni pense au contraire introduire une taxe nationale différentielle qui pourrait venir s'ajouter au prix européen du carbone si celui-ci reste en deçà d'un certain niveau. Ce dispositif national vise à assurer un prix minimum du carbone à la charge des compagnies électriques du pays. Peut-être efficace au strict plan national, ce dispositif risque de provoquer une incertitude supplémentaire et une offre de quotas britanniques supplémentaires sur le marché européen, pouvant donc conduire à une baisse du prix d'équilibre du quota de CO₂. Il introduit par ailleurs un risque plus général de « renationalisation » du prix du carbone très préjudiciable à terme pour l'efficacité de la trajectoire de réduction d'émission de l'ensemble de l'Union européenne.

L'une des conditions cruciales de réussite de la transition du secteur électrique est de prendre la mesure des mutations et des investissements qu'il faudra consacrer au réseau de transport et de distribution. Le réseau électrique est source de préoccupation pour de nombreux pays, car le développement en grande proportion de capacités renouvelables rendrait le parc productif plus rigide. Introduire plus de flexibilité dans le système passe par une extension des réseaux de transport et l'amélioration des interconnexions entre pays. En Allemagne, la sortie du nucléaire nécessite de plus de redessiner le maillage des lignes compte tenu de la localisation géographique des centrales qui seront retirées de la production. C'est pourquoi le pays a engagé un programme prioritaire de financement pour créer de nouvelles lignes à court terme et viser trois objectifs déterminants pour la sécurité des approvisionnements à long terme : le stockage de l'énergie (batteries, mais aussi moyens de stockage plus innovants comme l'hydrogène/méthane), les réseaux intelligents, notamment à l'échelle locale, et l'utilisation de la cogénération, qui compenserait les intermittences des énergies renouvelables. Ce plan devrait coûter quelques 3 milliards d'€, financés par le budget mais également par un fonds abondé par les revenus des enchères sur l'ETS.

5. Le lien entre politique climatique, R&D et stratégies industrielles

En parallèle des actions sur l'efficacité énergétique qui doivent limiter la croissance de la demande d'énergie, tous les pays européens étudiés ont choisi d'accorder une place importante à des technologies bas carbone : énergies renouvelables et cogénération qui sont des choix partagés par l'ensemble des pays, nucléaire et utilisation du CSC dont l'acceptabilité sociale et politique varie fortement d'un pays à l'autre. Le déploiement de ces nouvelles filières énergétiques pose la question du lien entre politique climatique et R&D.

Graphique 10 : Pourcentage des inventions climat brevetées dans le monde, moyenne 2003-2008, brevets internationaux



Source : Présentation de M. Glachant (Mines Paris Tech) le 29 septembre au Comité

L'effort de R&D consacré aux énergies décarbonées du Royaume-Uni, quoiqu'en croissance depuis quelques années, reste en retrait sur ceux de l'Allemagne ou de la France. Son effort semble en revanche assez largement réparti entre les différentes options, reflétant le choix du gouvernement de ne pas favoriser trop directement telle ou telle filière en s'appuyant sur des instruments économiques pour laisser les acteurs économiques choisir les meilleures voies. Le gouvernement britannique semble néanmoins privilégié la capture et le stockage géologique du carbone, les agrocarburants et les techniques *offshore* (éolien et utilisation des courants marins).

L'Allemagne a choisi de favoriser dès aujourd'hui certaines énergies plutôt que d'autres et favorise l'innovation dans les filières où elle possède des avantages comparatifs. Un volet important de la stratégie allemande est de constituer des filières qui soient exportatrices de technologies bas carbone et des équipements correspondants. Cette façon d'aborder l'aspect technologie a par exemple fait ses preuves dans l'industrie éolienne allemande qui a su s'implanter sur le marché, face aux danois, à l'origine leaders sur ce segment. Les priorités allemandes sont

actuellement l'éolien *offshore*, la biomasse de seconde génération le photovoltaïque dans le secteur des renouvelables et la gestion de l'efficacité énergétique via les réseaux intelligents du côté de la demande. Ces priorités allemandes se reflètent partiellement dans les budgets de R&D mais encore plus dans les dépôts de brevets internationaux liés aux techniques bas carbone pour lesquels l'Allemagne dispose d'une solide avance sur ses partenaires européens. Les progrès technologiques sont attendus grâce à la recherche mais aussi aux projets de démonstration ou encore au climat d'investissement (présence ou non de soutien à certaines filières). Pour pallier la fermeture progressive de ses centrales nucléaires, l'Allemagne compte sur des gains d'efficacité sur les centrales à charbon et surtout à gaz, mais également sur l'éolien offshore, ou la cogénération. Il est intéressant de constater que les avis divergent sur certaines technologies, notamment le CSC, qui, au-delà des coûts qui freinent son développement industriel, souffre d'un problème d'acceptabilité. Ainsi l'Allemagne a reporté sa décision de légiférer sur le CSC, estimant que les investisseurs privés, échaudés par une forte opposition de la population, ne pourront se lancer à court terme dans de tels projets.

La Suède de son côté a développé des filières particulièrement solides et innovantes dans le domaine de l'utilisation de la biomasse et notamment de la production et de l'utilisation du biogaz produit à partir des déchets. Dans ce domaine, sa politique de soutien de l'offre a été conduite en parallèle avec la mise en place d'incitations économiques destinées à faire adopter rapidement ces techniques pour le chauffage des bâtiments, et dans une moindre mesure le transport (utilisation de biogaz dans le réseau des stations services du sud du pays).

6. Les incitations économiques à l'égard du « secteur diffus »

Dans tout exercice prospectif sur les émissions, il faut distinguer les secteurs industriels et énergétiques soumis à la régulation européenne de l'ETS des émissions provenant du transport, des bâtiments, de l'agriculture et de la gestion des déchets, habituellement regroupés sous l'appellation « secteur diffus ». La France est le pays européen où le poids des émissions du secteur diffus non soumis à la régulation européenne est le plus élevé (trois quarts de ses émissions). Il est donc particulièrement instructif de repérer les instruments économiques ayant fait leur preuve ou les innovations marquantes chez nos partenaires dans ces secteurs.

Tableau 8 : Part des émissions nationales couvertes par l'ETS

| | 2007 | 2008 | 2009 |
|-------------|--------|--------|--------|
| UE 15 | 41,1 % | 40,9 % | 38,9 % |
| UE 27 | 43 % | 42,5 % | 40,3 % |
| Royaume-Uni | 40,1 % | 42,2 % | 40,4 % |
| Allemagne | 50,9 % | 49,3 % | 48,8 % |
| Suède | 28,8 % | 31,4 % | - |
| Italie | 41 % | 40,8 % | 37,3 % |
| Espagne | 42,5 % | 40,3 % | 36,8 % |
| Pologne | 52,4 % | 51,6 % | - |
| France | 23,9 % | 23,5 % | - |

Source : AEE

Les études conduites dans le cadre du comité révèlent que peu de pays ont mis en place des instruments économiques ayant délivré à une large échelle des réductions d'émissions dans l'agriculture et le transport. Il n'en va pas de même dans le secteur du bâtiment où le potentiel de réduction, même s'il est important, est difficile à atteindre. Trois leviers permettent d'y contribuer : une bonne isolation des bâtiments, qui nécessite d'importants travaux de rénovation ou des surcoûts pour les nouveaux bâtiments ; l'action sur les sources d'énergie utilisées dans les bâtiments ou les réseaux qui les alimentent ; les comportements des utilisateurs des bâtiments. L'expérience de nos partenaires suggère que les instruments les plus efficaces en la matière sont ceux qui agissent simultanément sur les trois leviers.

En Suède, l'action publique est parvenue à une forte réduction des émissions du résidentiel/tertiaire. En effet, 60 % des besoins du résidentiel/tertiaire proviennent du chauffage et de la production d'eau chaude. Les émissions de ce secteur ont pourtant été réduites de 65 % entre 1990 et 2007. La tarification du carbone (taxe carbone, mais également soutien de certaines énergies, notamment la biomasse) pratiquée dans ce pays depuis 1991 semble avoir joué un rôle déterminant car elle a joué à la fois sur la demande et sur l'offre. Elle a incité les consommateurs à remplacer leurs moyens de production d'énergie conventionnels (bien souvent de vieilles chaudières) par de l'électricité ou de la chaleur fournie par les réseaux (voir Complément n° 3). Ces émissions, produites alors en dehors du foyer, se sont reportées sur le secteur de production centralisée de chaleur et d'électricité, mais le gouvernement a en parallèle généralisé l'utilisation de la biomasse dans ce secteur, une énergie considérée comme zéro émission.

La taxe carbone suédoise, mise en place en 1991, est couplée à d'autres instruments de tarification de l'énergie (TVA, taxe sur l'énergie). Son niveau initialement modeste a été graduellement relevé pour dépasser aujourd'hui 100 € la tonne (variable suivant le taux de change de la Couronne suédoise) pour tous les usages liés aux bâtiments et aux moyens de transport. Dans le secteur des transports, le niveau élevé de la taxe carbone domestique a conduit à une expérience unique en Europe : l'injection de biogaz issu du traitement des déchets agricoles et forestiers dans le réseau de stations services.

Dans la même veine, l'Allemagne a entrepris une réforme de sa fiscalité en 1999, introduisant une fiscalité sur l'électricité et les énergies fossiles. D'un niveau peu élevé, cette taxe était néanmoins censé élever le prix de l'énergie, afin d'initier des comportements plus économes en énergie. Même s'il est difficile de mesurer l'impact de cette taxe, on a observé en 1999 un décrochage de la consommation d'électricité spécifique des ménages allemands, et ce même si le taux d'équipement des ménages a augmenté. D'une part, la hausse du prix de l'électricité via une fiscalité écologique a pu contribuer à rationaliser l'utilisation des appareils électroménagers. D'autre part, la baisse de leur prix, ainsi que l'étiquetage énergétique (selon une directive européenne) a conduit les ménages à s'équiper d'appareils moins consommateurs. On peut également citer l'initiative de la DENA (agence allemande pour l'énergie), qui a mis en place un programme de coopération avec plusieurs distributeurs d'électroménagers dans le but d'améliorer la communication des vendeurs sur la performance des nouveaux appareils.

En matière d'isolation des bâtiments, le traitement de bâtiments neufs passe par les normes thermiques, domaine dans lequel la France a compensé son retard sur les

pays européens les plus performants avec le Grenelle de l'environnement. La principale difficulté concerne le jeu d'incitations permettant la rénovation à grande échelle du bâti existant. Plusieurs pistes innovantes ont été lancées au Royaume-Uni. Les producteurs d'énergie ont l'obligation de financer des améliorations d'efficacité énergétique par un système de Certificats Blancs (économies d'énergie certifiées pouvant être échangées). Selon la nouvelle réforme proposée par le gouvernement, ceux-ci concerneront directement les logements occupés par les personnes les plus pauvres. Autre innovation britannique, dont la coordination avec le précédent mécanisme est encore en cours de réflexion au DECC (*Department of Energy and Climate Change*), le *Green Deal* aidera les ménages (et/ou entreprises) à rénover leur bâtiment et logement. Il comprend une partie audit (mené par un personnel formé par le gouvernement) dans lequel les principaux gisements de réductions sont identifiés, suivie d'une partie financement, dans laquelle le ménage se voit proposer un plan de financement des mesures identifiées. Règle d'or, ces mesures doivent entièrement être financées par les gains réalisés sur la facture énergétique. Le *Green Deal* n'est pas un prêt classique, au sens où ce financement n'est pas relié à un ménage mais à un logement. Il s'adressera aux particuliers, ainsi qu'aux petites et moyennes entreprises. Contrairement aux expériences suédoises et allemandes précédemment mentionnées, il n'est pas possible de juger *ex post* de l'efficacité de ces dispositifs qui n'ont pas encore été déployés à grande échelle sur le terrain.

Le *Green Deal* du Royaume-Uni trouve son pendant en Suède pour les industries : l'idée est de financer des audits d'industries (période de 2 ans) et de leur proposer des mesures qu'elles pourraient rentabiliser sur les prochaines années (au plus 3 ans), en échange d'une exonération de la taxe sur l'électricité. Ce programme, entré en vigueur au 1^{er} janvier 2005, est un vrai succès, car plus de 100 entreprises y participent aujourd'hui : quelques 70 millions d'euros ont été dépensés pour plus de 1 200 mesures d'efficacité énergétique. Un tel programme s'accompagne d'importantes créations d'emplois, car l'État accompagne la formation de personnels qualifiés de l'audit aux travaux à proprement parler d'efficacité énergétique.

7. Les innovations en matière de financement

Même s'il existe des incitations puissantes du type tarifs de rachat ou prix du carbone, les contraintes de financement peuvent freiner le développement de nouvelles filières industrielles ou de réseaux de transport. Ces types d'investissements sont souvent capitalistiques et nécessitent une importante levée de fonds au démarrage : les énergies renouvelables ont généralement une structure de financement particulière avec d'importants investissements et de faibles coûts opératoires, contrairement à des centrales thermiques par exemple. Compte tenu de cette structure, les producteurs d'énergies renouvelables font appel à l'endettement pour se financer. Mais les banques perçoivent ces projets comme risqués, notamment au démarrage quand les technologies sont nouvelles, et proposent donc des prêts à des taux d'intérêt très élevés.

Consciente de cette difficulté, l'Allemagne a proposé des facilités de financements pour les projets éoliens au travers de la banque publique KfW (*Kreditanstalt für Wiederaufbau*) dès le début des années 1990. Celle-ci octroie des prêts à taux très bas pour les compagnies privées (jusqu'à 75 % des coûts d'investissements pour un volume maximum de 10 millions d'euros). Initialement conçu pour l'éolien, ce dispositif a été étendu aux énergies renouvelables et à l'efficacité énergétique. En

effet, la KfW est très active dans la rénovation du bâti existant, à travers deux programmes (*CO₂-Minderungsprogramm* et *CO₂-Gebäudesanierungsprogramm*). Le premier permet le financement de mesures ciblées, via des prêts à taux préférentiels. Le second a pour objectif la rénovation du logement et regroupe donc un ensemble de mesures, financées également via des prêts préférentiels mais également via une annulation d'une partie du prêt (jusqu'à 15 %) pour les logements qui atteignent une consommation d'énergie par m² équivalente ou inférieure à celle définie par les normes de construction du bâti neuf. Même si les réductions d'émissions n'ont pas été à la hauteur des attentes du gouvernement, ces programmes ont tout de même permis la rénovation partielle ou totale de plus de 1 million de logements. Sans oublier qu'ils ont entraîné de nombreuses créations d'emplois dans ce secteur.

Mais la pièce centrale du financement de la politique climatique et énergétique allemande résidera dans l'utilisation du produit des enchères de quotas de CO₂. Sur la seconde période du marché (2008-2012), l'Allemagne va mettre environ 9 % de ses quotas aux enchères ce qui devrait lui procurer une recette de l'ordre de 300 millions d'€ en 2011 et 700 millions en 2012. Entre 2013 et 2020, le pays va recevoir un quart du produit européen des enchères soit une somme de l'ordre de 3 300 millions par an à partir de 2013. Le produit de ces enchères sera versé dans un fonds public, *Energie und Klimafonds*, dont la gouvernance, ouverte sur les Länder et les parties prenantes, devra permettre de trouver les usages optimisant la transition énergétique et climatique. Ce fonds devrait aider au financement de projets renouvelables, de projets d'efficacité énergétique ou d'électromobilité, d'investissements en forêt (majoritairement au niveau domestique mais une partie sera destinée à des projets dans les pays en développement) sous forme de prêts bonifiés et de subventions directes. Il prévoit des subventions pour la R&D. Une partie du fonds sera également redistribuée aux industries intensives en énergies pour compenser la hausse des prix de l'électricité induite par le prix des quotas de CO₂.

Pour réduire les blocages de financement, notamment dans le secteur de la rénovation des bâtiments, le Royaume-Uni compte lancer dès 2012 une banque publique : la *Green Investment Bank*. Comme l'ont indiqué au Comité les représentants britanniques, cette institution s'inspire des organismes du type KfW en Allemagne ou Caisse des Dépôts en France. Au départ, entièrement capitalisée par l'État, cette banque deviendra une entité autonome, fonctionnant avec une garantie publique mais pouvant lever des fonds privés. Sa première mission sera de développer des produits de financement pour faciliter la rénovation des bâtiments existants, notamment dans le cadre du *Green Deal* (prêts liés aux bâtiments et non aux propriétaires). Elle pourra aussi emprunter sur les marchés financiers en levant des fonds pour co-investir avec des investisseurs privés dans des projets bas-carbone (voir détails dans le complément 3). Il faut également noter qu'à l'instar de l'Allemagne, le Royaume-Uni a commencé à mettre aux enchères une partie des quotas de CO₂ dès 2008.

S'il est prématuré de juger de l'efficacité de mécanismes qui sont encore largement à l'état de projet, une conclusion s'impose clairement : les deux grands partenaires de la France ayant opté pour des cibles ambitieuses de réduction d'émission en 2020 et en 2050 sont en train de mettre en place des instruments financiers nouveaux faisant intervenir les produits des enchères de quotas de CO₂ et des mécanismes innovants combinant instruments publics et appel aux ressources privées.

Chapitre 3

Construction de trajectoires sectorielles françaises

La construction de trajectoires françaises pour atteindre le facteur 4 à l'horizon 2050 repose sur une analyse sectorielle détaillée. L'analyse rétrospective permet pour chaque secteur de mesurer les grands enjeux, d'identifier les constantes de temps et de mettre en lumière les déterminants des émissions. Elle sert de base à la construction des trajectoires d'émissions à court et moyen termes. Pour le long terme, l'analyse prospective permet de diagnostiquer les innovations de technologie ou d'organisation susceptibles d'accélérer les réductions d'émission à l'horizon 2050.

Dans chaque secteur, les potentiels d'abattement sont appréhendés en fonction des contraintes techniques, économiques et d'acceptabilité. Les trajectoires proposées correspondent à la mise en œuvre de certains potentiels d'abattement et sont forcément un compromis entre les différentes options possibles. L'intérêt de la démarche est d'identifier les contraintes spécifiques à chaque secteur et de mettre en avant les leviers d'action sur lesquels peuvent jouer les politiques publiques.

L'empilement de trajectoires sectorielles, après vérification des cohérences entre secteurs, permet de tracer une trajectoire d'émission pour la France à l'horizon 2050. Cette approche, dite « *bottom-up* », est complémentaire de l'approche macroéconomique, examinée dans la partie suivante. Si elle ne fait pas intervenir explicitement de prix du carbone dans l'économie, elle permet de mesurer « avec les mains » l'intensité des efforts et les ruptures nécessaires à l'atteinte de cibles d'émission.

1. Hypothèses et limites des trois scénarios étudiés

Compte tenu des délais impartis, le Comité n'a pas été en mesure de lancer un travail complet de scénarisation du futur. À l'horizon 2020, il s'est principalement appuyé sur les travaux existants de la DGEC, en reprenant l'ensemble de ses hypothèses sur la situation macroéconomique et l'évolution des prix de l'énergie. Aux horizons suivants, il a travaillé en croisant les dires d'experts, les études sectorielles prospectives et en se situant dans le cadre d'hypothèses standard sur les conditions énergétiques et économiques internationales. Aussi ne pouvons-nous pas, à ce stade, tester la robustesse de nos résultats à des changements macroéconomiques ou à des chocs possibles sur les prix de l'énergie.

Les trois scénarios construits reposent tous sur l'hypothèse d'une atteinte à l'horizon 2050 de l'objectif du facteur 4 au plan national. Cette hypothèse normative reflète le consensus au sein du groupe sur la pertinence de cet objectif cohérent avec les travaux du GIEC. Chaque scénario diffère sur le point de passage atteint en 2020 qui correspond à trois situations possibles, sous l'angle des choix européens :

- le scénario de référence repose sur l'hypothèse, courante de ce genre d'exercice, de stricte application des mesures de politiques publiques déjà prises. Dans le secteur ETS, cela signifie que les entreprises sont soumises aux règles en vigueur pour la troisième phase du système d'échange de quotas de CO₂ avec un plafond d'émission en 2020 en recul de 21 % relativement à 2005. Dans le secteur non ETS, on suppose que toutes les mesures nationales déjà prises seront intégralement appliquées d'ici 2020, mais qu'aucune autre n'entrera en vigueur. Ce jeu d'hypothèses conduit à une trajectoire nationale de réduction d'émission compatible avec l'objectif européen de réduction de 20 % des émissions en 2020 relativement à 1990 ;
- le second scénario simule une situation dans laquelle l'objectif européen passerait à - 25 %, l'intégralité du relèvement de l'objectif étant portée par le secteur hors ETS. La réalisation de ce scénario implique donc la mise en œuvre de mesures ou incitations nouvelles dont les voies ont été explorées par le Comité ;
- dans le troisième scénario, on suppose que l'Union européenne relève son ambition à - 30 % en ajoutant une contrainte supplémentaire de - 5 % sur le secteur ETS sous la forme d'une réduction du plafond d'émission à l'horizon 2020 pour les industries sous quotas. Ceci a pour principale conséquence de faire remonter le prix du quota de CO₂ sur le système d'échanges européen.

Pour être plus précis, le scénario de référence correspond aux résultats du scénario dit « avec mesures supplémentaires - mesures » de l'exercice de projection mené par la DGEC en 2010 et dont les hypothèses sont détaillées dans le complément 4 au présent chapitre. En l'absence de retour d'expérience sur certaines mesures du Grenelle de l'environnement, ce scénario repose pour le secteur non ETS sur certaines hypothèses qui apparaissent aujourd'hui, notamment dans le cadre budgétaire actuel, comme volontaristes. Pour illustrer, en matière de rénovation du parc public et privé de bâtiments, le scénario suppose à l'horizon 2020, des travaux sur 800 000 logements sociaux les plus énergivores et la mise en œuvre totale de l'obligation de rénovation de l'ensemble des bâtiments tertiaires. À l'inverse, il suppose que certaines mesures de soutien (e.g. éco-prêt à taux zéro, crédit d'impôt développement durable) qui existent dans ce même secteur du bâtiment seraient arrêtées après 2012, car aucun texte n'assure la prolongation de ces mesures au-delà de la loi de finance pour 2012 ou encore que des engagements du Grenelle ne seraient pas mis en œuvre, comme l'atteinte en 2020 de l'objectif de réduction de 38 % de consommation énergétique dans le bâti existant ou le retour des émissions à leur niveau de 1990 dans les transports. Par ailleurs, le scénario « avec mesures existantes » de l'exercice DGEC n'intègre pas certains effets de la crise mis en lumière par les récentes statistiques, notamment la faiblesse du rebond des émissions dans l'industrie et les transports routiers de marchandises. Au final, le scénario de référence repose sur des hypothèses légèrement différentes du scénario « avec mesures existantes » de la DGEC mais est supposé conduire globalement aux mêmes émissions. Ce qui est important, c'est qu'il ne doit pas être pris comme acquis mais simplement comme atteignable pour peu que des mesures d'ajustement puissent être mises en œuvre

rapidement en complément des mesures déjà prises si la trajectoire déviait manifestement de la trajectoire projetée.

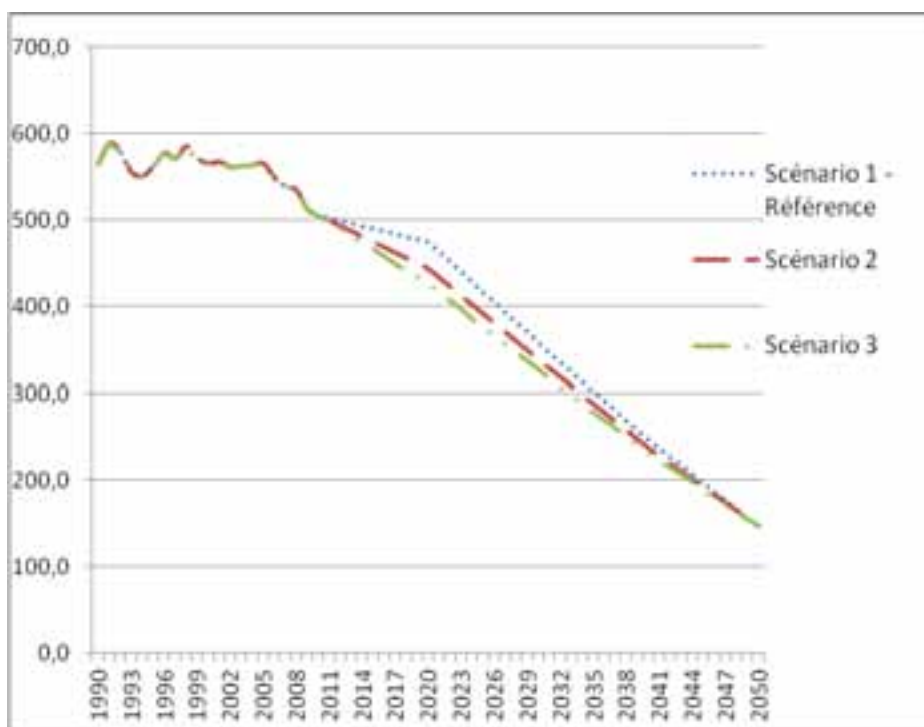
Une fois déterminée les trois points de passage pour 2020, la trajectoire à l’horizon 2050 est obtenue par simple extrapolation linéaire, en croisant les travaux existants de perspectives et les dires d’experts. La cohérence d’ensemble des trajectoires à 2030-2050 a été assurée par la confrontation des résultats avec les sorties sectorielles des modèles POLES, IMACLIM et NEMESIS dont les enseignements sont analysés plus en détail au chapitre 4. Les résultats synthétiques sont donnés dans le tableau 10 et graphique 11 ci-dessous leur déclinaison sectorielle faisant l’objet principal de ce chapitre.

**Tableau 9 : Trajectoires d’émissions de GES de la France
(en relatif/1990 et en MtCO₂éq)**

| Évolution/1990 (%) | 2009 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Scénario 1 - référence | - 10 % | - 16 % | - 33 % | - 55 % | - 75 % |
| Scénario 2 | - 10 % | - 22 % | - 37 % | - 57 % | - 75 % |
| Scénario 3 | - 10 % | - 25 % | - 41 % | - 58 % | - 75 % |

Source : travaux du comité

**Graphique 11 : Trajectoires d’émissions de GES de la France
(en relatif/1990 et en MtCO₂éq)**



Source : travaux du comité

En terme d’émissions cumulées sur 2010-2050, les scénarios 2 et 3 conduisent respectivement à - 5 % et - 8 % d’émissions par rapport au scénario de référence.

Tableau 10 : Trajectoires d'émissions cumulées de GES de la France (en GtCO₂éq)

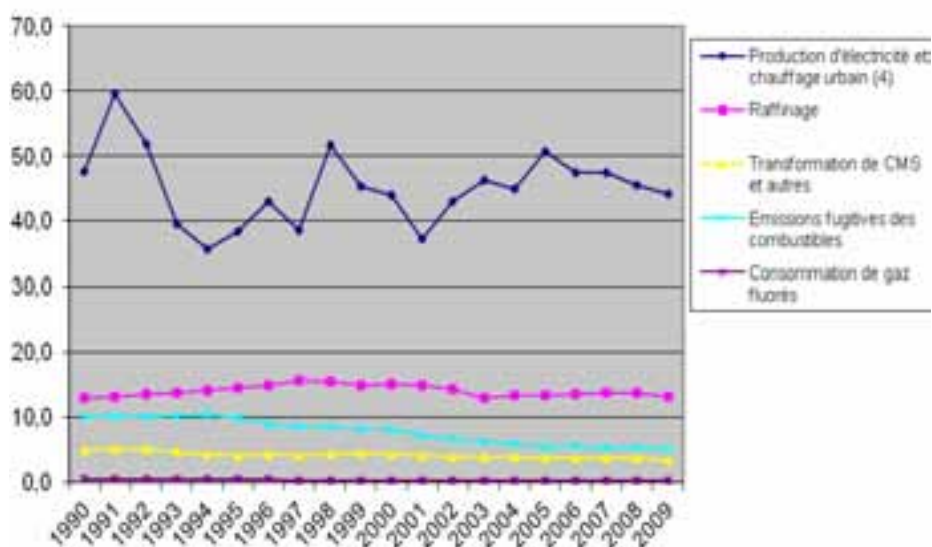
| Émissions cumulées de gaz à effet de serre sur 2010-2050 (GtCO ₂ éq) | |
|---|------|
| Scénario 1 - Référence | 14,6 |
| Scénario 2 | 13,9 |
| Scénario 3 | 13,5 |

Source : travaux du comité

2. Énergie : plusieurs voies possibles vers un système bas carbone

Le secteur de l'énergie regroupe la production électrique, le raffinage et le transport des hydrocarbures, la fourniture de vapeur et de chaleur. Il représente environ 13 % des émissions nationales, les deux principales sources étant la production d'électricité et de chaleur et le raffinage du pétrole. Les émissions résultant de l'usage des carburants et combustibles sont comptabilisées dans les secteurs utilisateurs dont les trois principaux sont le bâtiment, les transports et l'industrie manufacturière. Une caractéristique importante de ce secteur est qu'il est soumis à la régulation européenne du système d'échange des quotas de CO₂. Sa dynamique est donc fortement tributaire de l'évolution de ce dispositif européen et du prix du carbone qu'il fait apparaître.

Graphique 12 : Évolution des émissions liées à l'industrie de l'énergie entre 1990 et 2009 (en millions de tonnes équivalent CO₂)



Source : CITEPA 2011

Comparé aux autres pays européens, le secteur de la production énergétique est peu émetteur en France. Cela est dû au mix électrique dont les deux premières sources, nucléaire et hydraulique, ne sont pas émettrices. Aussi le kWh émet en moyenne 60 g de CO₂ en France contre 420 g en moyenne dans l'Union européenne. Une condition nécessaire pour atteindre le facteur 4 est cependant d'aller plus loin en disposant en 2050 d'un système de production énergétique n'émettant pratiquement plus de carbone. Le Comité a ainsi retenu une cible de – 96 % en 2050. Cet objectif de long terme est en phase avec les trajectoires visées au plan européen, mais sa mise en œuvre a des implications particulières compte tenu de la spécificité de notre industrie électrique.

Tableau 11 : Émissions du secteur de l'énergie par rapport au niveau de 1990

| Évolution/1990 (%) | 2009 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Scénario 1 – Référence | – 14 % | – 28 % | – 51 % | – 74 % | – 96 % |
| Scénario 2 | – 14 % | – 30 % | – 52 % | – 74 % | – 96 % |
| Scénario 3 | – 14 % | – 35 % | – 55 % | – 76 % | – 96 % |

Source : travaux du comité

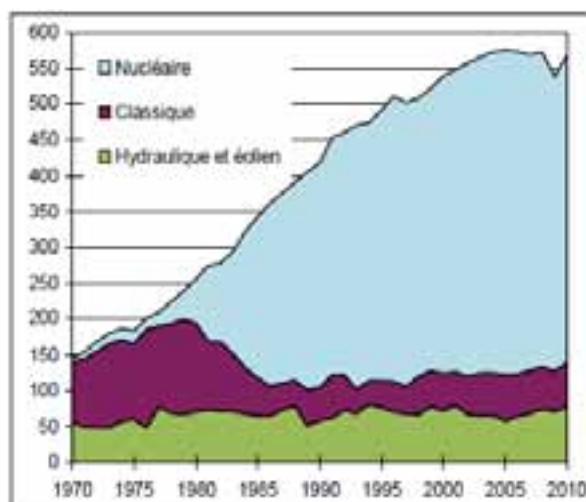
Une première condition pour atteindre la cible de 2050 est d'accélérer **les gains d'efficacité énergétique**. En 2050, la France métropolitaine comptera plus de 72 millions d'habitants, soit près de 14 % de plus qu'en 2011. Si on maintenait le profil actuel de consommation par habitant, l'accroissement de la demande rendrait irréaliste l'atteinte d'un recul aussi rapide des moyens de production émetteurs de carbone. C'est pourquoi les trajectoires discutées dans le cadre du comité s'inscrivent dans le cadre d'une forte accélération de l'efficacité énergétique. Dans la modélisation de POLES qui a servi de support principal aux travaux du Comité, l'intensité énergétique du PIB est divisée par deux entre 2010 et 2050. Ceci permet au système électrique de couvrir en 2050 les usages actuels et de faire face à la pénétration accrue de l'électricité dans les autres secteurs, notamment le transport.

Pour atteindre de tels progrès d'efficacité énergétique de multiples leviers devront être mobilisés : information des consommateurs, éco-conception des produits, systèmes d'incitation du type certificats d'économie d'énergie. Mais nombre d'études indiquent que la question du prix d'usage de l'énergie est centrale. L'atteinte de la cible à 2050 est donc conditionnée par une trajectoire croissante du prix du carbone que les acteurs doivent anticiper dans leurs choix d'investissement. Elle implique aussi que ce prix se traduise dans les tarifs pratiqués à l'aval afin de générer les nécessaires « chasses au gaspi ». De telles répercussions ne sont socialement acceptables que si des mécanismes puissants sont simultanément mis en place pour éviter une aggravation de la précarité énergétique.

La diversification de l'offre est le deuxième maître mot de la trajectoire énergétique à **l'horizon 2050**. Elle concerne en premier lieu l'électricité où la part des renouvelables va être amenée à s'accélérer fortement dans tous les cas et le nucléaire à reculer. Dans le scénario de POLES, la part du nucléaire revient ainsi de plus de 75 % en 2010 à moins de 50 % en 2050 quand celle des renouvelables (y compris hydraulique) remonte de 12 % à 40 %. Le solde est couvert en quasi-totalité par des centrales à gaz dont certaines pratiquent la capture et le stockage de carbone. Simultanément, la meilleure utilisation de la bioénergie (biogaz, produits de la forêt, biocarburants avancés, ...) contribue à faire reculer le pétrole dans les approvisionnements. Il en

résulte pour l'activité de raffinage de pétrole une dynamique d'adaptation de l'outil de production à l'évolution de la demande de produits raffinés, à la fois en quantité et en qualité (balance entre produits légers et distillats moyens, réduction de la demande de produits soufrés, etc.).

Graphique 13 : Structure de la production totale brute d'électricité (en TWh)



Source : SOeS 2011

Le recours aux énergies renouvelables joue un rôle incontournable dans tous les scénarios bas carbone. Leur rythme de développement est tributaire de la vitesse de baisse de leurs coûts, des progrès simultanés dans la gestion des réseaux pour faire face à l'intermittence et de leur acceptabilité sociale. L'hydraulique, l'éolien terrestre et la biomasse ont atteint ou quasi atteint la maturité technique et économique et sont compétitifs avec les moyens thermiques classiques. D'autres technologies, encore non matures sur le plan économique, pourraient se déployer rapidement après 2020 : l'éolien offshore, le solaire photovoltaïque, les biocarburants avancés, dans une moindre mesure le solaire à concentration. Leurs coûts sont aujourd'hui entre deux et cinq fois supérieurs aux moyens de production traditionnels mais devraient connaître des baisses grâce à la R&D et à l'industrialisation de la production. L'extension des réseaux et les changements technologiques dans leur gestion constituent des leviers aussi importants que ceux dans la production, surtout s'ils s'accompagnent d'avancées dans la capacité de stockage de l'électricité, soit par batteries, soit sous forme d'hydrogène, considéré comme une option future. Ajoutons qu'une incertitude croissante entoure le rythme de diffusion des techniques de capture et stockage de carbone en raison d'une double difficulté : les coûts de déploiement sans instrument incitatif et l'acceptabilité sociale.

Il existe de multiples façons de combiner ces différentes technologies, et les options diffèrent singulièrement, notamment suivant les choix faits par rapport **au nucléaire**. Ils concernent en premier lieu les décisions concernant l'avenir du parc existant ou en cours de construction, mais aussi le nucléaire dit de « quatrième génération » correspondant à la surgénération qui ne sera vraisemblablement pas mature avant 2030 si son développement reste une priorité. Le Comité n'a pas examiné en détail ces questions qui seront par ailleurs traitées dans un autre groupe de travail. Mais il a porté une attention particulière à l'année 2030, dont la configuration dépend grandement des choix qui sont faits aujourd'hui en matière d'investissement.

Dans le scénario rendu public par l'association Négawatt, la consommation d'énergie primaire est pratiquement réduite des deux tiers à 2050 par rapport à 2010, ce qui permet de construire un scénario qui satisfait à la fois les exigences climatiques et une sortie totale du nucléaire. Cette vision qui anticipe une sortie totale du nucléaire en 2033, repose sur des calculs techniques qui n'intègrent pas les coûts et les bénéfices pour l'économie. Elle diffère de celles apportées par trois exercices qui ont été menés par la DGEC, RTE et l'Union française de l'électricité, qui comparent des scénarios de montée en régime des énergies renouvelables avec ou sans déclassement accéléré du nucléaire. Sans surprise, ces trois exercices suggèrent que les scénarios de sortie rapide du nucléaire ont un coût de transition correspondant au déclassement d'un capital non encore amorti et à la mise en route de moyens d'appoint thermiques pour faire face à l'intermittence des énergies renouvelables. Dans les trois cas, la baisse maximale d'émission en 2030 est obtenue dans le scénario sans accélération du déclassement du nucléaire.

Tableau 12 : Comparaison des scénarios prospectifs sur le mix électrique à 2030

| | Scénario | Outil de modélisation | Taux de croissance annuel moyen 2010-2030 du PIB (%) | Demande en 2030 (TWh) | Solde exportateur en 2030 (TWh) | Capacité nucléaire en 2030 (GW) | Capacité totale en 2030 (GW) | Part des ENR dans le mix électrique en 2030 (%) | Émissions de CO ₂ du secteur électrique en 2030 (Mt CO ₂) | Évolution des émissions de CO ₂ du secteur électrique 2030/2010 (%) |
|---------------|-----------------------------------|-----------------------|--|-----------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------|---|--|---|
| RTBP 2011 | Référence | Simulation RTE | 1,75 | 628 | 67 | 65 | 165 | 29 | 16 | - 53 |
| | Nucléaire bas | | | 541 | 1 | 40 | 168 | 38 | 23 | - 32 |
| DGEC | AMS- Mesures Grenelle décidées | MEDPRO/ POLES | 1,75 | 617 | 100 | 66 | | 22 | 28 | - 24 |
| | AMS- Objectifs Grenelle Facteur 4 | | | 616 | | | | 23 | 24 | - 35 |
| UFE | Production nucléaire à 70 % | UFE | 1,5 | | 101 | 66 | 145 | 22 | 17 | - 50 |
| | Production nucléaire à 50 % | | | 570 | 5 | 41 | 142 | 34 | 44 | 130 |
| | Production nucléaire à 20 % | | | | 1 | 16 | 152 | 40 | 101 | 297 |
| Négawatt 2011 | Négawatt 2011 | Négawatt | - | 400 | ? | 13-15 | | 70 | ? | (réduction des émissions de CO ₂ d'origine énergétique d'un facteur 2) |

Source : d'après RTE, UFE, DGEC, Négawatt

À l'horizon 2020, les objectifs de réduction d'émission du scénario de référence sont basés sur un parc nucléaire de 65 GW (en comptant les EPR de Flamanville et Penly), des capacités de production électrique renouvelable d'environ 26 GW (éolien, photovoltaïque et biomasse ; la capacité de production hydraulique est inchangée), la fermeture des raffineries des Flandres, de Reichstett et de Berre. L'atteinte de cet objectif se fait dans le contexte des politiques actuelles, sans poser de problème particulier.

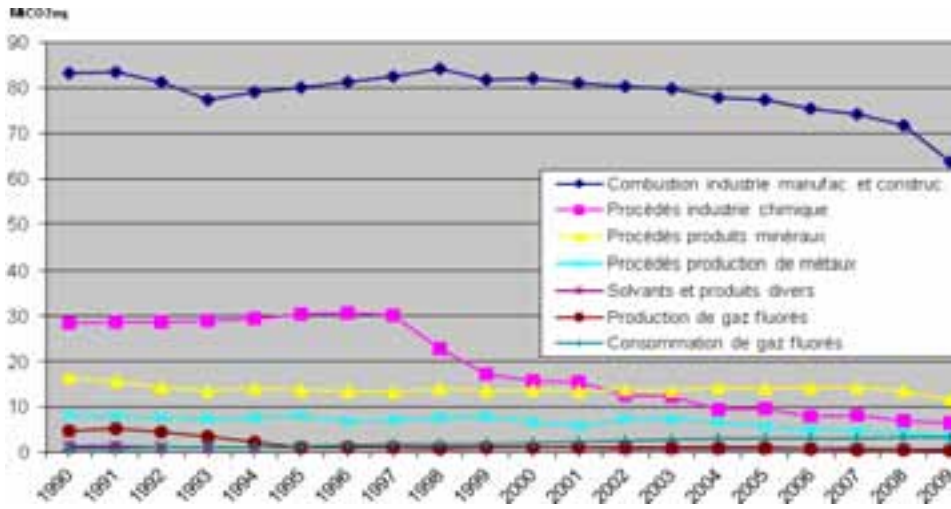
Le scénario 2 se distingue en 2020 du scénario de référence par une baisse de la demande résultant de contraintes plus fortes dans les secteurs clients : baisse de la demande électrique appelée en pointe, en particulier le résidentiel-tertiaire et baisse de la demande en produits pétroliers pour le transport et le chauffage. C'est un peu ce scénario qui se dessine au plan européen avec l'accent nouveau mis sur l'efficacité énergétique dont les objectifs pourraient devenir plus contraignants. Il s'est traduit par une diminution de la contrainte sur l'offre énergétique qui a provoqué une baisse du prix des quotas de CO₂ sur le marché du carbone. Dans le scénario 3, le secteur énergie diminuerait ses émissions de 35 % relativement à 1990, car il y serait incité par le renchérissement des quotas de CO₂ sur le marché du carbone, consécutif à l'abaissement du plafond d'émission européen.

Au-delà des chiffres de réduction d'émission visés en 2020, la différence la plus importante entre les trois scénarios concernera le type d'investissements réalisés d'ici 2020 ; ils seront déterminants pour les cibles 2030 et 2050. Sous cet angle, le comité a jugé qu'il était urgent de définir rapidement un jeu d'objectifs contraignants pour 2030, articulé en France sur des orientations transparentes et crédibles concernant l'avenir du nucléaire.

3. Industrie : poursuivre les gains d'efficacité énergétique et agir sur les filières

Le secteur de l'industrie manufacturière et de la construction a représenté 18 % du total des émissions de gaz à effet de serre de la France en 2009. Ses émissions ont baissé de 38 % par rapport à 1990 (dont 10 % uniquement dû à la récession de 2009). Le premier levier a été la division par quatre des émissions de N₂O au sein de la chimie, impulsée par le groupe Rhodia qui a développé dans l'usine de Chalampé un procédé d'élimination thermique aujourd'hui largement diffusé dans le monde. Le second est la réduction des émissions de CO₂ énergétique résultant principalement des gains d'efficacité énergétique, réductions artificiellement amplifiées par la récession en 2009. À plus de 82 %, les émissions du secteur concernent des installations soumises au système européen d'échange de quotas de CO₂, une caractéristique importante étant 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 à de la désindustrialisation.

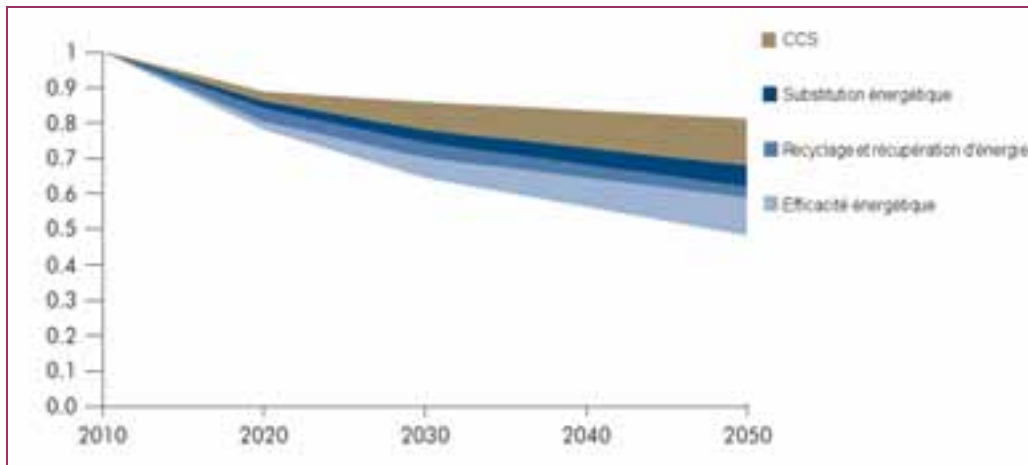
Graphique 14 : Évolution des émissions du secteur industriel



Source : CITEPA 2011

Pour le secteur industriel, les expertises réunies au sein du Comité conduisent à retenir une cible de réduction d'émission de -85% à l'horizon 2050 pour l'industrie. Compte tenu des réductions réalisées entre 1990 et 2011, cela représente un effort supplémentaire de 50% (environ 45 MtCO_2), 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 capture et stockage de CO_2 .

Graphique 15 : Options pour réduire les émissions de CO_2 de l'industrie à horizon 2050 (indice 1 = émissions de CO_2 de l'industrie en 2010)



Source : travaux du Comité d'après AIE

Les approches par filière industrielle sont détaillées dans le complément n° 4. Quatre lignes de force s'en dégagent de façon transversale :

- la substitution énergétique portera principalement sur l'électrification accrue de certains processus industriels et le recours à la biomasse. Son rythme sera conditionné par la disponibilité de la ressource et l'évolution des prix relatifs des

- énergies utilisées qui incitera d'autant plus à la substitution que le prix du carbone augmentera ;
- la substitution énergétique portera principalement sur l'électrification accrue de certains processus industriels et le recours à la biomasse. Son rythme sera conditionné par la disponibilité de la ressource et l'évolution des prix relatifs des énergies utilisées qui incitera d'autant plus à la substitution que le prix du carbone augmentera ;
 - le recyclage et la réutilisation pourraient à terme permettre de limiter la production de certaines branches. Par exemple, une étude à paraître du WWF France suggère qu'il est possible et pertinent de mettre en œuvre la réutilisation des emballages de verre, le taux de recyclage pourrait être porté à 10 % en 2020 et jusqu'à 80 % à long terme. De la même façon pour l'acier, un recyclage de 90 % à long terme est évoqué, contre 75 % en moyenne actuellement. Une autre forme de recyclage pourrait être à terme celle du CO₂ lui-même dont seules 0,5 % des émissions étaient réutilisées comme matière première en 2008.

Tableau 13 : Taux de recyclage potentiel dans l'industrie

| | 2008 | 2020 | Long terme |
|---------------|------|------|------------|
| Aluminium | 30 % | 50 % | 86 % |
| Papier-Carton | 60 % | 75 % | 80 % |
| Plastique | 6 % | 15 % | 30 % |

Source : d'après E&E

Par ailleurs, il reste des potentiels supplémentaires de réduction des émissions dans les procédés spécifiques à certains secteurs (ciment, sidérurgie,...), par le recours aux meilleures technologies disponibles.

Pour atteindre le – 85 % en 2050, les premières applications de la technologie de stockage et capture du carbone (CSC) devraient commencer à se diffuser dans certains secteurs industriels intensifs en énergie à partir de 2020. Cette technique semble plutôt adaptée aux unités industrielles fortement émettrices et proches de centrales électriques ou d'autres unités qui développeraient également cette option. L'industrie semble aujourd'hui disposer de moins d'options bas carbone que le secteur électrique, aussi les obstacles au déploiement de cette technologie devront être levés. L'enjeu concerne aussi l'émergence d'une offre française à l'exportation : si le marché intérieur français de la CSC restera modeste en comparaison de celui d'autres pays, un atout est la présence d'acteurs français parmi les grands industriels et les organismes de recherche présents sur toutes les étapes de la chaîne de valeur du CSC. Si on trouve les bons projets et les bons financements, il y a là les prémises de la naissance d'une nouvelle filière avec la possibilité de devenir un centre d'ingénierie de rayonnement international.

Comme dans le cas de l'énergie, l'analyse des points de passage intermédiaires doit prendre en compte les phénomènes d'inertie et de délais de mise en œuvre des investissements. Dans le scénario tendanciel, l'industrie ne retrouve son niveau de 2009 qu'en 2030, ce qui suggère qu'à cet horizon les investissements destinés à accélérer la mutation vers un appareil de production bas carbone n'ont pas été déclenchés. Avec le renforcement de la contrainte hors ETS, le scénario 2 se distingue

en 2020 du scénario de référence par l'action des PME-TPE qui, réagissant aux mêmes signaux que les ménages, mettent en œuvre plus d'actions de réduction, mais il ne change pas fondamentalement la donne. Le scénario 3 se distingue par le resserrement du plafond d'émission qui fait remonter le prix du carbone dès le début de période et modifie les anticipations des industriels qui investissent dès lors plus massivement dans des actions de réduction d'émission.

Tableau 14 : Émissions du secteur de l'industrie manufacturière et de la construction par rapport au niveau de 1990

| Évolution/1990 (%) | 2009 * | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Scénario 1 - Référence | - 38 % | - 27 % | - 35 % | - 64 % | - 85 % |
| Scénario 2 | - 38 % | - 29 % | - 38 % | - 66 % | - 85 % |
| Scénario 3 | - 38 % | - 38 % | - 50 % | - 69 % | - 85 % |

* Les émissions industrielles ont été affectées en 2009 par le vif recul de certaines productions. A titre d'information, on peut se référer aux émissions de 2007 qui ne sont en recul que de 26 % relativement à 1990.

Source : travaux du Comité

Au total, les deux grands enjeux pour la réduction des émissions de l'industrie sont d'une part la visibilité et la prévisibilité du signal prix du carbone et de l'autre le renforcement de sa compétitivité. Sur le premier volet, les industriels souhaitent l'établissement d'une contrainte crédible en 2030, associée à un renforcement immédiat de la régulation du marché du carbone sous l'égide d'une autorité indépendante. Sous l'angle de la compétitivité, le maintien d'une allocation gratuite à partir d'un système de benchmark constitue un dispositif satisfaisant, mais dont la mise en œuvre n'a pas su éviter d'inutiles complexités administratives. À moyen terme, la capacité concurrentielle de l'industrie dépendra cependant surtout de la capacité de l'autorité publique à déployer des systèmes innovants d'aide à la R&D, du financement du développement des entreprises, de la structuration de filières, de la formation, etc. Dans un contexte de longue convalescence économique, plus la contrainte de crédit et l'aversion au risque restent prégnantes, plus l'accompagnement public est utile pour stimuler l'innovation et la conquête des marchés par l'industrie.

Le rôle des entreprises est aussi déterminant pour l'évolution des émissions entraînées par l'usage de leurs produits : il s'agit pour elles de proposer des produits dont le cycle de vie complet sera moins émetteur (produits efficaces énergétiquement, produits recyclables ou réutilisables, services remplaçant des produits dans l'esprit d'une économie de fonctionnalité).

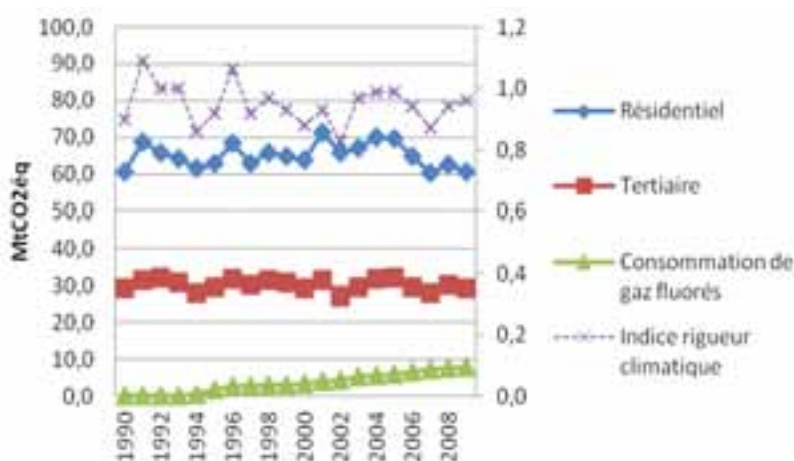
Des approches par filières sont donc intéressantes et complémentaires à une approche par entreprise pour juger de l'évolution de leurs émissions. La dynamique de l'innovation doit aussi être orientée dans le sens des filières, en complément de l'approche sur l'amélioration des procédés de production.

4. Bâtiments : l'inertie du parc et le rythme de sa rénovation

Le secteur résidentiel-tertiaire a représenté en 2009 44 % de l'énergie finale consommée en France, mais seulement 19 % des émissions directes et 25 % si l'on

ajoute les émissions associées à la production d'électricité et au chauffage urbain comptabilisées dans le secteur énergie. Ces émissions ont augmenté d'environ 9 % entre 1990 et 2009. Au-delà des variations climatiques, cette hausse provient de l'augmentation continue des émissions de gaz fluorés liées au développement de la climatisation et de la réfrigération. Pour le reste, la hausse des consommations de chauffage pour les nouvelles constructions (+ 50 % de logements sur la période 1990-2010) a été contrebalancée par l'amélioration de l'efficacité énergétique du parc existant et une substitution progressive vers des énergies moins carbonées (quasi disparition du charbon et baisse du fioul au profit du gaz et de l'électricité).

Grafique 16 : Émissions de GES du secteur résidentiel-tertiaire



Source : CITEPA avril 2011

Toutefois, poursuivre ce type de gains incrémentaux en améliorant le rendement des chaudières ou généralisant le double vitrage et les lampes basse consommation ne suffira pas. Pour viser une réduction de 85 % des émissions des bâtiments à l'horizon 2050, le Comité a construit un scénario reposant sur trois principes : les bâtiments neufs construits à partir de 2012 consomment très peu d'énergie de chauffage ; au cours des quarante prochaines années, l'ensemble du parc existant est rénové en profondeur afin que les consommations unitaires approchent celles du parc neuf ; les énergies décarbonnées (biomasse et électricité renouvelable) gagnent des parts de marché, à la fois dans les constructions neuves et anciennes, via notamment les réseaux de chaleur.

Le durcissement des normes sera la première incitation pour produire massivement des logements neufs qui consomment très peu d'énergie de chauffage et qui seront même capables d'en produire plus qu'ils n'en consomment sur un cycle annuel. Mais gare à « l'effet rebond » : s'il suffit de quelques calories apportées par un chauffage électrique ou un téléviseur plasma pour chauffer ces logements très bien isolés, il ne faudrait pas que la climatisation et surtout l'électricité associée aux usages domestiques et bureautiques doublent ou triplent les émissions de ces nouveaux bâtiments performants. Des incitations complémentaires (information, éducation, instrument de pilotage, voire tarification et obligation) devront donc agir sur les usages pour compléter l'action sur l'offre, que ce soit pour les constructions neuves ou les rénovations.

Graphique 17 : Évolution des normes de construction en France



Source : Saint Gobain

Compte tenu du faible taux de destruction des bâtiments, entre 60 % et 70 % du parc qui sera utilisé en 2050 est déjà construit en 2010. Trouver des solutions économiques et mettre en place une organisation efficace de la filière permettant de rénover l'ensemble du parc existant en profondeur constitue un enjeu économique et social particulièrement complexe. Sur les quarante ans qui viennent, les bâtiments existants feront l'objet d'au plus une réhabilitation lourde. Il ne faudrait pas que ce soit uniquement un ravalement de façade mais l'occasion d'abaisser la consommation énergétique au niveau des bâtiments neufs les plus performants. À une échelle plus macroscopique, cela peut également être l'occasion de revoir l'agencement urbain en densifiant certains quartiers ou zones centrales ; un impact positif pourrait également être enregistré en termes de transport. Notre cible 2050 suppose que la totalité du parc atteint des consommations unitaires proches de celles du neuf basse consommation (BBC) d'aujourd'hui et que la part des énergies renouvelables dans le mix énergétique est devenue majoritaire. Pourtant, compte tenu des gains d'efficacité, la demande en biomasse et en électricité appelée par le secteur n'est pas supérieure à celle d'aujourd'hui.

Dans nos trajectoires, les deux points de passage en 2020 se distinguent par le rythme de montée en puissance de la rénovation du parc. La baisse de 13 % par rapport à 1990 (- 11 % par rapport à 2010) correspond à un taux de rénovation inférieur de moitié environ au rythme moyen qu'il faudrait atteindre pour rénover en profondeur l'ensemble du parc (la qualité est également inférieure de moitié à l'objectif recherché), c'est peu ou prou la situation qui prévaut aujourd'hui avec les incitations actuellement en place. La baisse de 22 % par rapport à 1990 suppose que l'on atteint dès 2020 le rythme de croisière nécessaire à la réhabilitation complète du parc sur 40 ans ; dans ce cas, le taux de pénétration des énergies renouvelables (biomasse et pompes à chaleur en particulier) est également légèrement plus important. Même dans ce scénario, les objectifs extrêmement ambitieux du Grenelle de réduction de 38 % des consommations unitaires du parc existant ne sont toutefois pas supposés atteints.

Tableau 15 : Émissions du secteur résidentiel-tertiaire par rapport au niveau de 1990

| Évolution/1990 (%) | 2009 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
|------------------------|------|--------|--------|--------|--------|
| Scénario 1 – Référence | 9 % | - 13 % | - 35 % | - 62 % | - 85 % |
| Scénario 2 | 9 % | - 22 % | - 43 % | - 64 % | - 85 % |
| Scénario 3 | 9 % | - 22 % | - 43 % | - 64 % | - 85 % |

Source : travaux du comité

L'atteinte de ces objectifs suppose de lever un certain nombre de contraintes, en particulier de financement et d'organisation de la filière. Les deux vont de pair : si la filière construction gagne en efficacité, la rentabilité des réhabilitations s'améliorera ; réciproquement, si des incitations économiques puissantes sont mises en place, la filière saura trouver des solutions innovantes pour répondre à la demande. Le Grenelle de l'environnement et le Plan bâtiment Grenelle ont mis en place un certain nombre d'incitations financières¹ pour expérimenter la construction de logements performants, généraliser les équipements performants et lever des contraintes de financement pour les rénovations énergétiques lourdes. Si on veut aller au-delà du scénario a minima, il faudra compléter ces dispositifs, aussi bien en termes de volume que de qualité et intégrer cette dimension, autant que possible, dans le fonctionnement du marché immobilier : l'étiquetage est un premier pas dans cette direction. Mais il est loin d'impacter suffisamment sur les prix des biens pour pousser les investisseurs privés à investir dès aujourd'hui dans la réhabilitation bas carbone !

Pour faire baisser les coûts, garantir la qualité et proposer des solutions adaptées, qui permettraient de rentabiliser ces investissements sur des durées raisonnables, les pouvoirs publics doivent promouvoir la structuration et la montée en compétence de la filière. La labellisation pousse dans ce sens ; le durcissement des normes de construction neuve et de performance sur les équipements et les matériaux est un puissant levier sur l'innovation technologique. La recherche est en effet encore attendue pour offrir des solutions techniques encore moins coûteuses et plus performantes.

5. Transports : le rythme de l'électrification, l'organisation des transports urbains et la marchandise

Avec 27 % du total national, le secteur des transports est en France la première source d'émission de gaz à effet de serre. Entre 1990 et 2009, il a de surcroît accru ses émissions de 12 %. À toutes les échelles temporelles et géographiques, les études montrent une corrélation forte entre mobilité et richesse économique. C'est la vitesse qui fait le lien entre les deux comme l'a rappelé Yves Crozet lors de sa présentation au Comité : depuis 1880, une hausse de 1 % du PIB se traduit par un accroissement de 2,7 % de cette vitesse ! La substitution vers des modes de plus en plus rapides (de la marche ou du cheval vers l'automobile ou l'avion) a permis

(1) Le crédit d'impôt développement durable (CIDD) et l'éco prêt à taux zéro (éco PTZ) constituent les principales mesures à destination des ménages ; la bonification conditionnelle des instruments d'aide classiques comme le prêt à taux zéro pour l'accession à la propriété des ménages ou les prêts aux offices HLM a également incité à anticiper les normes de construction.

d'accroître considérablement la mobilité sans augmenter le « budget temps » utilisé pour les déplacements. La mobilité permet « l'intensification » des modes de vie et de consommation. Elle est intimement liée à la productivité et à la croissance, ainsi qu'à un certain mode de vie.

Compte tenu du poids de la mobilité dans nos modes de vie et dans notre système économique, les évolutions dans ce secteur apparaissent contraintes à court terme. Les leviers d'action sont cependant différents suivant les segments : la mobilité urbaine pour laquelle les trois leviers prioritaires semblent être l'accroissement de la part des modes doux, l'amélioration des transports en commun et l'électrification des véhicules ; la mobilité à longue distance pour laquelle l'extension du réseau LGV doit se combiner à l'amélioration des performances des véhicules routiers et des aéronefs et l'utilisation des biocarburants avancés ; le transport de marchandises, qui a le plus contribué à l'accroissement des émissions depuis vingt ans, pour lequel il faut combiner les efforts pour augmenter sensiblement les parts de marché des modes alternatifs à la route et pour améliorer les performances des véhicules routiers.

La trajectoire proposée par le comité à l'horizon 2050 vise une réduction de 65 % des émissions de gaz à effet de serre. Elle recherche un équilibre entre deux types de scénarios : ceux reposant essentiellement sur des progrès technologiques massifs sans remettre en cause nos habitudes de transport ; ceux impliquant au contraire une modification radicale de nos habitudes de mobilité en minimisant le recours aux hypothétiques progrès technologiques.

**Tableau 16 : Émissions du secteur transport
par rapport au niveau de 1990**

| Évolution/1990 (%) | 2009 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
|------------------------|------|-------|--------|--------|--------|
| Scénario 1 - Référence | 12 % | 3 % | - 22 % | - 44 % | - 65 % |
| Scénario 2 | 12 % | - 8 % | - 29 % | - 48 % | - 65 % |
| Scénario 3 | 12 % | - 8 % | - 29 % | - 48 % | - 65 % |

Source : travaux du comité

Le point de passage en 2020 dépend d'un certain nombre de paramètres. La trajectoire de référence (hausse de 3 % par rapport à 1990) correspond à une incorporation de biocarburant à hauteur de 10 %, à une flotte d'environ un million de véhicules électriques et hybrides rechargeables (VEH) et à une part modale non routière de 16 % pour le transport de marchandises. Dans le cas où le rebond post crise du transport de marchandise serait plus limité que prévu, une cible 2020 plus ambitieuse (baisse de 8 % par rapport à 1990) serait accessible si ces mêmes paramètres atteignaient respectivement 13 %, deux millions et 18 %.

Les trajectoires proposées aboutissent à une réduction des émissions de l'ordre de 65 % en 2050. Outre une croissance modérée de la mobilité par rapport à ce que l'on a connu lors des dernières décennies, cela suppose une transformation assez profonde des technologies utilisées : plus de la moitié des véhicules fonctionnerait à l'électricité, les autres, beaucoup plus légers qu'aujourd'hui, auraient une consommation proche de 2L/100km et près de 40 % du carburant serait issu de la biomasse. Le transport urbain serait largement électrifié, avec une forte

complémentarité entre modes ; la voiture « couteau suisse » et personnelle serait remplacée par des véhicules partagés optimisés en fonction de leur usage.

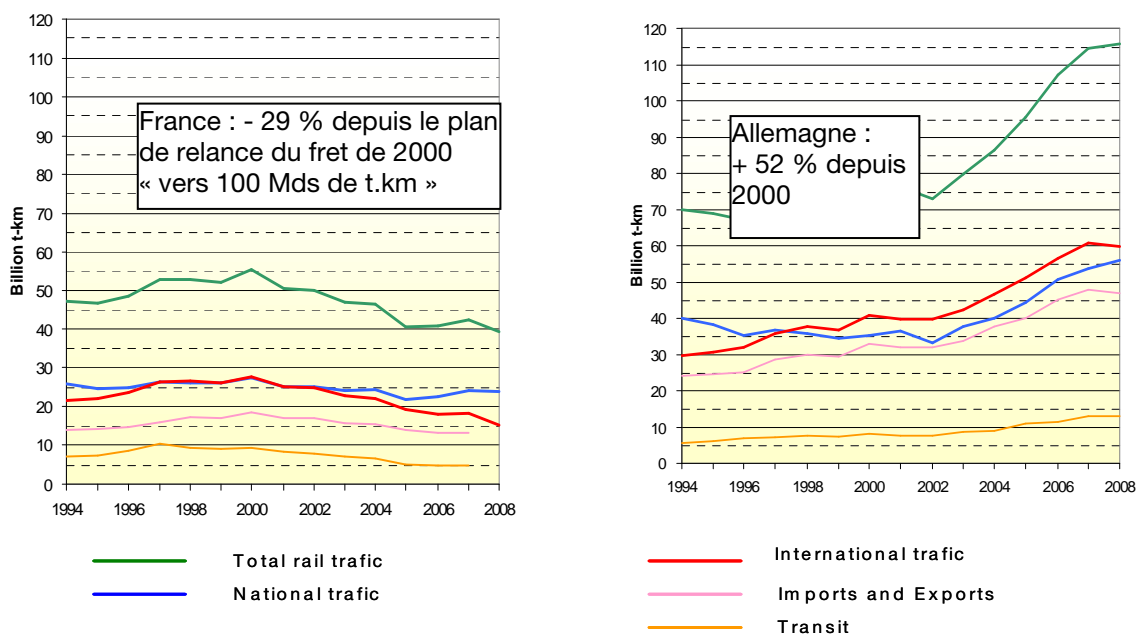
Sur le plan technologique, ces trajectoires supposent que la R&D et l'industrie seront à même d'apporter un certain nombre de solutions à l'horizon 2050. Les véhicules à combustion interne traditionnels ont connu des baisses régulières de consommation unitaire, amplifiées ces dernières années par les effets combinés du dispositif de bonus-malus, des réglementations européennes et de la crise économique ; de l'avis des experts, les potentiels de réduction sont loin d'être épuisés, notamment si le poids des véhicules diminue. Les biocarburants avancés (extraits de la biomasse ligno-cellulosique et des micro-algues) ne viendraient pas en concurrence de la production agricole alimentaire et n'auraient pas les inconvénients de la première génération, mais présentent encore des coûts très élevés et doivent faire l'objet d'expertises complémentaires. Enfin, l'électrification progressive des véhicules constitue une source importante de progrès, depuis le « *stop and start* » qui coupe le moteur à l'arrêt, en passant par les motorisations hybrides, et jusqu'au véhicule tout électrique ou fonctionnant avec une pile à combustible.

Il ne faut pas négliger que la pénétration d'une innovation technologique dans le parc dépend de la durée de renouvellement des véhicules. La voie réglementaire fixant un objectif global contraignant aux constructeurs automobiles et plus largement aux véhicules routiers semble porter ses fruits au niveau européen, tout en laissant ouverte la concurrence entre technologies ; là encore, des objectifs de long terme permettent de donner de la lisibilité et de stimuler l'offre.

Concernant la demande de mobilité et l'organisation des transports, aucun levier d'action ne doit être négligé, comme cela avait été acté lors du Grenelle de l'environnement : restriction de circulation automobile dans les grandes agglomérations, contrôle et réduction éventuelle de la vitesse routière, mise en œuvre rapide de la taxe poids lourds, amélioration de la qualité de service des transports en commun et du fret non routier, fiscalité de la route, entretien et développement des infrastructures des modes alternatifs à la route, etc.

Le transport de marchandise devra faire l'objet d'une attention particulière, de façon à favoriser le déploiement de chaînes logistiques efficaces dans un système de production et de consommation cohérent. L'expérience a montré, à plusieurs reprises en France, que les politiques mises en œuvre jusque là ont été insuffisantes pour entraîner un report significatif vers les modes non routiers ; pourtant l'expérience allemande confirme, s'il en est besoin, que ce n'est pas impossible.

Graphiques 18 : Évolution des trafics de fret ferroviaire en France et Allemagne (en Mds t.km)



Source : Présentation d'Yves Crozet au Comité

Enfin, les transports internationaux qui ne figurent pas dans l'inventaire méritent également une attention particulière car ils croissent en général plus vite que les transports intérieurs. L'inclusion de l'aviation dans l'ETS à partir de 2013 constitue, de ce point de vue, une avancée notable. Une extension du signal-prix à l'ensemble du transport aérien international, d'une part, et au transport maritime, d'autre part, pourrait passer par la mise en place d'un marché de permis.

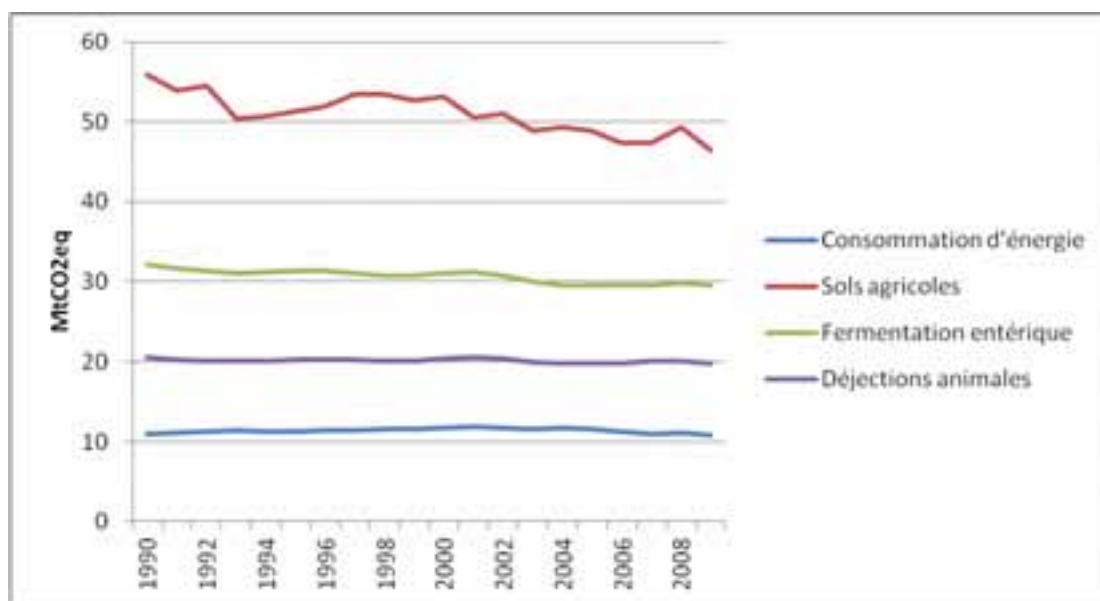
6. Vers une agriculture « écologiquement intensive »

Principale source des émissions de méthane (CH₄) et de protoxyde d'azote (N₂O), le secteur agricole représente le cinquième des émissions nationales de gaz à effet de serre. Par ailleurs, l'agriculture peut contribuer à stocker ou déstocker du carbone dans les sols suivant les pratiques de culture et d'élevage mises en œuvre. Elle concourt à élargir ou réduire cette capacité de stockage suivant les changements d'usage des sols possibles, notamment avec le couvert forestier et agricole d'un côté et les zones périurbaines de l'autre. Enfin, elle est l'un des principaux pourvoyeurs de carbone et d'énergie renouvelable *via* la production issue de biomasse (avec le secteur sylvicole).

Depuis 1990, les émissions d'origine agricole ont baissé d'un peu plus de 10 %, du fait du recul de 17 % des émissions de protoxyde d'azote liées à la fertilisation et de la baisse de 8 % de celles de méthane résultant de la diminution du cheptel bovin. Les émissions liées aux consommations énergétiques et aux déjections animales ont été stables. Ceci s'explique en partie par la méthode de comptabilisation des émissions fondée sur des coefficients forfaitaires (tonnes d'engrais utilisées et nombre de têtes de cheptel) qui conduit à des estimations présentant un niveau élevé d'incertitudes.

Ces évolutions sont assez directement corrélées aux variations de la production agricole et de l'occupation des sols qui en ont résulté. On ne peut donc pas parler de déconnexion entre production agricole et émissions de gaz à effet de serre. Pourtant, pour répondre aux enjeux alimentaires et environnementaux, le secteur agricole devra augmenter sa productivité tout en diminuant ses émissions de gaz à effet de serre.

Graphique 19 : Évolution des émissions agricole depuis 1990



Source : CITEPA 2011

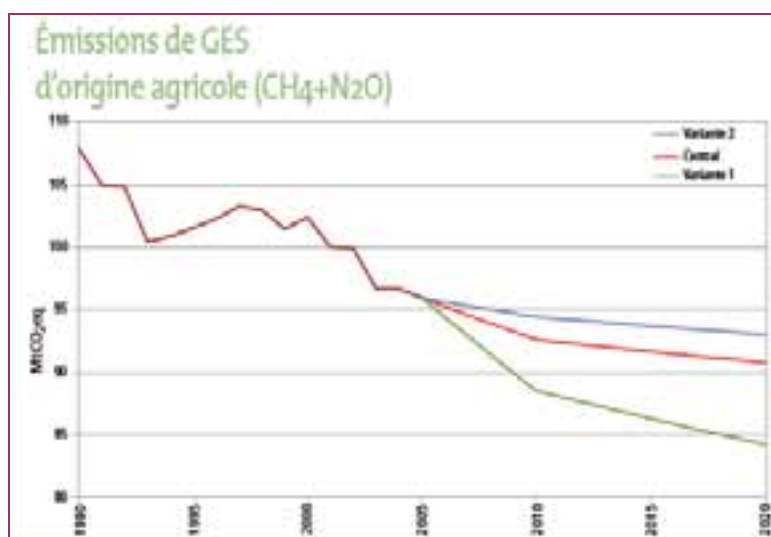
Les scénarios prospectifs consistent précisément à s'interroger, à partir d'une analyse multicritères, sur les capacités à moyen et long terme de l'agriculture à opérer une telle déconnexion. Ceci permettrait à l'agriculture de réduire ses émissions tout en faisant face aux autres défis auxquels elle sera confrontée :

- maintenir une capacité d'adaptation de la production pour faire face à la fois aux variations de la demande intérieure ainsi qu'à celles des marchés internationaux qui devront contribuer à l'horizon 2050 à assurer la sécurité alimentaire de 9 milliards d'habitants de la planète. Il faudra aussi adapter l'outil de production aux demandes nouvelles liées aux valorisations énergétiques et industrielles de la biomasse d'origine agricole ;
- s'intégrer dans les espaces nationaux en valorisant les patrimoines écologiques et les services environnementaux liés au climat, à la biodiversité et aux ressources en eau. Il faudra notamment veiller dans ce domaine aux possibles effets de transferts de nuisance si on privilégie le seul objectif de réduction des émissions ;
- s'adapter aux impacts du changement climatique qui, à l'horizon 2050, va entraîner des déplacements de systèmes de productions, pérenniser l'accès à la ressource hydrique et exiger de la part des agriculteurs de modifier un certain nombre de pratiques culturales.

Nos projections à l'horizon 2020 sont principalement basées sur les travaux de l'INRA ainsi que sur ceux présentés au Comité. La baisse de - 15 % dans notre scénario de référence correspond à la poursuite des gains passés, mais à un rythme ralenti car

l'hypothèse retenue sur l'évolution de la production d'ici 2020 a été revue à la hausse. L'atteinte d'une baisse de 21 % des émissions dans un scénario plus ambitieux implique une accélération des gains principalement obtenus par une plus large diffusion de pratiques agricoles déjà connues : diagnostic énergétique, fertilisation raisonnée, diversification des assolements, introduction de légumineuses dans la rotation, techniques culturales sans labours, amélioration de l'efficacité dans les consommations énergétiques et utilisation du méthane produit à la ferme.

Graphique 20 : Projection des émissions agricoles dans différents scénarios



Source : INRA (2008)

Tableau 17 : Scénarios d'évolution des émissions agricoles (tous gaz à effet de serre) en % d'évolution relativement à 1990

| Évolution/1990 (%) | 2009 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Scénario 1 – Référence | - 11 % | - 15 % | - 27 % | - 39 % | - 50 % |
| Scénario 2 | - 11 % | - 20 % | - 30 % | - 40 % | - 50 % |
| Scénario 3 | - 11 % | - 20 % | - 30 % | - 40 % | - 50 % |

Source : travaux du Comité

Les trois scénarios à l'horizon 2050 ont été construits en réunissant les expertises existantes au sein du groupe et sans pouvoir encore utiliser les travaux de prospective lancés par l'ADEME avec la participation du Ministère de l'agriculture dont les résultats n'étaient pas tous établis au moment de nos travaux. En revanche, le groupe a eu accès aux travaux prospectifs réalisés par Solagro à l'horizon 2050¹ qui reposent notamment sur l'hypothèse d'un changement des modes de consommation alimentaire qui faciliterait la réduction des émissions du fait d'une diminution des rations moyennes de viande et de produits laitiers.

Notre scénario vise un objectif de réduction de 50 % des émissions d'origine agricole à cet horizon. Cet ordre de grandeur correspond notamment à un potentiel de réduction fourni par les travaux de modélisation de la Commission européenne, de

(1) On notera que cette étude n'est pas encore validée par l'ensemble de la profession agricole.

l'IIASA et du PIK¹. Cet objectif ne sera atteignable que si des incitations puissantes sont mises en place pour faire évoluer les pratiques agricoles et les comportements alimentaires, et si un certain nombre de barrières technologiques et organisationnelles sont levées notamment grâce au renforcement du réseau de conseil aux agriculteurs.

Sous l'angle des incitations, l'accélération de la diffusion de nouvelles pratiques culturales et d'élevage serait facilitée par un passage à grande échelle du système des projets domestiques, expérimentés avec succès depuis 2009, et dont le groupe a pu apprécier l'intérêt à partir d'une présentation du grand groupe coopératif In Vivo. Ce dispositif, s'il est organisé et simplifié à condition d'éviter tout effet d'aubaine, pourrait demain devenir un élément décisif d'introduction du signal prix pour la réduction des émissions de gaz non CO₂ d'origine agricole et lever simultanément un certain nombre de barrières financières, les crédits carbone contribuant à financer les nécessaires programmes de recherche et développement ainsi que toute autre action permettant de réduire les émissions de gaz à effet de serre (*e.g.* financement des initiatives en faveur du développement durable).

Sous l'angle technique, la diffusion des méthodes « écologiquement intensives » requiert des niveaux accrus de maîtrise agronomique et zootechnique de la part des producteurs agriculteurs ainsi que de leurs organismes de développement. Sous cet angle les efforts de recherche fondamentale et appliquée publics, coopératifs et privés doivent être redéployés ou accrus, notamment en ce qui concerne les modes d'alimentation du bétail, la génétique, la biologie du sol et ses liens avec les pratiques culturales.

Enfin, la recherche est attendue pour mieux comprendre les phénomènes de séquestration du carbone dans les sols, car il y a là un enjeu important à préserver ce stockage (les prairies permanentes stockeraient par exemple plus de carbone dans le sol que les sols forestiers) et à accroître la teneur en carbone des sols agricoles. Cela passera également par une amélioration des méthodes de mesure et de comptabilisation des émissions et des puits dans les inventaires.

7. Forêt et puits de carbone : l'enjeu de la préservation du puits forestier

Les activités liées à l'utilisation des terres, leurs changements et la forêt (UTCF²) peuvent être des sources ou des puits de carbone suivant les cas. La forêt française, du fait de sa jeunesse et de son extension (sauf la forêt Guyanaise), a accru sa capacité à stocker du carbone depuis 1990 dans les sols et dans la biomasse. L'inventaire de 2009 montre que l'UTCF représente un puits de carbone de l'ordre de 64 MtCO₂eq, en hausse de 61 % par rapport à 1990. L'accroissement de ce puits ne résulte que marginalement des changements d'usage de sols : l'accroissement des surfaces forestières métropolitaines a été à peu près compensé par la diminution de celles en Guyane. Il résulte essentiellement de la gestion forestière, plus particulièrement de la croissance nette des arbres et d'une pyramide d'âge très favorable, la forêt française ayant bénéficié durant cette période des investissements importants réalisés après-guerre.

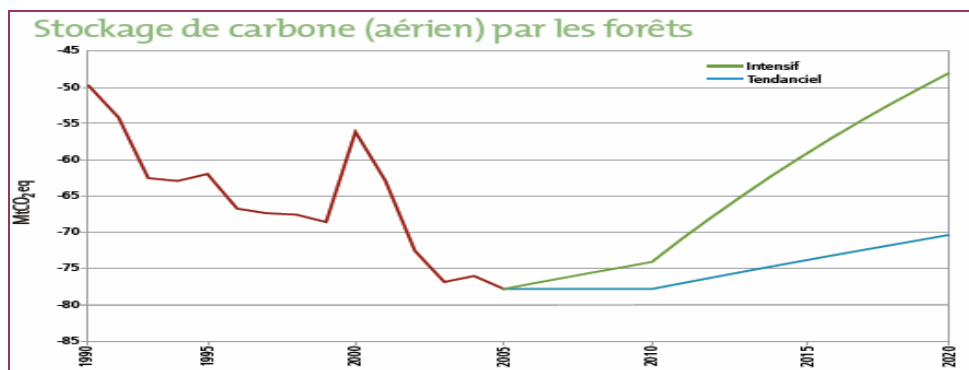
(1) Voir Popp *et al.* (2010).

(2) Ce secteur concerne les activités liées au changement d'utilisation des terres forestières, des cultures, des prairies, des zones humides et des zones urbanisées.

Pourtant, la pérennité de ce puits de carbone n'est pas assurée. Dans un système forestier à l'équilibre, la masse de carbone stockée est constante, ce n'est ni un puits ni une source. La forêt française constitue aujourd'hui un puits parce qu'elle est en croissance. Au-delà de la poursuite de la déforestation en Guyane, plusieurs phénomènes risquent d'inverser cette tendance en métropole. D'abord les investissements forestiers ont ralenti ces deux dernières décennies, tournés essentiellement vers des actions curatives (reboisements suite aux tempêtes). Par ailleurs, le réchauffement climatique pourrait entraîner une perte de productivité des forêts composées des essences implantées actuellement et par conséquent, une moindre capacité de stockage de CO₂. Par exemple, la canicule et la sécheresse de l'été 2003 ont entraîné une baisse du stockage de carbone (évalué par la croissance des arbres) estimé à 25-40 % par l'INRA au cours des 2-3 années suivantes. Enfin, la hausse de la demande de biomasse adressée à la forêt pour fournir de la bioénergie, aura tendance à entamer sa capacité de stockage si dans un même temps des investissements forestiers ne sont pas réalisés.

Les travaux de l'INRA à l'horizon 2020 anticipent déjà un recul du puits de carbone forestier à cet horizon. L'IFN a récemment publié des nouvelles données relatives à la production biologique des forêts métropolitaines et aux prélèvements forestiers, à partir d'une nouvelle méthode de comptabilisation permettant de réduire les incertitudes¹. Selon le CITEPA, cela conduirait à une baisse importante du puits forestier observé sur la période 2005-2008, et du puits forestier projeté à horizon 2020.

Graphique 21 : Évolution du puits de carbone dans différents scénarios



(Remarque : la pointe de l'année 2000 résulte des dégâts engendrés par les tempêtes)

Source : données rétrospectives et projections INRA (2008)

Les exercices de prospective « tendanciels » préliminaires présentent en première approximation pour le secteur forestier une trajectoire linéaire d'un puits allant de 64 MtCO₂eq en 2009 à zéro en 2040, le puits disparaissant à cette date. Ils pourront être affinés grâce au développement d'un modèle de simulation en cours de constitution au laboratoire d'économie forestière de Nancy. Pour modifier la tendance, il faudra agir sur trois leviers :

- une relance de l'investissement forestier destiné préserver et accroître le stockage de carbone par les forêts françaises, favoriser la mobilisation de la ressource et améliorer l'efficacité de l'utilisation des ressources en biomasse forestière. Les

(1) Voir IFN (2011).

leviers de cet investissement sont aujourd'hui mal identifiés : le recours à l'argent public risque d'être limité et la mobilisation de l'investissement privé exige des réorganisations de la filière et des incitations adéquates ;

- une anticipation des impacts potentiels du changement climatique à venir sur la capacité de stockage de la forêt. Cette anticipation exige à la fois de soutenir la recherche sur la vulnérabilité et la résilience des peuplements forestiers, d'approfondir les travaux conduits par l'INRA et de les intégrer dans les choix des nouvelles essences forestières plantées ;
- une hiérarchisation des usages entre stockage du carbone sur pieds ou utilisation de la forêt pour fournir de biens qui pourront stocker ou économiser du carbone à l'aval par des substitutions de bois dans les matériaux ou dans l'énergie. Ce dernier volet, assez complexe, n'a pas pu être approfondi par le Comité dans les délais impartis. L'inclusion de la forêt dans un système de tarification du carbone, soit par inclusion dans l'ETS suivant le modèle néo-zélandais, soit dans un mécanisme spécifique (avec une décision et un objectif distincts), serait de nature à introduire des incitations nouvelles pour la gestion forestière à long terme.

Ajoutons que le stockage de carbone par les sols agricoles et forestiers offre sans doute un grand potentiel à l'horizon 2050 si les pratiques culturales et d'élevage évoluent en ce sens. Ce stockage est à l'heure actuelle mal suivi dans l'inventaire national et une priorité de la recherche et développement serait d'améliorer les systèmes de mesure des flux de CO₂, d'inventaire, de modélisation et de contrôle dans ce domaine.

8. Comparaisons avec les résultats de la feuille de route européenne

Sans surprise les trajectoires construites pour la France présentent un grand nombre de similitudes avec l'exercice conduit au plan européen. Au niveau agrégé, les trajectoires sont tout à fait comparables. La trajectoire européenne part d'un acquis plus élevé en 2005 et aboutit à des réductions apparentes plus fortes en 2030 et 2050. Elle mobilise de surcroît des potentiels de réduction élevés dans la production énergétique qui ont déjà été utilisés en France. C'est la raison pour laquelle le facteur 4 français à l'horizon 2050 est compatible avec un « facteur 5 » européen.

Il est également important d'avoir en tête le poids relatif des différents secteurs. De ce point de vue, une condition importante d'atteinte des objectifs en 2050 est la mobilisation du potentiel de réduction du secteur agricole qui compte nettement plus dans les émissions françaises qu'européennes. La pérennité du puits de carbone en forêt est également un atout important pour compenser nos émissions de gaz à effet de serre.

Si les mutations à conduire dans le secteur des transports peuvent se comparer, la rupture à opérer dans le secteur des bâtiments semble particulièrement importante en France. Dans notre pays, les émissions ont en effet continué de progresser entre 1990 et 2005 alors qu'elles baissaient significativement dans le reste de l'Union européenne. Il faut dès lors postuler une rupture de trajectoires marquée en France dans le secteur des bâtiments à l'horizon 2030 pour se mettre sur une trajectoire 2050 compatible avec le facteur 4.

Tableau 18 : Comparaison des évolutions entre la France et l'UE

| | Part du total (%) | | Évolutions/1990 (%) | | | | | | | |
|--|-------------------|-----|---------------------|------|-------------|-------------|-------------|-----------------------|------|-------------|
| | 2005 | | 2005 | | 2020 | | 2030 | | 2050 | |
| | Fr | UE | Fr | UE | Fr | UE | Fr | UE | Fr | UE |
| Total (tous GES) | 100 | 100 | 0 | - 7 | - 16 à - 25 | - 23 à - 26 | - 33 à - 41 | - 40 à - 44 | - 75 | - 79 à - 82 |
| Industrie de l'énergie (CO ₂) | 13 | 31 | 3 | - 7 | - 25 à - 32 | - 30 à - 34 | - 49 à - 53 | - 54 à - 68 | - 96 | - 93 à - 99 |
| Industrie manufacturière (CO ₂) | 18 | 18 | - 8 | - 20 | - 24 à - 36 | - 31 à - 32 | - 32 à - 48 | - 34 à - 40 | - 84 | - 83 à - 87 |
| Transport (hors aérien et maritime) (CO ₂) | 25 | 18 | 18 | 25 | + 3 à - 8 | + 15 à + 27 | - 22 à - 29 | + 8 à - 17 | - 65 | - 61 à - 74 |
| Résidentiel-tertiaire (CO ₂) | 17 | 13 | 16 | - 12 | - 11 à - 20 | - 21 à - 25 | - 33 à - 42 | - 37 à - 53 | - 85 | - 88 à - 91 |
| Agriculture (non CO ₂) | 17 | 10 | - 10 | - 20 | - 14 à - 19 | - | - 26 à - 29 | - 36 à - 37 | - 49 | - 42 à - 49 |
| Autres (non CO ₂)* | 8 | 8 | - 30 | - 30 | - 41 à - 47 | - | - 48 à - 58 | - 71,5 à - 72,5 | - 86 | - 70 à - 78 |

Source : travaux du comité adaptés pour prendre en compte
Uniquement les gaz retenus dans la feuille de route de la Commission européenne

NB :

- * Cette ligne couvre les émissions de GES non CO₂ des secteurs de l'industrie de l'énergie, de l'industrie manufacturière, du transport (hors aérien international et maritime), du résidentiel-tertiaire et des déchets.
- Pour les secteurs, cette comparaison concerne uniquement les gaz retenus dans la feuille de route de la Commission européenne, et ne permet pas de couvrir tout l'inventaire ; il y manque les émissions de CO₂ de l'agriculture, et des déchets, soit environ 2 % des émissions totales hors UTCF ; le secteur UTCF n'est par ailleurs pas traité par la feuille de route climat 2050 de la Commission.
- Le complément 4 revient sur les hypothèses qui ont permis de séparer les émissions CO₂/non CO₂ pour les différents secteurs.

9. Assurer les cohérences spatiales, industrielles et économiques

Les analyses sectorielles ont mis en relief les multiples spécificités d'un secteur à l'autre et même souvent à l'intérieur de chacun d'entre eux. Cette diversité requiert une grande finesse dans les stratégies de réduction d'émission pour utiliser chaque fois des leviers d'action adéquats. Mais simultanément, il faut assurer une cohérence d'ensemble au plan spatial, industriel, économique et social.

Le travail sur les scénarios a rappelé combien les choix d'aménagement et d'occupation d'espace d'aujourd'hui avaient des impacts sur les émissions de demain. D'après l'Institut français de l'environnement, ce sont en France, 600 km² qui sont artificialisés par an, soit l'équivalent d'un département français tous les dix ans. Et la progression des surfaces artificialisées est 4 fois plus rapide que la croissance démographique. L'extension des zones périurbaines rend plus complexe la réduction des émissions dans le transport et exerce une pression croissante sur des terres agricoles ou forestières.

Une meilleure cohérence spatiale pourrait être obtenue par une mise en cohérence des politiques européennes, nationales et locales. L'aménagement urbain en constitue une illustration privilégiée. Il est clair que réduire l'impact de la mobilité locale, optimiser les besoins de chauffage, préserver les terres agricoles et la forêt passent à long terme par une politique d'urbanisation raisonnée à mettre en œuvre dès aujourd'hui. Malgré la multiplication des plans climats à différentes échelles, ils n'assurent pas pour l'instant la cohérence souhaitée entre les différents documents d'urbanisme ; il sera vraisemblablement nécessaire d'aller plus loin dans l'intégration des politiques aux différents niveaux ; une voie pourrait être d'attribuer aux pouvoirs locaux plus de responsabilités et de moyens d'action.

La politique industrielle est également une problématique qui traverse l'ensemble des secteurs. La R&D menée dans l'industrie a vocation à développer des innovations pour tous les secteurs. À l'intérieur même des secteurs, les technologies bas carbone pourront servir le développement de certaines filières mais à l'inverse réduiront fortement l'emploi dans d'autres. Au-delà de la seule innovation technologique, la structuration et la montée en compétence de certaines filières est un point de passage obligé. L'information, la formation, la labellisation sont des leviers complémentaires aux aides publiques conditionnées et aux réglementations.

Influencée par ces nouvelles technologies, l'évolution de l'organisation sociale et des modes de vie pourra également à terme modifier l'équilibre des besoins entre les différents secteurs. Si les technologies de l'information permettent une nouvelle mobilité virtuelle ou offrent plus de services de proximité dans une ville post-carbone, les besoins de transport pourraient par exemple être réduits.

La cohérence économique exige enfin que des critères objectifs de choix permettent de hiérarchiser dans le temps et dans l'espace les différentes actions à entreprendre, compte tenu des moyens et des financements disponibles. D'où l'intérêt de jauger la pertinence de ces actions à partir d'un étalon commun : le prix de la tonne de CO₂ évitée.

L'extension progressive du prix du carbone à l'ensemble des secteurs, que ce soit sous forme de quotas ou de taxe, paraît constituer un puissant levier pour atteindre le facteur 4 à l'horizon 2050. Dans tous les secteurs, les acteurs ont insisté sur la nécessité d'avoir un signal prix crédible et prévisible longtemps à l'avance, sans quoi les investissements d'envergure conduisant au facteur 4 risquent d'être repoussés au profit d'actions n'engendrant que des réductions immédiates. Des jalons intermédiaires, à 2030 par exemple, sont de nature à crédibiliser les objectifs de long terme ; une gouvernance spécifique, indépendante des aléas économiques et politiques, pourrait également apporter de la prévisibilité.

L'analyse sectorielle détaillée dans les paragraphes précédents a montré qu'il était possible, dans chaque secteur, de viser des cibles de réduction plus ambitieuses que celles du scénario de référence, moyennant un certain nombre d'actions sur l'offre comme sur la demande. Plutôt que de reprendre l'ensemble des mesures sectorielles permettant de passer du scénario 1 au scénario 2 ou au scénario 3, comme le Grenelle de l'environnement avait tenté de le faire, la conclusion de ce chapitre est clairement d'affirmer que les réductions atteignables sont d'autant plus élevées que le prix du carbone perçu par les acteurs économiques sera élevé. L'analyse du modèle Zephyr de la Chaire économie-climat montre par exemple que le prix du carbone passerait en 2020 de 28 €/tCO₂ à 43 €/tCO₂ si l'objectif de réduction de l'ETS était porté de -21 % à -34 % par rapport à 2005. Les modèles et les analyses technico-économiques donnent les mêmes enseignements pour les secteurs hors-ETS. On voit bien là l'importance du prix du carbone ou à tout le moins de cet étalon commun qu'est le prix de la tonne de CO₂ évitée. Cela ne diminue en rien le besoin de politiques sectorielles spécifiques mais facilitera au contraire leur cohérence et leur optimisation.

Un autre effet bénéfique de l'extension de la tarification du carbone est qu'elle permet, sous certaines conditions, de générer des effets bénéfiques en termes de croissance économique et de créations d'emplois. Mais on quitte ici le domaine de l'analyse sectorielle pour entrer dans celui de la macroéconomie qui fait l'objet du chapitre suivant.

Les impacts économiques

Les trajectoires sectorielles construites au chapitre précédent fournissent une analyse des potentiels de réduction d'émission, secteur par secteur, et permettent d'identifier les principales contraintes à lever par les politiques publiques pour atteindre les objectifs visés. Ce chapitre analyse plus en détail les impacts économiques et sociaux de ces trajectoires qui dépendront du choix des instruments mis en œuvre par les pouvoirs publics. Il repose sur un ensemble d'exercices de modélisation réalisés à la demande du Comité et dont les résultats sont présentés plus en détail dans le complément 5 du rapport. Leurs résultats ont servi de support à l'évaluation des impacts économiques présentés dans ce chapitre.

1. Un exercice de modélisation français

Un exercice de modélisation comprenant des modèles d'équilibre partiel et d'équilibre général a été coordonné par le Comité afin de déterminer de manière agrégée (*i.e.* au niveau macroéconomique) la trajectoire de réduction des émissions de GES qui serait cohérente avec les objectifs de la France à horizon 2020 et 2050 et qui assurerait l'atteinte de ces objectifs à moindre coût tout en optimisant ses impacts sur la croissance et l'emploi. Le tableau 20 propose un aperçu des modèles et leurs apports aux travaux du Comité.

Tableau 19 : Modèles ayant contribué aux travaux du Comité

| Modèles | Type du modèle | Trajectoire coût-efficace | Trajectoire prix du carbone | Impacts macroéconomiques | | Distinction ETS et non-ETS |
|-------------|---------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------------|------------|----------------------------|
| | | | | Agrégés | Sectoriels | |
| POLES | Technico-économique | Oui | Oui | Non | Non | Non |
| ZEPHYR-FLEX | Technico-économique | Non | Oui | Non | Non | Oui |
| GEMINI-E3 | Équilibre général | Non | Non | Oui | Oui | Oui |
| IMACLIM | Hybride | Oui | Oui | Oui | Non | Non |
| MESANGE | Macroéconométrique | Non | Non | Oui | Non | Non |
| NEMESIS | Macroéconométrique | Oui | Oui | Oui | Oui | Oui |
| THREEME | Macroéconométrique | Oui | Oui | Oui | Non | Non |

Source : Comité trajectoires

La modélisation est un outil d'aide à la décision utile qui permet d'évaluer les différents impacts de politiques données. Les modèles simplifient des relations économiques complexes et nous donnent une image de ce que pourrait être l'économie à un temps donné selon un ensemble précis d'hypothèses. Par-là même, les modèles indiquent les actions que nous devons entreprendre maintenant pour atteindre l'objectif de long terme.

Cependant, la réalité économique est très complexe et il est difficile de modéliser les interactions économiques ainsi que les nombreuses imperfections qui existent sur les marchés. Les modèles ont donc recours à de multiples simplifications pour pouvoir apporter des informations précises (à hypothèses données) sur d'autres aspects. Ces hypothèses ont une forte influence sur les résultats. Malgré cette limite, les résultats des exercices de modélisation contribuent à la réflexion mais ne sont que l'un des paramètres devant entrer parmi les critères de la décision.

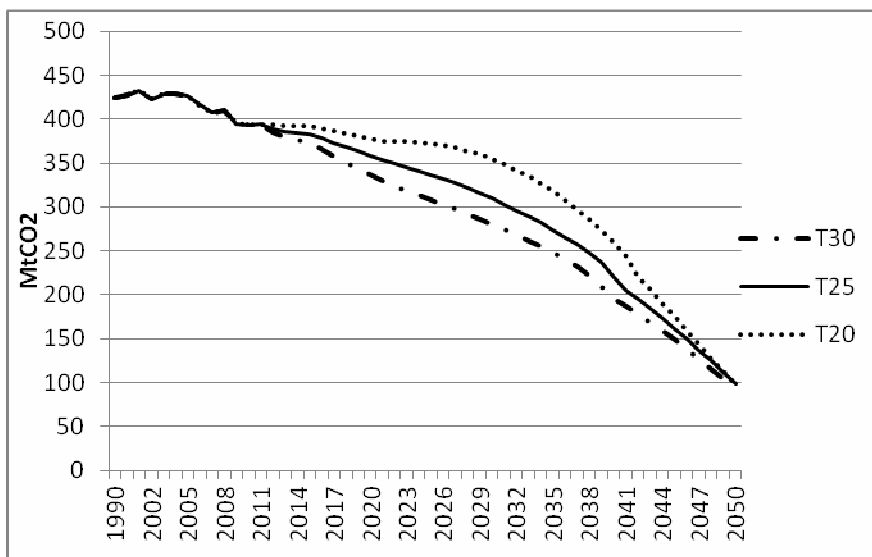
Les exercices de modélisation entrepris dans le cadre de ce Comité ont permis d'apporter des éléments sur trois points cruciaux pour la détermination d'une feuille de route vers une économie sobre en carbone à horizon 2050 de la France. Premièrement, ils ont permis de déterminer une trajectoire de réduction d'émissions coût-efficace pour chacun des points de passage à 2020¹. Deuxièmement, le prix du carbone associé à chacune de ces trajectoires a été identifié. Troisièmement, les incidences macroéconomiques des trois trajectoires ont été évaluées, suivant différentes hypothèses de choix d'utilisation du produit de la tarification du carbone.

2. La répartition des réductions d'émission dans le temps : les gains de l'action précoce

Les modèles d'équilibre partiel (*i.e.* sans bouclage macro-économique) permettent de déterminer la trajectoire coût-efficace des émissions (définie comme la trajectoire d'émissions qui permet d'atteindre l'objectif au moindre coût d'abattement) cohérente avec les objectifs fixés à 2020 et 2050. Cette condition d'efficacité résulte de l'hypothèse que font la majorité des modèles utilisés de l'application d'un prix unique du carbone à l'ensemble de l'économie, conduisant les agents à réduire les émissions tant que le coût de réduction est inférieur à la valeur carbone. Tant qu'il n'existe pas de mécanisme de tarification dans l'économie réelle, ce prix du carbone peut être considéré comme une « valeur tutélaire », susceptible de guider les choix de l'action publique si celle-ci pratique une réelle évaluation de ses politiques.

(1) Trois objectifs de réduction des émissions ont été considérés pour l'année 2020 : - 20 % par rapport à 1990 (objectif européen actuel) ; - 25 % par rapport à 1990 (proposition de la feuille de route européenne) ; - 30 % par rapport à 1990 (objectif initialement subordonné à la signature d'un accord climatique international satisfaisant les demandes européennes de partage de l'effort entre pays).

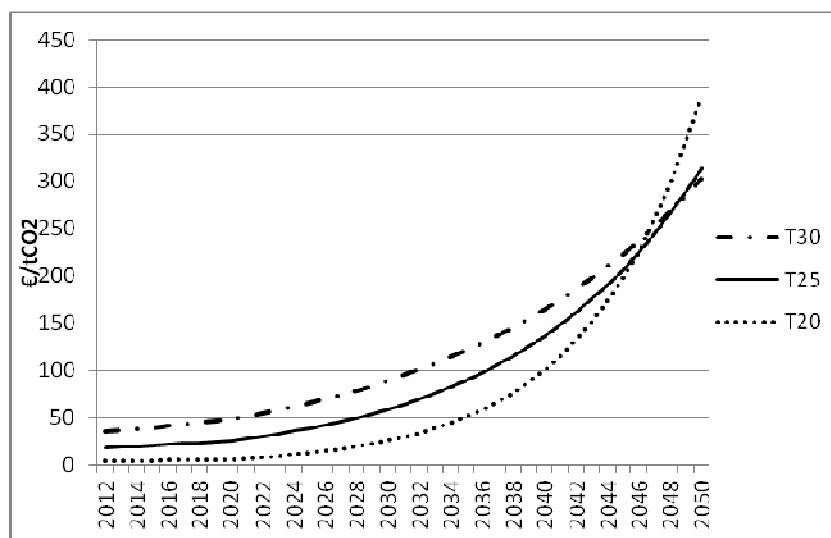
Graphique 22 : Trajectoires coûts-efficaces des émissions, France



Source : POLES

La trajectoire caractérisant un objectif de réduction de – 20 % en 2020, dénommé T20 dans la suite du texte, demanderait beaucoup plus d’efforts entre 2030 et 2050 que la trajectoire T30 qui propose une évolution plus linéaire, bien que plus contraignante entre 2010 et 2020 que les deux autres trajectoires. Ainsi, il apparaît que la trajectoire T30 correspond à un scénario d’action précoce (voir graphique 23) : la valeur du carbone qui y est associée est plus élevée en 2020 par rapport aux scénarios T20 et T25, mais deviendrait en 2050 inférieure de 22 % à celle du scénario T20. Le scénario T20 correspond à un scénario d’action retardée : l’effort est faible jusqu’en 2020, puis, un effort important est nécessaire pour combler le retard, ce qui se traduit par une hausse importante des prix du carbone.

Graphique 23 : Trajectoires des prix du carbone cohérentes avec les politiques climatiques



Source : POLES

Par construction, les trois trajectoires T20, T25 et T30 sont « coût-efficaces ». Trois critères paraissent pertinents pour en évaluer les mérites et inconvénients respectifs :

- d'un point de vue purement climatique, la trajectoire la plus pertinente est celle qui minimise le cumul des émissions entre 2010 et 2050. Ici, il s'agit de T30 qui réduit 8 % d'émissions de plus que T20 sur l'ensemble de la période ;
- un critère d'optimalité inspiré du modèle de Hotelling¹ d'épuisement des ressources non renouvelables préconise de choisir la trajectoire de prix ayant le taux de croissance le plus constant. Sous cet angle, T30 apparaît encore la plus pertinente ;
- un dernier critère est de calculer les coûts globaux associés à chaque trajectoire et de les ramener aux émissions évitées. Dans ce cas, la trajectoire T25 est celle qui minimise le coût tant que le taux de préférence pour le présent utilisé² est inférieur à 1 %. Pour un taux plus élevé, c'est T20 qui minimise le coût sur l'ensemble de la période.

Ainsi, l'approche coût-efficace sur laquelle reposent les travaux de modélisation du Comité suggère qu'il y aura un choix à faire entre un objectif en 2020 de – 25 % ou de – 30 %³. En effet, un objectif de réduction de 20 % en 2020 ne se justifie que si l'on adopte une vision de court-terme où l'on accorde peu de poids aux effets de long terme. Cette perspective n'est pas appropriée dans le domaine du changement climatique car on sait que les impacts ne se feront pleinement ressentir qu'à très long terme.

Le choix entre l'une ou l'autre des trajectoires dépendra du poids que l'on accorde aux critères proposés mais également du choix du taux de préférence pour le présent. Cette question-là fait l'objet de nombreux débats entre économistes notamment suite à la parution du Rapport Stern, bien qu'il y ait consensus sur le fait qu'un taux bas soit plus adapté à ce champ de l'économie qu'un taux élevé, notamment pour des raisons d'équité envers les générations futures. Un taux de préférence pour le présent inférieur à 1 % paraît donc approprié. Dans ce cas, T25 est préférable à T30.

Ces résultats, assez largement convergents avec ceux du modèle NEMESIS, ont été obtenus à partir du modèle POLES. Pour qu'ils puissent s'appliquer dans l'économie réelle, encore faudrait-il qu'il y ait un mécanisme de tarification du carbone dans le secteur hors ETS. Un signal prix unique permet en effet de révéler à l'ensemble des secteurs économiques le prix implicite des émissions de carbone qui ne sont pas prises en compte par les secteurs ou agents économiques émetteurs du fait de leur nature même (*i.e.* un bien public gratuit, non rival et non exclusif). Ce faisant, elle incite les agents économiques à modifier leurs comportements et à s'orienter vers des modes de consommation et de production sobres en carbone. En appliquant une valeur unique du carbone à travers l'économie, la tarification du carbone permet

(1) Ce critère renvoie à un arbitrage inter-temporel : le décideur doit être indifférent entre réduire une unité supplémentaire de CO₂ aujourd'hui ou le faire demain – ces deux actions doivent avoir exactement la même valeur, ou la même utilité sociale si l'on se place du point de vue de la collectivité. Pour qu'il en soit ainsi, il faut que le prix associé à ce bien croisse dans le temps au rythme du taux d'intérêt ou encore du taux d'actualisation. Voir H. Hotelling (1931).

(2) Il s'agit d'un taux qui s'ajoute au taux de croissance de l'économie implicitement utilisé dans le modèle POLES pour tenir compte des spécificités liées au changement climatique. Par exemple, dans le Rapport Stern, un taux de 0,1 % a été utilisé. Voir Rapport Quinet (2008).

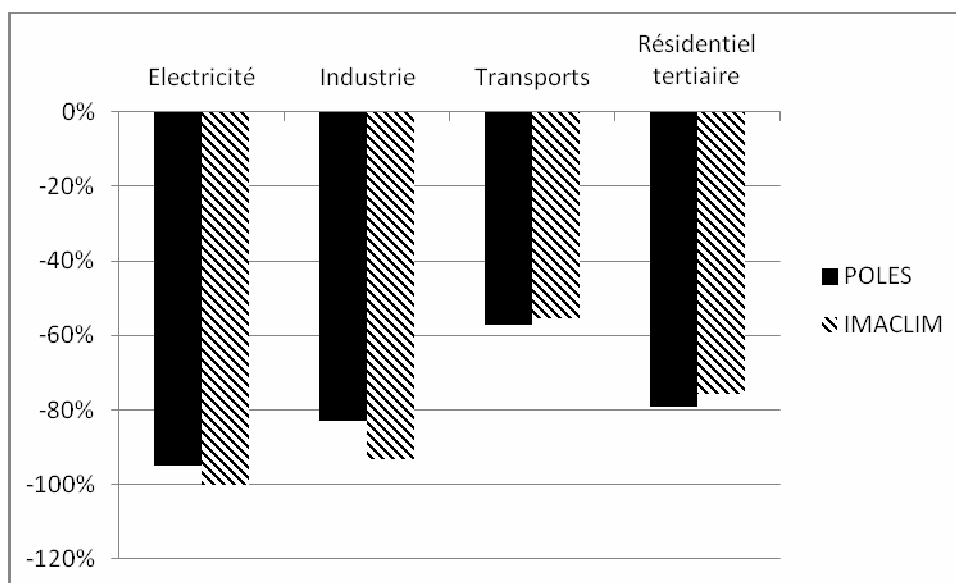
(3) On notera que les modèles ne considèrent pas les conditions requises de financement associées à un tel renforcement de l'objectif.

d'égaliser les coûts marginaux d'abattement entre les secteurs et résulte de fait en une répartition coût-efficace du partage de l'effort entre les secteurs : les efforts sont faits là où ils sont le moins coûteux. L'extension du prix du carbone aux secteurs diffus non couverts par l'ETS est donc cruciale. C'est pourquoi l'instauration d'une telle tarification est l'une des premières propositions du Comité présentées au chapitre 5.

3. Une répartition sectorielle de l'effort qui souligne l'hétérogénéité des secteurs

Les modèles ont apporté un éclairage sur la ventilation des trajectoires de réduction d'émission entre secteurs d'activité. Cette répartition sectorielle est reproduite dans le graphique 24 qui ne couvre que les émissions de CO₂ énergétique, ce qui ne permet qu'une inclusion très partielle de l'agriculture qui n'a donc pas été représentée sur le graphique.

Graphique 24 : Répartition des réductions d'émission entre secteurs en 2050 par rapport à 2005 (CO₂ énergétique uniquement)



Source : POLES et IMACLIM

La modélisation indique ainsi que tous les secteurs doivent contribuer aux réductions d'émission pour atteindre le facteur 4 en 2050. Mais elle suggère également que les contraintes résultant des inerties propres à chaque secteur font que ces rythmes devraient fortement varier d'un secteur à l'autre. Le Comité a noté à cet égard une grande cohérence entre les résultats de modélisation présentés et ses propres analyses conduites lors des séances sectorielles (cf. Chapitre 3) : dans les deux types d'approche, les réductions les plus importantes apparaissent dans l'énergie puis l'industrie, le bâtiment suivant et le transport étant le secteur où les réductions sont les plus longues à se réaliser.

4. Les impacts sur la croissance de l'économie et de l'emploi suivant le mode de recyclage de la valeur carbone

Comment maintenant intégrer les interactions macro-économiques ? Pour aller au-delà des modèles d'équilibre partiel, il faut introduire un bouclage macroéconomique, ce qui a été fait par plusieurs équipes dont les travaux convergent assez largement (à l'exception du modèle IMACLIM comme le rappelle le complément 5). Nous nous appuyons ici principalement sur les résultats du modèle MESANGE développé au sein du Trésor (voir Tableau 21). Ce modèle a simulé une situation dans laquelle la France introduirait une taxe carbone nationale dont le taux suit dans le temps celui du prix du carbone associé à chacune des trois trajectoires précédemment décrites. Le scénario de référence suppose que l'on se situe sur un sentier de croissance régulier et ne prend pas en compte les politiques publiques à venir. Il ne prend donc pas en compte le signal prix unique du carbone sur l'ensemble de l'économie. L'impact d'une politique est mesuré à partir de l'écart entre le *niveau* des variables d'intérêt (ici le PIB et l'emploi) après le choc et le *niveau* de ces variables dans le scénario de référence.

- la mise en place du signal prix au travers d'une taxe carbone sans recyclage des revenus¹ conduirait à une baisse de l'activité économique et de l'emploi d'autant plus marquée que l'objectif de réduction serait ambitieux ;
- le recyclage du produit de la taxe uniquement sous forme de baisse des cotisations sociales employeurs s'accompagne d'un effet légèrement positif sur l'activité et l'emploi, et ce d'autant que l'objectif est contraignant à court terme (*i.e.* en 2020). C'est ce que l'on appelle le « double dividende ». Ce résultat avait déjà été mis en avant dans les travaux préparatoires à la mise en place de la « Contribution climat-énergie » ;
- un recyclage hybride combinant baisse des cotisations sociales employeurs et soutien à l'innovation a un effet optimal : le soutien de la R&D a un impact fort sur la compétitivité, la croissance et l'emploi, et la baisse des cotisations salariales réduit quant à elle le coût du travail et incite à accroître la demande d'emploi. Leurs effets conjugués conduisent à une forte hausse de la croissance et de l'emploi.

(1) On suppose ici que le produit de la taxe va dans les caisses de l'État mais n'a pas d'effet positif sur l'économie. Voir le complément 5.

Tableau 20 : Impacts macroéconomiques d'un prix du carbone selon différents scénarios climatiques et modes de recyclage des revenus

| | 2020 | | | 2030 | | | 2050 | | |
|----------------------|--------|------|---------|--------|------|---------|--------|------|---------|
| | SR* | CS* | CS+CIR* | SR* | CS* | CS+CIR* | SR* | CS* | CS+CIR* |
| – 30% en 2020 | | | | | | | | | |
| PIB, en % | – 0,45 | 0,37 | 0,59 | – 0,56 | 0,63 | 0,97 | – 0,37 | 0,82 | 1,19 |
| Emploi, en millier | – 78 | 106 | 125 | – 95 | 152 | 155 | – 55 | 159 | 164 |
| – 25% en 2020 | | | | | | | | | |
| PIB, en % | – 0,25 | 0,21 | 0,42 | – 0,41 | 0,40 | 0,74 | – 0,44 | 0,76 | 1,13 |
| Emploi, en millier | – 44 | 59 | 78 | – 72 | 104 | 106 | – 70 | 157 | 162 |
| – 20% en 2020 | | | | | | | | | |
| PIB, en % | – 0,07 | 0,06 | 0,28 | – 0,20 | 0,15 | 0,49 | – 0,58 | 0,70 | 1,06 |
| Emploi, en millier | – 12 | 16 | 38 | – 37 | 45 | 48 | – 99 | 163 | 168 |

Source : MESANGE

* : SR : sans recyclage (le revenu de la taxe n'est pas utilisée pour réduire la dette) ; CS : baisse uniforme des cotisations sociales employeurs ; CS+CIR : baisse uniforme des cotisations sociales employeurs et renforcement du CIR.

Ces résultats sont corroborés par les travaux réalisés à partir du modèle NEMESIS. Ils doivent néanmoins être interprétés avec les précautions d'usage rappelées dans le complément 5 : la modélisation ne tient pas compte des multiples inerties qui, dans la réalité, limitent la plasticité de l'économie et son aptitude à réagir à un signal prix accompagné d'un recyclage optimal de la taxe. Pour que ces effets positifs puissent apparaître à horizon visible, il faut donc s'interroger sur le fonctionnement réel des mécanismes qui favorisent la diffusion de l'innovation et les bons ajustements sur le marché du travail.

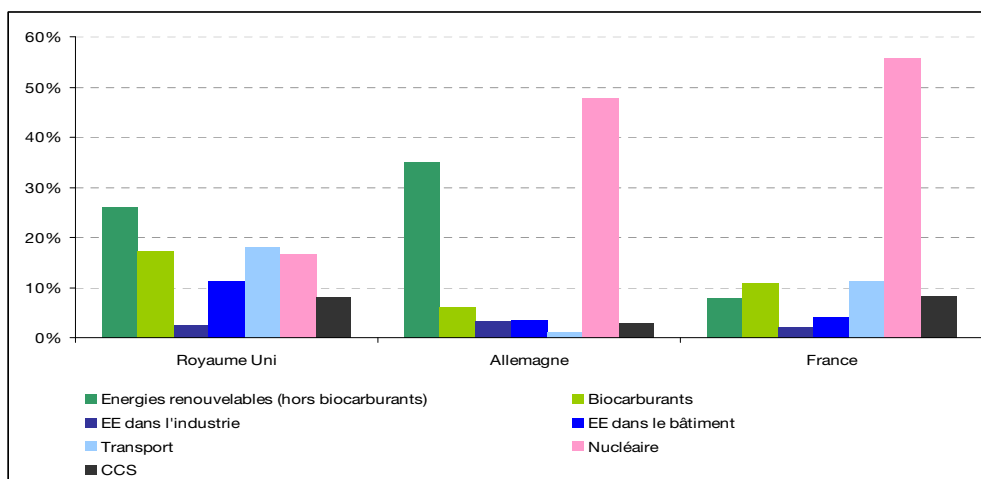
5. Les ruptures technologiques nécessitent des instruments spécifiques

Sous la pression de contraintes que constitue la raréfaction des ressources énergétiques et les changements climatiques, l'innovation technologique apparaît comme une des actions clés dans l'atteinte des objectifs climatiques.

Le premier enjeu ici est le transfert de technologies propres : malgré les nombreux bénéfices qu'elles recouvrent, ces technologies ne se diffusent pas spontanément du fait de nombreuses barrières économiques et non-économiques. Une intervention publique est donc souhaitable pour corriger ces défaillances, en incitant par exemple les entreprises à investir dans ces technologies. L'extension du prix du carbone aux secteurs ne participant pas à l'ETS est un moyen d'y parvenir.

Le deuxième enjeu est que les technologies actuelles ne permettront pas d'atteindre les objectifs fixés. Des ruptures technologiques sont nécessaires dans les différents secteurs et il est nécessaire pour cela d'accroître le soutien à la R&D. Actuellement, l'effort de R&D en France est important mais il porte significativement plus sur l'énergie nucléaire que sur les autres sources d'énergie (voir graphique 25). Pourtant, les grandes entreprises françaises disposent de capacités importantes de R&D dans des domaines bien spécifiques (*e.g.* Alstom dans le CCS, St Gobain dans les matériaux et technologies associées, Air Liquide dans les gaz industriels, EDF et AREVA – entre autres – dans l'énergie, le CEA, etc.). Il s'agit de trouver le moyen de transférer ces connaissances, ces « externalités positives » aux petites et moyennes entreprises car, comme les modèles l'ont montré, cela générerait à terme de la croissance et de l'emploi. Les pôles de compétitivité auront donc un rôle clé à jouer.

**Graphique 25 : Allocation des dépenses publiques de R&D en 2009
(en % des dépenses totales pour ces 7 postes)**



Source : base de données de l'AIE sur la R&D

Lors de la conception des politiques climatiques, il s'agira de ne pas favoriser une filière par rapport à une autre, de laisser l'ensemble des choix ouverts et de s'appuyer sur des instruments économiques pour identifier les meilleures orientations. Il sera également nécessaire de limiter les effets d'éviction et d'adopter une approche globale, en favorisant l'exportation des technologies et connaissances nationales.

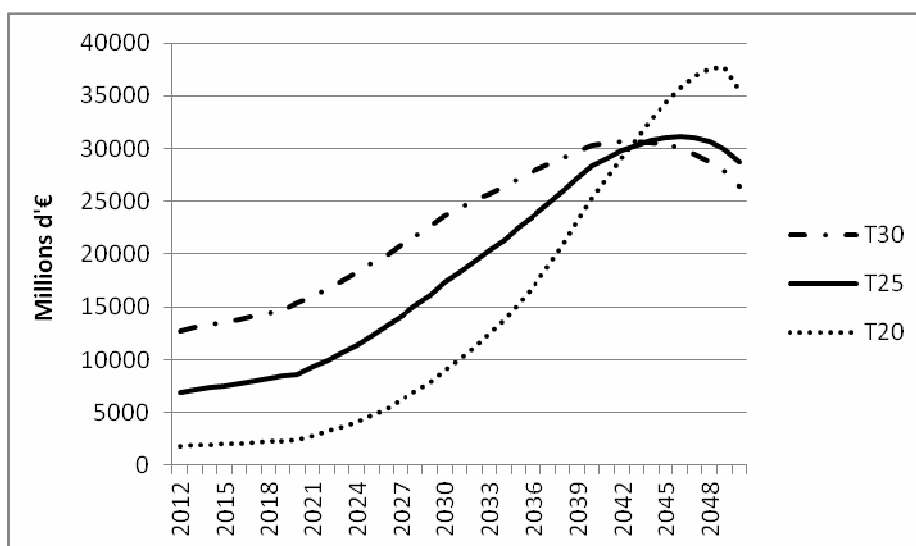
6. La question du financement et son lien avec le prix du carbone

L'extension d'un prix unique du carbone à l'ensemble des secteurs économiques ne se fera pas spontanément et aura un coût certain pour l'économie. À partir du modèle POLES, il est possible d'évaluer le coût d'abattement total (*i.e.* jusqu'en 2050) associé à chacune des trajectoires coût-efficaces : 256 Md€ pour la trajectoire passant par un objectif de réduction des émissions de 20 % en 2020 par rapport à 1990 ; 324 Md€ pour celle qui a un objectif de -25 % en 2020 ; et, 437 Md€ pour celle qui a un

objectif de – 30 % en 2020. Il s'agit de montants de coûts non négligeables, compris entre 7 et 12 % du PIB anticipé en 2050¹, qu'il va falloir financer.

Les travaux du Comité suggèrent de recourir à un instrument économique (*i.e.* taxe carbone ou marché de permis d'émissions) pour atteindre ces objectifs à moindre coût tout en levant des ressources financières (produit de la taxe ou revenus de la vente aux enchères des quotas d'émissions). Le graphique 26 propose une représentation des revenus attendus d'une taxe carbone cohérente avec les trois trajectoires de réduction d'émissions coût-efficaces.

Graphique 26 : Revenus potentiels de la taxe carbone



Source : MESANGE

Ce graphique amène deux constats :

- 1) la mise en place d'une taxe carbone pourrait être associée à des ressources financières substantielles (le cumul serait compris entre 578 et 891 Md€ selon la trajectoire) ;
- 2) ces revenus ne seront pas pérennes : les revenus vont commencer à décroître lorsqu'il sera plus cher de payer la taxe que de payer le coût de réduction des émissions. Cette situation, bien que souhaitable car révélatrice de l'efficacité de l'instrument retenu, implique que d'autres recettes devront prendre le relais pour financer les dépenses publiques à très long terme.

Les revenus d'une taxe carbone peuvent être en effet utilisés de trois manières : consolidation budgétaire, transfert de fiscalité, financement de dépenses supplémentaires. On peut par exemple décider de réduire l'endettement ; de soutenir la croissance économique ; de financer des politiques publiques, par exemple climatiques, qui permettront d'atteindre plus facilement les objectifs que l'on s'est fixé (en France ou dans les pays en développement). Les modèles macroéconomiques classiques suggèrent que le recyclage optimal consiste à réduire les prélèvements sur le travail tout en soutenant l'innovation. Le second type de dépense s'inscrit bien dans le cadre d'un supplément de dépenses en capital à la charge des pouvoirs publics

(1) En supposant un taux de croissance du PIB en volume de 2 % par an.

pendant une période de transition. Le premier type implique d'envisager, ainsi que l'ont rappelé certains membres du Comité, d'autres sources de financement pour la protection sociale à long terme.

Enfin, différents modes de recyclage ont différents effets socio-économiques. Le choix du recyclage devra également tenir compte des conditions sociales de la transition.

7. Les conditions sociales de la transition vers une économie sobre en carbone

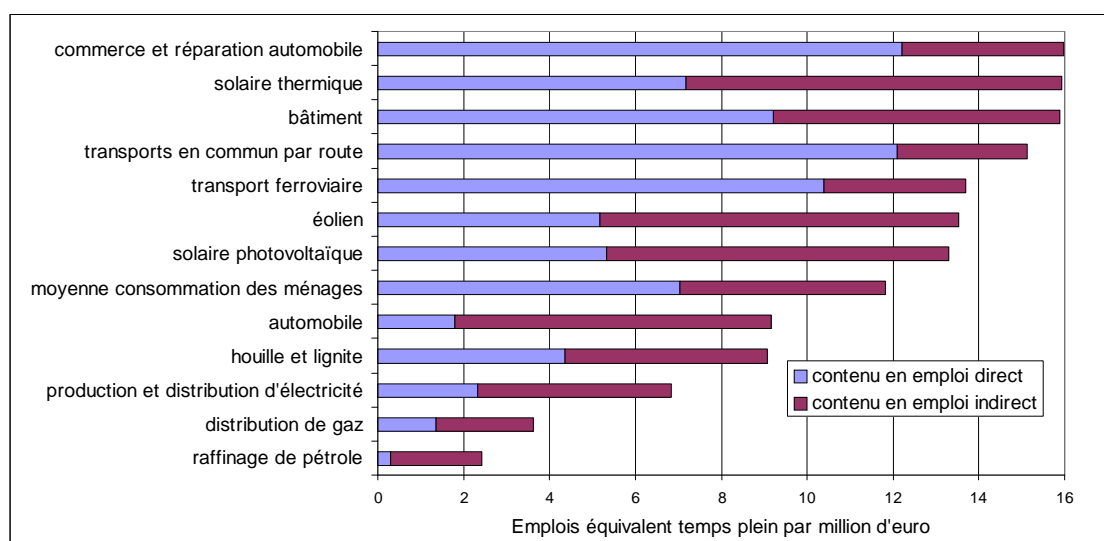
L'une des conditions clefs pour la réussite de la transition vers une économie sobre en carbone est son « acceptabilité sociale ». Ce terme est souvent utilisé dans une conception étroite d'acceptabilité par la population riveraine de tel ou tel investissement susceptible de dégrader l'environnement immédiat. Ce volet est important dans le déploiement de tout nouvel investissement, qu'il s'agisse d'un parc éolien ou d'une installation de CCS, deux objets susceptibles de déclencher des oppositions locales véhémentes.

Les travaux du Comité ont tenté d'analyser de façon plus large, les conditions sociales de la transition vers l'économie sobre en carbone. Au-delà de l'acceptabilité de tel ou tel équipement, cette idée renvoie à la notion d'adhésion sociale pour une telle transition sans laquelle les acteurs ne s'y engageront qu'avec réticence. Cette adhésion suppose en premier lieu un effort d'information et de diffusion des connaissances *via* le système éducatif. Mais elle sera forte si les politiques mises en place créent de l'emploi, anticipent les reconversions professionnelles et corrigent les effets récessifs susceptibles d'être engendrés par l'extension du prix du carbone à l'ensemble de l'économie.

Le Comité a examiné dans le détail les impacts possibles des politiques climatiques sur l'emploi. La méthode la plus simple consiste à comparer le contenu en emploi, direct et indirect, des différentes filières ; les créations nettes d'emploi apparaissent comme la différence entre les créations nouvelles dans les filières bas carbone et les destructions dans les filières ou procédés fortement émetteurs de gaz à effet de serre.

Le contenu en emploi diffère assez sensiblement d'une filière à l'autre pour plusieurs raisons : parts variables d'importation, différences de taux de profits, différences de salaires, rentes de ressources naturelles, rentes foncières, *etc.* En France, les secteurs traditionnels de l'énergie ont un faible contenu en emplois, contrairement au secteur du bâtiment, des transports en commun et plus généralement des services (voir graphique 27). Les énergies renouvelables ont un contenu en emploi qui se situe au-dessus de la moyenne, mais il est difficile de distinguer les emplois liés à leur premier déploiement (travaux de construction et de pauses) de ceux qui seront pérennes en régime de croisière. Le contenu en emplois en France des branches fossiles est faible, car les énergies fossiles sont importées et les emplois liés à la production de ce pétrole sont créés à l'étranger. Ainsi le contenu en emploi dépendra de la capacité des politiques à développer de nouvelles filières industrielles pouvant assurer la fourniture et la pause de nouveaux équipements mais également assurer à l'amont leur production et les efforts de R&D nécessaires à leur mise au point.

Graphique 27 : Contenu en équivalent temps plein par million d'euros pour certaines filières françaises



Source : Présentation de Philippe Quirion au Comité

Si on veut concrétiser les impacts positifs sur l'emploi décrits par certains exercices de modélisation, il est nécessaire de s'assurer que les reconversions professionnelles pourront s'opérer dans de bonnes conditions. Certains secteurs ou métiers connaîtront un déclin, quand d'autres devraient générer des emplois nouveaux. La modélisation macroéconomique indique qu'un recyclage de la valeur carbone vers la réduction des charges et des dépenses additionnelles de R&D est susceptible de faire apparaître rapidement un solde positif. Compte tenu des inerties et de la viscosité du marché de l'emploi, une condition majeure est que les transitions soient anticipées et préparées à l'avance. Ceci concerne tant l'adaptation des formations initiales et continues pour répondre aux nouveaux besoins que l'accompagnement des salariés dans leurs parcours professionnels. Le Comité a avancé dans le chapitre 5 un certain nombre de propositions pour améliorer cette gestion prévisionnelle de l'emploi et des compétences.

Dernière condition d'adhésion sociale : prévenir les possibles effets régressifs de l'extension de la tarification du carbone dans l'économie, notamment du côté des ménages les plus vulnérables. Les études révèlent que la précarité énergétique concerne environ un ménage sur cinq. Si une compensation générale d'une taxation du carbone pour les ménages contrarierait l'objectif de réduction des charges bénéfique à l'emploi, l'absence de toute compensation risquerait de renforcer les inégalités de niveau de vie. Un recyclage combinant baisse des cotisations sociales et compensation différenciée et ciblée vers les ménages les plus vulnérables au renchérissement des produits énergétiques devrait donc être envisagé. L'équité sociale devrait ainsi être conciliée avec l'efficacité économique.

8. Analyse des impacts pour la France d'un rehaussement de l'objectif européen de réduction d'émission en 2020

Les éléments sont maintenant réunis pour fournir une analyse plus complète des impacts pour la France d'un rehaussement de l'objectif européen de réduction d'émission en 2020. Si tous les membres du Comité ne partagent pas une vision commune face à l'opportunité d'un tel relèvement, ses travaux permettent d'identifier les paramètres que les pouvoirs publics devraient prendre en considération pour la prise de décision.

- 1) Un critère qui vient spontanément à l'esprit pour le choix de rehausser ou non l'objectif est celui du coût additionnel que cela représente. La Commission européenne dans sa communication de 2010¹ avait indiqué que le passage d'un objectif de réduction des émissions de GES de 20 % en 2020 par rapport à 1990 à un objectif de -30 % (avec possibilité de recours aux mécanismes de flexibilité internationaux) aurait un coût supplémentaire de 10 Md€ en 2020, nettement plus faible qu'initialement estimé du fait de la récession économique. Pour la France, les exercices de modélisation estiment ce coût supplémentaire entre 4 et 9 Md€ (soit entre 0,2 et 0,4 % du PIB) suivant les modèles.

Si on retient comme critère la minimisation du coût par tonne de CO₂ évitée sur l'ensemble de la période, la trajectoire passant par -25 % en 2020 doit être privilégiée si on utilise un taux d'actualisation bas, ce qui est habituel en matière de politique climatique. Si on utilise un taux qui déprécie rapidement le futur, la trajectoire passant par -20 % peut être acceptée, mais elle rend très coûteuse, voire improbable, l'atteinte du facteur 4 en fin de période.

- 2) Les travaux de modélisation suggèrent de mettre les bénéfices atteints en regard de ces coûts pour identifier la bonne décision. Si on ne considère que le bénéfice climatique, l'objectif de -30 % en 2020 doit être privilégié, de même que si l'on cherche la trajectoire de prix du carbone augmentant le plus régulièrement dans le temps. Mais pour garantir l'efficacité de cette trajectoire, il faut faire l'hypothèse de l'introduction d'une valeur carbone dans l'ensemble de l'économie dès le début de période.

La prise en compte des rétroactions macro-économiques résultant de l'introduction de cette valeur carbone suggère qu'un recyclage permet d'obtenir rapidement des effets bénéfiques sur l'activité et l'emploi s'il combine trois usages : la baisse des charges salariales, une compensation ciblée sur les seuls acteurs en situation de précarité et le financement additionnel de la R&D et de l'innovation. Ses effets impliquent cependant des capacités de plasticité et d'adaptation de l'économie que les modèles ne savent guère appréhender.

- 3) Au plan institutionnel, La décision de renforcer l'objectif climatique européen ne dépend pas uniquement de la France et implique de trouver un accord politique au sein de l'UE. Si une telle décision est prise, il faudra revoir la répartition des engagements entre pays à l'horizon 2020, ainsi que la part du supplément de réduction devant être obtenue dans les secteurs ETS et hors ETS.

Les travaux du Comité montrent la position très spécifique de notre pays du fait de la part prépondérante de ses émissions hors ETS pour lesquels peu de mécanismes de flexibilité entre pays européens existent. Pour faciliter l'atteinte

(1) Commissions européenne (2010).

d'objectifs ambitieux dans le secteur hors ETS, notre pays pourrait judicieusement proposer à nos partenaires européens d'élargir les mécanismes de flexibilité en Europe pour les secteurs hors ETS.

- 4) Un rehaussement de l'objectif de 5 % qui porterait sur le hors ETS ne pourrait être atteint avec la seule application des politiques et mesures actuelles. Il faudrait par conséquent rapidement engager des mesures complémentaires aux mesures existantes, adaptées aux contraintes de chaque secteur. Les analyses du chapitre 3 révèlent que les mesures actuelles sont une combinaison de mesures réglementaires, dont le coût pour l'économie est mal identifié, et de systèmes d'incitations fiscales coûteux pour les finances publiques. Leur extension risquerait donc de peser sur le budget de l'État.

Leur financement serait grandement facilité par l'extension de la tarification du carbone dans l'économie dont la particularité est d'envoyer des incitations à réduire les émissions en procurant simultanément des recettes additionnelles à l'autorité publique. C'est la raison pour laquelle la majorité des membres du groupe s'est prononcé pour une extension du signal-prix carbone dans le secteur non-ETS, de préférence à l'échelle européenne ce qui risque de prendre du temps, mais, à défaut, rapidement au plan national.

- 5) Un rehaussement de l'objectif de 5 % qui porterait sur l'ETS aurait pour conséquence d'abaisser le plafond d'émission sur le marché du carbone d'un peu plus de 10 % en 2020 d'après les hypothèses retenues par la Commission sur la répartition entre ETS et hors ETS. Le premier effet en serait une remontée du prix du quota de CO₂ qui a été estimé à un peu plus de 40 € la tonne par le modèle ZEPHYR. Une telle remontée du prix du carbone est souhaitable au regard de la valeur tutélaire du carbone et souhaitée par les membres du Comité, mais les entreprises considèrent qu'un rehaussement de la cible à 2020 n'est pas le moyen approprié car il ne tient pas compte des délais nécessaires pour les investissements et remet en cause la crédibilité des règles précédemment édictées.

Elles recommandent une évolution rapide du cadre réglementaire qui tienne compte des recommandations du rapport Prada pour la mise en place d'une régulation renforcée et spécifique au marché du carbone. Simultanément, l'institution d'une cible obligatoire et ambitieuse de réduction des émissions à l'horizon 2030 permettrait d'inscrire le fonctionnement du marché du carbone dans une optique de long terme en faisant remonter le prix du quota de CO₂.

- 6) Un rehaussement de l'objectif de réduction d'émission pourrait enfin être l'occasion d'affirmer la nécessité de prolonger les instruments de flexibilité mis en place avec le protocole de Kyoto et d'investir de façon sélective dans des mécanismes de projets, notamment vers les pays les moins avancés jusqu'à présent restés trop à l'écart de ce type d'investissement.

Un large consensus prévaut enfin au sein du Comité pour lier plus étroitement transition vers l'économie sobre en carbone, développement des filières industrielles nouvelles et renforcement de la compétitivité de filières en reconversion. C'est cette vision qui a inspiré une grande partie des propositions présentées au chapitre 5.

Chapitre 5

Propositions pour une transition réussie vers une société sobre en carbone

En croisant les approches comparatives conduites au chapitre 2, les analyses sectorielles menées au chapitre 3 et les résultats des exercices de modélisation étudiés au chapitre 4, le Comité a tenté d'identifier une série de propositions devant permettre à notre pays de mieux conjuguer réduction ambitieuse des émissions de gaz à effet de serre et croissance de l'économie et de l'emploi. Ces propositions sont chaque fois détaillées en mesures élémentaires pour leur mise en œuvre. Ce chapitre ne reprend pas les mesures sectorielles du comité qui sont regroupées dans le chapitre 3 de ce rapport.

Ces propositions visent à constituer un ensemble cohérent de mesures qui pourraient être prises dans un horizon relativement court et dont le suivi devrait au demeurant faire l'objet d'une évaluation récurrente dans le cadre d'une gouvernance renouvelée de la politique climatique. Le lecteur trouvera par ailleurs dans le complément 1 du rapport, une somme de contributions émanant des différentes parties prenantes du Comité reflétant toute sa diversité et sa créativité.

1. Renforcer les mesures de politique industrielle favorisant la transition vers une économie sobre en carbone

Le Comité a émis à de nombreuses reprises le souhait que soient renforcées les mesures de politique industrielle destinées à favoriser la transition vers une société sobre en carbone. Il s'agit, dans le sens des recommandations du centième rapport du CAE sur la croissance de la France, de favoriser la compétitivité des entreprises françaises en mettant en oeuvre des politiques horizontales, mais aussi à l'exemple des investissements d'avenir, de favoriser la recherche et le développement des projets présentés par les industriels et considérés comme les plus prometteurs.

Les politiques industrielles actuelles ont pour but de renforcer le potentiel de croissance d'un pays en répondant aux grands enjeux structurels de long terme. La transition vers une société sobre en carbone, dont la mise en œuvre demandera plusieurs dizaines d'années, en constitue probablement l'un des meilleurs exemples. Au-delà des actions dites horizontales destinées à renforcer la compétitivité d'une économie et de ses entreprises (amélioration des formations, réduction des coûts des entreprises, ...), une politique industrielle, destinée à favoriser cette transition, aura

pour but de : a) favoriser les innovations technologiques de rupture, b) mettre l'accent sur la recherche appliquée et l'expérimentation pré-industrielle (pilotes, pré-séries...) peu financées jusqu'à présent ; c) concevoir des dispositifs pérennes d'aide aux investissements d'avenir permettant dans une approche *bottom-up* de sélectionner les meilleures initiatives; d) favoriser des approches européennes dans les dispositifs d'aide afin de créer des entreprises de taille européenne, voire mondiale ; e) favoriser la mise en place de pôles technologiques et de clusters centrés sur les innovations de demain ; f) créer une coordination des entreprises françaises d'une même filière à l'export.

Une telle politique présenterait d'autant plus d'intérêt qu'elle serait menée au niveau européen : elle conduirait en effet à l'émergence de projets à la taille du continent européen qui auraient vocation à être exportés dans le monde entier.

La première mesure, évoquée dans le paragraphe précédent, consiste à financer, grâce à l'utilisation d'une partie de la vente des quotas de CO₂ les projets de recherche et de développement présentés par les industriels et les organismes publics en charge, et considérés comme les plus prometteurs,

PROPOSITION 1-1

Favoriser, sans pour autant disperser les crédits, les pôles de compétitivité, les « clusters » et les filières dites de « croissance verte » qui développeront des projets destinés à réduire les émissions de gaz à effet de serre. Intégrer en particulier dans les critères de l'évaluation des pôles de compétitivité qui sera réalisée en 2012 la prise en compte de la transition vers une économie décarbonée.

PROPOSITION 1-2

Utiliser pleinement les possibilités ouvertes par les aides nationales ou européennes actuelles relatives à la R&D et à l'innovation afin de financer la mise en place de démonstrateurs et de pilotes. Dans le cadre d'une concertation avec la Commission et l'ensemble des États membres, évaluer les ajustements à engager dans la définition des ces aides afin de permettre un financement qui soit le plus proche possible des phases pré-commerciales, de façon à permettre aux acteurs économiques de l'UE d'agir avec les mêmes marges de manœuvre que leurs concurrents des autres zones géographiques, notamment aux États-Unis, au Japon, en Chine...

PROPOSITION 1-3

Mettre en place un « plan export » des solutions françaises en faveur de la décarbonation de l'économie, en coordination étroite entre les pouvoirs publics et les entreprises, fondé sur une coordination volontaire des entreprises françaises par filière d'appartenance.

2. Favoriser le développement de la R&D et la diffusion des innovations technologiques propices à la transition vers une économie sobre en carbone

Cette proposition comporte trois volets : international, européen et national.

Les règles de la propriété intellectuelle apparaissent compatibles avec la diffusion des innovations dans le domaine des technologies sobres en carbone (voir complément 6). Dans le cas spécifique des pays les moins avancés, il apparaît pertinent d'examiner les cas où certaines dispositions freineraient la diffusion des innovations et d'évaluer les solutions compatibles avec le droit international de la propriété intellectuelle.

La création d'un observatoire des technologies destiné à identifier non seulement les bonnes pratiques de diffusion des technologies mais aussi les situations de blocage ou de monopolisation nécessitant des solutions spécifiques dans le cadre du droit international pourrait y remédier. Ces solutions pourraient bénéficier de manière prioritaire aux pays économiquement les plus pauvres (par exemple ceux émettant moins de 2 tCO₂eq par habitant) ainsi qu'à ceux en conformité non seulement avec les droits de propriété intellectuelle, mais également avec les codes des marchés publics, les autres règlements internationaux de marché et les règles sociales élémentaires (travail décent, travail des enfants, ...).

Des progrès technologiques sont absolument nécessaires dans le domaine de l'énergie à l'horizon 2050. La R&D aura à jouer un rôle central dans cette tâche. Au plan national et européen, l'atteinte des objectifs de la feuille de route est subordonnée au développement et au déploiement de nouvelles technologies dont la diffusion est retardée par le rythme de réduction des coûts et souvent une faible acceptabilité sociétale. La réalisation de démonstrateurs visant à passer des essais de laboratoires aux prototypes industriels facilite cette diffusion de nouvelles technologies. Leur surcoût est aujourd'hui élevé et nécessite la mise en place d'aides financières adaptées.

Le dispositif, dénommé NER 300, lancé dans le cadre du Paquet climat-énergie fin 2007 et caractérisé par un premier appel d'offres, toujours en cours, initié fin 2010,, constitue une illustration concrète et *a priori* séduisante de l'intervention des pouvoirs publics. Son but consiste à financer au moins huit projets de capture et stockage et une trentaine pour le développement des énergies renouvelables. Il cherche ainsi à accélérer l'introduction sur le marché de technologies innovantes dans le domaine des énergies renouvelables et de la capture et du stockage du carbone. Il serait judicieux de prendre appui sur cette première expérience d'utilisation du produit des enchères pour la diffusion de l'innovation pour la répliquer demain à une plus large échelle.

PROPOSITION 2-1

Créer auprès du Centre pour les technologies du climat, mis en place à Cancun, un observatoire destiné à promouvoir les bonnes pratiques de diffusion des technologies sobres en carbone et à identifier les situations de blocage ou de monopolisation justifiant, pour les pays respectant le droit international de la propriété intellectuelle, la mise

en place de solutions spécifiques compatibles avec le droit international, notamment celles disponibles dans les accords OMC sur les Aspects des droits de propriété intellectuelle qui touchent au commerce (ADPIC)..

PROPOSITION 2-2

L'objectif prioritaire de transfert de technologies sobres en carbone vers les pays en développement devra se faire dans le respect des principes du développement durable, en veillant notamment à éviter toute utilisation opportuniste de dumping social ou environnemental :

- conditionner les aides aux transferts de technologie associés à la lutte contre le changement climatique au respect d'un certain nombre de règles sociales (travail décent, travail des enfants, autres règles de l'OIT, etc.) ;
- étudier les conditionnalités possibles permettant d'éviter les délocalisations.

PROPOSITION 2-3

Prélever chaque année sur la vente aux enchères des quotas un montant significatif pour continuer à financer des projets de recherche et développement, ainsi que des démonstrateurs pour des technologies sobres en carbone (énergies renouvelables, capture et stockage du carbone, biomasse avancée, réseaux intelligents, etc.). Mettre l'accent sur la recherche appliquée et l'expérimentation pré-industrielle (plateformes technologiques, pilotes, démonstrateurs, pré-séries, etc.).

3. Allonger la prévisibilité de la politique climatique par la définition de cibles européennes contraignantes en 2030 et renforcer sa crédibilité par la mise en place d'une gouvernance renouvelée

Le besoin d'une visibilité de long terme sur les efforts à fournir correspond à une demande forte de la part des acteurs industriels. L'horizon 2050 apparaît à cet égard trop lointain pour réduire les incertitudes sur la politique publique et celui de 2020 trop proche pour orienter les décisions d'investissement à long terme. C'est pourquoi le Comité préconise, au-delà de la nécessaire clarification de l'objectif 2020, la fixation d'objectifs crédibles à 2030 tant au plan communautaire que national :

- au plan communautaire, il recommande que la France propose rapidement à ses partenaires européens de définir l'évolution du plafond global d'émission sur le marché ETS jusqu'à l'horizon 2030, de façon cohérente avec l'atteinte des objectifs à 2050 définis dans le cadre de la Feuille de route Climat de l'Union européenne. Une telle décision aurait pour conséquence de donner un signal prix du carbone plus en lien avec les objectifs de long terme de la politique climatique ;

- de façon parallèle, les systèmes de normes réglementaires, qu'ils soient nationaux ou communautaires, devraient prévoir rapidement l'évolution des seuils requis à cet horizon. Ceci concerne par exemple les seuils d'émissions par kilomètre des automobiles et des poids lourds, les rendements des équipements énergétiques, les normes de construction et de rénovation des bâtiments, etc.

Compte tenu de la part très importante des secteurs d'émission diffuse dans notre pays, le Comité propose par ailleurs de s'inspirer de l'exemple britannique présenté dans le chapitre II en introduisant un système d'objectifs domestiques de réduction d'émissions de gaz à effet de serre moyennés sur plusieurs années. Ce système indicatif pourrait porter sur des budgets carbone quinquennaux, voire triennaux, révisables pour permettre un ajustement des objectifs si les conditions l'exigent. Il devrait être décliné par grand secteur hors ETS afin de pouvoir suivre la cohérence dans le temps entre les moyens mis en œuvre et la réalisation des trajectoires de réduction d'émissions.

Ce dispositif gagnerait à être mis en place dans le cadre d'une gouvernance renouvelée de la politique climatique avec la mise sur pied d'un comité indépendant, composé de toutes les parties prenantes, et associant des scientifiques et des économistes, dont le but serait d'aider les pouvoirs publics à veiller à la cohérence et à la prévisibilité du dispositif institutionnel dans le temps. Une telle stabilité semble une nécessité pour déclencher les investissements nécessaires à la transition vers l'économie sobre en carbone.

PROPOSITION 3-1

Au-delà de la nécessaire clarification de l'objectif à 2020, définir dès maintenant un objectif ambitieux de réduction des émissions européennes pour 2030, compatible avec la feuille de route proposée par la Commission qui prévoit une réduction à cet horizon d'au-moins 40 à 45 %. Décliner cet objectif entre secteurs ETS et hors-ETS, et entre Etats membres, afin de donner une vision claire des efforts à fournir sur le long terme aux différents acteurs.

PROPOSITION 3-2

Fixer dès maintenant les seuils réglementaires, européens ou français, à l'horizon 2030 correspondant aux émissions des automobiles et des poids lourds, aux rendements des équipements énergétiques, aux normes de construction et de rénovation des bâtiments, etc.

PROPOSITION 3-3

Définir pour la France des cibles intermédiaires non contraignantes sur des périodes de plusieurs années, déclinées au plan sectoriel et cohérentes avec le cadre européen afin de renforcer le pilotage des trajectoires. Ces cibles devraient faire l'objet, à intervalles réguliers, d'une évaluation de l'adéquation entre les moyens mis en œuvre et les résultats obtenus par la structure de gouvernance envisagée dans la proposition suivante avant leur examen par le Parlement.

PROPOSITION 3-4

Mettre en place une structure nationale de gouvernance indépendante qui regroupe les expertises scientifiques et économiques requises et associe les différentes parties prenantes pour débattre à l'amont des orientations de la politique climatique, veiller à leur continuité et s'assurer de leur évaluation afin de les réorienter si nécessaire.

4. Renforcer le signal prix du carbone en l'étendant à l'ensemble de l'économie et en améliorant la régulation du système européen d'échanges de quotas de CO₂

Les travaux de modélisation ont montré que l'extension du signal prix du carbone au secteur des émissions diffuses constituait une priorité pour la politique climatique de notre pays. Ce signal prix gagnerait à être mis en place à l'échelle européenne. Il est souhaitable que la France pousse dans cette direction chaque fois qu'elle en a l'opportunité. La Commission a adopté au début de l'année 2010 une proposition de révision de la directive sur la fiscalité énergétique, qui modifierait le cadre européen fixant les minima de taxation des carburants et des combustibles en introduisant une composante basée sur le contenu carbone qui s'ajouterait à un premier terme, déjà existant, sur le contenu énergétique : elle nécessite cependant un vote à l'unanimité de l'ensemble des États membres. Une solution alternative consisterait à étendre le marché de quotas à l'ensemble des émissions de CO₂ induites par les carburants et combustibles fossiles mis sur le marché : elle nécessite, en effet un vote à la simple majorité qualifiée. La mise en place de ce signal prix dans un certain nombre de pays volontaires pourrait également faire l'objet d'une coopération renforcée.

Si l'extension du signal prix du carbone n'est pas atteignable à l'échelle européenne, un grand nombre de membres du Comité souhaite la mettre en place dans le cadre national, sous la forme d'une contribution climat énergie, ou de tout autre mécanisme équivalent, en veillant à ce qu'elle ne distorde pas les échanges intra-européens. Les analyses conduites au chapitre 4 ont montré que l'utilisation du produit de ce signal prix revêtait une grande importance : mal conçue, elle peut pénaliser la croissance de notre économie et entraîner des inégalités entre les ménages ; bien préparée, elle peut, au contraire, permettre de réduire nos émissions de gaz à effet de serre, tout en favorisant, dans une certaine mesure, l'emploi ainsi que la croissance de court et de long terme, sans pour autant pénaliser les ménages les plus défavorisés.

L'introduction du signal prix du carbone dans les secteurs d'émissions diffuses non couverts par l'ETS sera facilitée si le système communautaire d'échange de quotas de CO₂ est sécurisé et soumis à une régulation renforcée. Le rapport publié au début de l'année 2010 par Michel Prada envisage une régulation spécifique du marché du carbone qui en garantisse l'intégrité et la prévisibilité sous l'égide d'une autorité européenne indépendante. Ses conclusions risquent cependant de ne pas être suivies par la Commission qui envisage de simplement appliquer la régulation financière au marché du carbone. Un grand nombre de membres du Comité souhaite que la France continue à agir avec vigueur pour qu'une régulation *ad hoc* soit appliquée au marché

du carbone qui est le prototype des nouveaux marchés de conformité qui pourraient à l'avenir se développer pour protéger les ressources environnementales rares.

PROPOSITION 4-1

Introduire la valeur du carbone dans le secteur hors-ETS pour l'ensemble des émissions de CO₂ liés à l'énergie idéalement pour l'ensemble de l'Union européenne, mais retenir la voie nationale si les délais de concrétisation s'avéraient impossibles.

PROPOSITION 4-2

Redynamiser le système européen d'échanges de quotas de CO₂ par la fixation de règles définissant l'évolution du plafond entre 2020 et 2030 de façon cohérente avec les objectifs de la feuille de route à l'horizon 2050.

PROPOSITION 4-3

Conformément aux préconisations du rapport Prada, renforcer la sécurité du marché européen par la mise en œuvre rapide d'une régulation spécifique au système d'échange de quotas de CO₂ qui en garantisse l'intégrité et la prévisibilité sous l'égide d'une autorité européenne indépendante.

5. Améliorer et prolonger les mécanismes de flexibilité dans un cadre international et développer leur utilisation au sein même de l'Union européenne

L'échéance de la fin de l'année 2012, qui marque l'arrêt du protocole de Kyoto, approche à grands pas, sans qu'un accord ambitieux et global n'ait de chance d'être signé avant cette date butoir. Les négociations actuelles avancent sur certains points techniques, sur lesquels la France doit insister lors des prochaines rencontres climatiques à Durban en décembre. Des systèmes de mesure, report et vérification des émissions (MRV) fiables sont ainsi indispensables si l'on veut pouvoir comptabiliser de manière comparable les émissions de gaz à effet de serre, notamment sur la forêt ou l'agriculture.

L'un des enjeux importants de la Conférence de Durban réside dans la prolongation, au-delà de 2012, de certains instruments issus du Protocole de Kyoto : c'est le cas des mécanismes de flexibilité et en particulier des mécanismes de développement propres qui devront cependant être améliorées pour permettre le financement d'approches programmatiques. Ces derniers sont d'ores et déjà inscrits dans l'ETS du Paquet énergie-climat qui prévoit cependant de les réserver aux pays les moins avancés ou à ceux avec lesquels un accord bilatéral aurait été signé, alors qu'aujourd'hui les grands émergents sont les premiers bénéficiaires de ces mécanismes. La poursuite de ces instruments dans le cadre onusien permettrait de centraliser les informations des projets et d'éviter le problème du double comptage.

Le comité s'est également prononcé en faveur de l'extension des mécanismes de projets domestiques en Europe. Il souhaite que la France demande à la Commission la mise à l'examen de l'application de l'article 24 bis de la directive sur le système ETS qui offre une perspective intéressante en la matière. Il recommande notamment la mise en application de ce dispositif pour la réduction des émissions de méthane et d'oxyde nitreux de la part des agriculteurs : les incitations économiques actuelles sont insuffisantes.

PROPOSITION 5-1

Obtenir la poursuite et l'amélioration des mécanismes de projet issus du protocole de Kyoto, si possible dans le cadre d'un accord plus large intégrant une nouvelle période d'engagement et incluant les principaux pays émetteurs.

PROPOSITION 5-2

Négocier des accords bilatéraux avec des États ou des blocs régionaux en favorisant les pays qui s'engagent réellement, les pays les moins avancés (PMA) et les pays méditerranéens, et les approches programmatiques.

PROPOSITION 5-3

Prendre appui sur les expériences conduites en France, en Allemagne, en Suède et en Espagne pour mettre en place un mécanisme de projets « domestiques » à l'échelle européenne dans les secteurs diffus, en application de l'article 24 bis de la directive ETS. Veiller à ce que le schéma évite tout double comptage, limite les effets d'aubaine et s'applique en priorité aux secteurs qui sont insuffisamment aujourd'hui incités à réduire leurs émissions comme l'agriculture pour les autres gaz que le CO₂.

6. Gérer le produit des enchères et des futures contributions climat-énergie en toute transparence dans le but de favoriser la croissance économique, l'équité sociale, le développement d'innovations sobres en carbone et la solidarité internationale.

Les travaux de modélisation ont montré l'importance du mode d'utilisation des produits issus de la tarification du carbone dans notre économie. Ce volet concerne aussi bien le produit des enchères que percevra notre pays à partir de 2013 au titre de sa participation au système communautaire des quotas de CO₂ que les produits issus de l'extension de la tarification du carbone par ailleurs recommandé par le Comité.

Dans le cadre du dispositif européen mis en place, les États membres décident de l'affectation du produit des enchères : les instances européennes ont cependant

recommandé d'utiliser au moins 50 % de la recette aux politiques climatiques. Les travaux de modélisation suggèrent que, dans le contexte économique actuel, la bonne utilisation du produit du signal prix carbone consiste en une optimisation, à l'intérieur des contraintes budgétaires visant à réduire le déficit, entre :

- une baisse du coût du travail pour les entreprises afin de créer des emplois,
- des dépenses de plus long terme favorisant notamment l'innovation ou la R&D, que ce soit dans le domaine strict de l'énergie ou dans un certain nombre de technologies clés ;
- des actions redistributives à l'égard des ménages les plus défavorisés et des acteurs potentiellement défavorisés ;
- du financement de nouvelles formations et d'aides aux reconversions professionnelles ;
- un soutien à la lutte contre le changement climatique des pays les moins avancés.

D'après les exercices de prospective, le puits forestier, qui absorbe 14 % des émissions nationales, pourrait s'annuler et devenir source d'émissions en 2050. Sa pérennisation constitue donc une priorité dans le cadre d'une stratégie sobre en carbone. Son financement devrait être étudié.

A l'image du fonds envisagé par le gouvernement allemand, une structure publique française associant les différentes parties prenantes ainsi que des experts et des économistes pourrait être créée pour gérer le produit des enchères et d'un signal prix du carbone. Elle garantirait le bon usage de ces fonds en toute transparence.

PROPOSITION 6-1

Déterminer une stratégie d'utilisation des fonds tirés de la tarification nationale et communautaire du carbone qui tienne compte des contraintes budgétaires et s'inscrive dans une vision pluri-annuelle, en intégrant les cinq priorités mises en relief par les travaux du Comité : la baisse des charges pour renforcer la compétitivité ; la compensation ciblée sur les ménages en situation de précarité ; le financement de la R&D et de la diffusion des innovations sobres en carbone en France et dans le cadre de la coopération internationale ; le financement de nouvelles formations et d'aides aux reconversions professionnelles ; le soutien à la lutte contre le changement climatique des pays les moins avancés.

PROPOSITION 6-2

Associer les industriels, les experts et les économistes et l'ensemble des parties prenantes pour gérer les revenus des enchères transitant par le compte de commerce existant dans une stratégie pluriannuelle facilitant les transitions industrielles vers l'économie sobre en carbone.

PROPOSITION 6-3

Constituer une structure publique sous forme d'un fonds pour gérer et évaluer dans la transparence l'utilisation des revenus du signal prix du carbone dans le secteur hors ETS afin d'en optimiser les retombées économiques, sociales et climatiques.

7. Anticiper les évolutions du marché de l'emploi et préparer les transitions professionnelles

La croissance économique potentielle associée à la transition vers une économie sobre en carbone prendra corps dans la mesure où l'évolution des emplois, des métiers et des qualifications ainsi que le développement de la mobilité professionnelle, voire la création de nouveaux emplois, permettront de répondre à la demande. On voit ici tout l'intérêt de savoir anticiper l'évolution des besoins de qualification et du marché de l'emploi afin de mettre en place les formations et les outils de signalement des compétences correspondants dans les différentes filières concernées, en particulier dans le secteur du bâtiment qui devrait connaître une hausse notable des emplois qualifiés : la création d'un comité sectoriel bâtiment destiné à examiner les questions liées aux formations initiale et continue, à la reconversion, à l'accompagnement des salariés et des entreprises prend ainsi tout son sens. De plus, la réalisation par les partenaires sociaux d'études prospectives (sectorielles et/ou territoriales) devrait contribuer à un meilleur diagnostic des besoins de recrutement ainsi que de formation et de qualification.

Les modélisations menées dans le cadre du Comité indiquent que les politiques climatiques peuvent avoir un effet, certes modéré, mais positif à la fois sur la croissance et sur l'emploi. Leur acceptabilité en dépend. Cet effet sera très variable suivant les différents secteurs considérés. Certains secteurs, travaillant aujourd'hui avec une empreinte carbone élevée, devront opérer des reconversions. Symétriquement, des emplois nouveaux devraient être créés dans les secteurs les plus contributeurs à l'émergence des technologies sobres en carbone : énergies renouvelables, rénovation lourde des bâtiments, transports publics. Mais là encore, le nombre des créations d'emploi dépendra de la stratégie industrielle (qui impacte le contenu en emplois des technologies) et de l'accompagnement en termes de formation professionnelle initiale et continue qui pourra être impulsé par l'action publique en lien avec les partenaires sociaux.

Organiser le dialogue sur ces questions semble souhaitable à la fois dans les différentes commissions paritaires nationales et dans les comités filières, mais également à un niveau territorial qui reste à préciser. Enfin, les pôles de compétitivité devraient permettre de préfigurer les technologies et les métiers de demain : la mise en œuvre d'un dialogue social destiné à intégrer la réflexion et la veille en matière de besoins de formation (initiale et continue), de ressources humaines, de diffusion de la culture scientifique et technique y prend donc tout son sens.

PROPOSITION 7-1

Demander à chaque Commission paritaire nationale pour l'emploi et la formation professionnelle (CPNEEFP), ainsi qu'aux comités de filière mis en place par la Conférence nationale de l'industrie, d'examiner les conséquences possibles de la transition vers une économie décarbonée afin d'anticiper les besoins en qualifications, compétences et formation et les enjeux de reconversion, tant au plan qualitatif que quantitatif. Organiser ce même examen à l'échelle locale (en lien avec la déclinaison territoriale de la GPEC).

Commentaire : cet examen pourrait s'effectuer également au niveau des bassins d'emplois en s'inspirant de l'expérience des 33 maisons de l'emploi, voire leur être confié.

PROPOSITION 7-2

Encourager le dialogue social au sein des Pôles de compétitivité afin d'intégrer la réflexion et la veille en matière de besoins de formation (initiale et continue), de ressources humaines, de diffusion de la culture scientifique et technique.

PROPOSITION 7-3

Compte tenu des efforts à effectuer par tous les professionnels dans le cadre non seulement de la réhabilitation des logements existants mais aussi de la construction neuve, créer un comité sectoriel bâtiment destiné à examiner les volets formations initiale et continue, reconversion, accompagnement des salariés et des entreprises. Dans la perspective de la transition vers une société sobre en carbone, d'autres comités sectoriels devront vraisemblablement être mis en place, notamment dans l'agroalimentaire et l'industrie automobile.

PROPOSITION 7-4

Encourager et soutenir, grâce notamment au fonds social européen, la mise en place de contrats d'études prospective (sectorielles et/ou territoriales) par les partenaires sociaux pour diagnostiquer les besoins de recrutement ainsi que de formation et de qualification.

8. Développer des modes de financements innovants associant capital public et capital privé et utilisant le levier de la valeur carbone

Au plan international (promesse d'un financement Nord-Sud de 100 milliards de dollars par an d'ici 2020 faite au sommet de Copenhague) comme au plan national et européen, la question du financement des politiques climatiques constitue le nerf de la guerre. Cette question se pose aujourd'hui dans un contexte doublement pénalisant :

- la consolidation budgétaire prendra du temps du fait de l'ampleur des déficits publics au sein des pays développés et du doute qui a été introduit en Europe sur la qualité des dettes souveraines ;
- la réévaluation des risques par les acteurs économiques et financiers conduit à une très grande prudence dans les investissements nouveaux. Cette carence d'investissement est l'un des paramètres qui freinent la reprise et accroissent le risque de retombée dans la récession. Elle est très forte depuis deux ans dans un grand nombre de créneaux de l'économie sobre en carbone (chute des nouveaux projets MDP, réticence des investisseurs face aux fonds carbone, contraction des investissements dans les renouvelables, ...).

Les travaux du Comité ont mis en relief un certain nombre de mécanismes innovants mis en œuvre ou en phase de développement chez nos partenaires européens (chapitre 2). Ces mécanismes présentent généralement deux caractéristiques : ils mélangent le capital privé et le capital public avec l'idée que ce type de partenariat permet d'exercer un effet de levier vis-à-vis de l'argent public ; ils cherchent à utiliser la valeur future des économies d'énergie ou des émissions de carbone évitées pour des financements immédiats en prêt ou en fonds propres (mécanisme dit de « tiers-investisseur »).

Il est relativement aisé de tracer le schéma de tels mécanismes de financement sur le papier, mais bien plus difficile de les mettre en place à grande échelle car ils nécessitent un accord des différents partenaires sur le partage des risques. Dans le temps qui lui était imparti, le Comité n'a pu aller plus loin dans ces réflexions. Il lui semble néanmoins nécessaire que soient menées des études pour analyser sous quelles conditions pourraient être développé à grande échelle ce type d'instrument. L'intuition sous-jacente à ces instruments innovants est qu'une politique climatique durable entraînera à terme une valorisation élevée du carbone évité et qu'il doit être possible de capter dès aujourd'hui une partie de cette valorisation. Il s'agit de trouver les moyens adéquats pour transférer dans le temps cette valorisation future

PROPOSITION 8-1

Mettre en place un groupe de travail dont la mission sera d'étudier les conditions pratiques de développement à grande échelle de mécanismes financiers innovants combinant instruments publics, réorientation de l'épargne et appel aux ressources privées et utilisant le levier de la valeur carbone. L'objectif est d'accélérer la rénovation des logements, les investissements d'efficacité énergétique (notamment des petites entreprises) et de développer des projets industriels à la pointe de la technologie

9. Intégrer de façon efficace les objectifs de la politique climatique dans les politiques d'aménagement des espaces urbains et ruraux

Les travaux du Comité ont soulevé la question de la cohérence spatiale des trajectoires sectorielles. Concrètement, les collectivités territoriales seront amenées à jouer un rôle important, dans l'action face au changement climatique, notamment

dans la planification et l'usage des sols. En utilisant à bon escient les documents d'urbanisme (plan local d'urbanisme, schéma d'aménagement...) et les autorisations d'utilisation des sols, mais aussi au travers de leurs compétences d'aménagement foncier (aménagement urbain, aménagement rural, remembrement urbain et rural, opérations de rénovation et de protection...) les collectivités territoriales peuvent influencer de façon décisive sur l'atteinte des objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Un usage des sols inattentif aux problèmes de trajets ou de liaison entre habitat et activité, un aménagement foncier inadéquat, une mauvaise localisation des équipements publics peuvent compromettre le succès d'autres politiques ou annihiler les effets attendus de normes plus contraignantes.

Si, depuis la loi Grenelle II, les SCOT et les PLU « déterminent les conditions permettant d'assurer, dans le respect des objectifs du développement durable, réduction des émissions de gaz à effet de serre », il serait toutefois nécessaire de préciser que ces différents schémas et plans doivent être compatibles, dans leur domaine d'application, avec les objectifs de réduction des émissions retenus au niveau national.

Les collectivités territoriales doivent être amenées à revoir leurs documents d'urbanisme : il devient en effet urgent de mettre en oeuvre une véritable politique de préservation du foncier agricole en France, en se fixant comme objectif de réduire de moitié le rythme de consommation des terres agricoles d'ici 2020, dans l'esprit de l'exposé des motifs de la loi de juillet 2010 de modernisation de l'Agriculture et de la Pêche. Une politique du foncier agricole doit être globale. Il faut s'appuyer sur les mesures existantes, notamment celles qui s'appliquent à une échelle intercommunale comme les schémas de cohérence territoriale. Cette échelle semble la plus pertinente : elle permet en effet de prendre en compte à la fois les spécificités locales, tout en étant suffisamment large pour ne pas conduire à des actions trop éparpillées. La gestion foncière à l'échelon intercommunal doit donc être privilégiée.

PROPOSITION 9-1

Inscrire dans la loi une obligation de compatibilité des documents de planification urbaine (SCOT et PLU) avec les objectifs nationaux de lutte contre le changement climatique.

PROPOSITION 9-2

Mettre en oeuvre une véritable politique de préservation du foncier agricole en France en se fixant comme objectif de réduire de moitié le rythme de consommation des terres agricoles d'ici 2020 et en s'appuyant sur les SCOT et sur les PLU afin de rapidement contenir les tendances à l'artificialisation des sols et à l'étalement périurbain.

Quatre voies d'approfondissement

Ce rapport a exploré les voies d'un renforcement de l'action collective face au changement climatique dans un contexte économique et financier très contraint. En introduction, il rappelait combien l'environnement de crise économique rendait souhaitable la mise en œuvre de politiques climatiques stimulant rapidement la croissance économique et le progrès social. Les travaux du Comité ont identifié deux grandes séries de conditions pour y parvenir :

- étroitement associer l'action publique sur le changement climatique à une politique de l'offre couplant stratégies de développement de filières industrielles compétitives, renforcement de la recherche et développement et diffusion de l'innovation bas carbone dans le tissu économique ;
- crédibiliser le cadre de l'action publique, en rendant prévisible 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.

La construction des scénarios sectoriels a analysé les ruptures de technologie et d'organisation nécessaires, secteur par secteur, pour atteindre les objectifs visés. Les évaluations économiques soulignent l'importance de la mise en œuvre d'instruments économiques puissants pour accélérer la transition vers l'économie sobre en carbone. Leur acceptabilité sociale est subordonnée à une double condition : maximiser les impacts positifs sur l'emploi et contrer les effets socialement régressifs de la tarification du carbone.

Il n'a cependant pas été possible d'approfondir tous les sujets passés en revue. Il subsiste ainsi de nombreux terrains d'étude à explorer ou approfondir. Quatre axes nous semblent requérir une attention prioritaire :

- les scénarios prospectifs présentés dans le rapport sont insuffisamment raccordés à des hypothèses d'ensemble concernant l'environnement économique et énergétique et les choix d'instruments de politiques climatiques mis en œuvre au plan national et européen. Un approfondissement de ces scénarios, en lien avec les autres exercices prospectifs conduits à l'horizon 2050 en Europe et en France, est donc souhaitable. Il permettrait à l'avenir de mieux évaluer *ex ante* les incidences des différents choix possibles pour l'action publique et de tester la sensibilité des scénarios à différents chocs en matière économique et énergétique ;

- l'analyse des coûts des scénarios de politiques climatiques est restée trop sommaire. Elle a été basée sur des modèles économiques qui ne savent pas décomposer ces coûts par catégorie économique homogène. Une investigation plus poussée devra distinguer au moins trois catégories économiques : les coûts d'investissement dont le montant doit être mis en regard des retours attendus ; les coûts d'apprentissage et de transition ; les coûts sociaux en terme d'emplois ou de niveau de vie. L'analyse devra de surcroît clairement identifier le partage de ces coûts entre finances publiques et secteur privé ;
- l'approfondissement de la notion de coût on passe directement à la question des modes de financement et notamment des financements innovants. Le rapport a souligné combien l'extension d'une valeur carbone dans l'économie peut modifier les perspectives de financement, tant pour les pouvoirs publics que pour les acteurs privés. Dans cette optique, toute possibilité d'utiliser la valeur future du carbone comme levier pour élargir les financements actuels de la transition vers l'économie sobre en carbone devrait être utilisée. La concrétisation de tels mécanismes implique une analyse détaillée du partage des risques qui n'a pas pu être menée dans les délais impartis au Comité ;
- avec l'extension de la tarification du carbone, l'échelle des prix et des coûts relatifs au sein de l'économie va se déformer, avec un renchérissement des biens et services à forte empreinte carbone, en particulier les énergies d'origine fossile. Pour éviter les effets régressifs indésirables il faudra évaluer avec grande précision les impacts distributifs des politiques climatiques, ce qui exige beaucoup d'investigations nouvelles, compte tenu de la faiblesse de nos connaissances actuelles en la matière en France.

Si ces voies d'approfondissement retiennent l'attention, il faudra les conduire dans un cadre assurant la capitalisation des connaissances dans le temps et une bonne alimentation du débat public.

Bibliographie

AEE (2011), *Annual European Union greenhouse gas inventory 1990–2009 and inventory report 2011*, Submission to the UNFCCC Secretariat, avril.

Aghion, P., D. Hemous and R. Veugelers (2009), *No green growth without innovation*, Bruegel Policy Brief 07

Aghion P., Cette G., Cohen E. et Lemoine M., *Crise et croissance : une stratégie pour la France*, Rapport du CAE, n° 100, La Documentation française, août.

AIE (2010), *Energy Technology Perspectives 2010*.

AIE (2010), *World energy outlook 2010*.

BMU (2010), *Energiekonzept der Bundesregierung : Langfristige Strategie für die künftige Energieversorgung*, <http://www.bmu.de/energiekonzept/doc/46394.php>.

De Boissieu C. (2006), *Division par quatre des émissions de gaz à effet de serre de la France à l'horizon 2050*, Rapport du groupe de travail pour le Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie et le Ministère de l'écologie et du développement durable ;

Centre d'analyse stratégique et DG Trésor (2011), *France 2030 : cinq scénarios de croissance*, mai, http://www.strategie.gouv.fr/article.php3?id_article=1425.

Centre d'analyse stratégique et Conseil général de l'industrie, de l'énergie et des télécommunications (2011), *La voiture de demain : carburants et électricité*, rapport de la mission présidé par Jean Syrota, La Documentation française, août.

Chaire économie du climat (2011), *Climate Economics in progress 2011*, Raphaël Trotignon (Auteur), Gabriela Simonet (Auteur), Virginie Boutueil (Auteur), Christian de Perthuis (Sous la direction de), Pierre-André Jouvét (Sous la direction de), Collection Economica,

CEREN (2010), *Le gisement d'économie d'énergie dans les opérations transverses de l'industrie*.

CGDD (2010), *La mobilité des Français, panorama issu de l'enquête nationale transports et déplacements 2008*, La Revue du CGDD, décembre.

CGDD (2011), *Bilan énergétique de la France pour 2010*, Références, juin.

CGDD (2011), *Les véhicules électriques en perspective : Analyse coûts-avantages et demande potentielle*, Etudes et documents, n° 41, mai.

CGDD (2011), *Rapport d'évaluation globale de l'avant projet consolidé de Schéma National des Infrastructures de Transport*, mars.

CGPC (2006), *Démarche prospective transports 2050*, mars.

Château B., Bagard V., Crozet Y. et Lopez-Ruiz H. PREDIT (2008), *De la modélisation à la prospective : ruptures et transitions dans les scénarios de mobilité durable (personnes et marchandises) à l'horizon 2050*, LET-ENERDATA.

CITEPA (2011), *Inventaire des émissions de gaz à effet de serre en France au titre de la Convention cadre des Nations-Unies sur les Changements Climatiques* - format CCNUCC.

CITEPA (2011), *Organisation et Méthodes des Inventaires Nationaux des Emissions Atmosphériques en France* (OMINEA), édition 2011.

Club de l'Amélioration de l'Habitat (2010), *Les Points sur le marché de l'amélioration de l'habitat : les résultats 2009 de l'observatoire OPEN*, Les éditions du Club, N° 15.

Commission européenne (2010), *Analysis of options to move beyond 20 % greenhouse gas emission reductions and assessing the risk of carbon leakage, Background information and analysis*, SEC(2010) 650, mai.

Commission européenne (2010), *Analysis of options to move beyond 20% greenhouse gas emission reductions and assessing the risk of carbon leakage*,

Commission européenne (2010), *Progress towards achieving the Kyoto Objectives*, COM (2010) 569 final.

Commission européenne (2010), *Towards an enhanced market oversight framework for the EU Emissions Trading Scheme*,

Commission européenne (2011), *A roadmap for moving to a low carbon economy in 2050*.

Committee on Climate Change (2010), *The Fourth Carbon Budget: Reducing emissions through the 2020's*, décembre,
<http://www.theccc.org.uk/carbon-budgets/4th-carbon-budget-path-to-2030>.

Crassous R. *et al.* (2006), "Endogenous structural change and climate targets modeling experiments with Imaclim-R", *Energy Journal*, Vol. 27, pp.161-178.

DGEC (2010), *Scénarios énergie-climat-air 2020-2030*, Rapports finaux Enerdata, CITEPA, IFPEN.

DGEC (2011), *Rapport sur l'industrie des énergies décarbonées en 2010*.

EEA (2011), *Approximated EU GHG inventory: early estimates for 2010*, Technical report No 11/2011, <http://www.eea.europa.eu/publications/approximated-eu-ghg-inventory-2010>.

European Commission (2011), *A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050*, SEC(2011) 288 final.

Eurostat (2010), *Driving forces behind EU-27 greenhouse gas emissions over the decade 1999-2008*.

Glachant M., Dechezleprêtre A., Hascic I., Johnstone N., Ménière Y., (2011), *Invention and transfer of climate change mitigation technologies: A global analysis*, Review of Environmental Economics and Policy; 5(1), pp 109-130, doi: 10.1093/reep/req023.

Glachant M., Ménière Y., (2011), *Projects mechanisms and technology diffusion in climate policy*, Environmental and Resource Economics,

Glachant M., de la Tour A., Ménière Y., (2011), *Innovation and international technology transfer: The case of the Chinese photovoltaic industry*, Energy Policy 39,

Gollier C., (2001), *The Economics of Risk and Time*, MIT Press, Cambridge, MA

Gollier C., (2011), *Le calcul du risqué dans les investissements publics*, rapports et documents, Centre d'analyse stratégique, La documentation française

Grenelle de l'environnement (2008), *COMOP 3 : Rénovation des bâtiments existants*.

Guérin E., Spencer T., (2011), *Strengthening the European Union Climate and Energy Package : to build a low carbon, competitive and energy secure european union*; IDDRI, STUDY N°04/11;

Guesnerie R., (2003), « Kyoto et l'économie de l'effet de serre », *Rapport du CAE*, n° 39, Paris, La Documentation française.

Guivarch C., Rozenberg J., (2011), *Is there a case for the EU to move beyond 20 % GHG emissions reduction by 2020?*, CIREN, février.

Hotelling H., (1931), "The Economics of Exhaustible Resources", *Journal of Political Economy*, Vol. 39, pp. 137-175.

Hubert T. et Vidalenc E., (2011), *Renewable Electricity in France: What Are the Potentials?*

IIASA (2010), *Potentials and costs for mitigation of non-CO₂ greenhouse gas emissions in the European Union until 2030*, rapport pour la Commission européenne, DG Climate Action.

INRA (2008), « Projections d'émissions/absorptions de gaz à effet de serre dans les secteurs forêt et agriculture aux horizons 2010 et 2020 » ; Rapport pour le Ministère français en charge de l'agriculture coordonné par Stéphane De Cara et Alban Thomas.

IFN (2011), « Prélèvement de bois en forêt et production biologique : des estimations directes et compatibles », revue IF, n° 28.

IPCC (2007), *IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007*.

JRC (2011), *Long-term trend in global CO₂ emissions*, European commission, octobre.

Ministère du développement durable (2008), *Étude d'impact du projet de loi programme du Grenelle de l'Environnement*, octobre.

Ministère du développement durable (2009), Bilan des émissions de gaz à effet de serre de la France en 2008.

Nakano S. et al., (2009), *The measurement of CO₂ Embodiments in International Trade : Evidence from the Harmonised Input-Output and Bilateral Trade Database*, DSTI/DOC (2009) 3, OECD Working papers.

Négawatt (2011), Dossier de synthèse du scénario Négawatt.

Nordhaus W. (2007a), *The Challenge of Global Warming: Economic Models and Environmental Policy*, Yale University, avril.

Nordhaus W. (2007b), *The Stern Review of the Economics of Climate Change*, Mimeo, Yale University.

Nordhaus W. et Boyer R. (2000), *Warming the World: Economic Models of Climate Change*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts.

OCDE (2011), *Enhancing the cost-effectiveness of climate change mitigation policies in Sweden*, Economic Department Working Paper n° 841.

Pasquier J.-L. (2010), *Les comptes physiques de l'environnement, une base pour de nouveaux indicateurs sur l'interface économie-environnement. Le cas des émissions de CO₂ de la France*, dans Pappalardo M., (2010), « Les indicateurs de développement durable », *La Revue du CGDD*, pp. 75-83.

de Perthuis C., Ellerman A.D. et Convery F.J., (2010), Le prix du carbone : Les enseignements du marché européen du CO₂.

de Perthuis C., (2010), *Et pour quelques degrés de plus*, Pearson Education, Les Temps Changent , deuxième édition.

de Perthuis C., Elbeze J., (2011), *Vingt ans de taxation du carbone en Europe : les leçons de l'expérience*, Les Cahiers de la Chaire Economie du Climat, avril 2011.

Popp A., H. Lotze-Campen et Bodirsky B., (2010), *Food consumption, diet shifts and associated non-CO(2) greenhouse gases from agricultural production*, Global environmental change-human policy dimensions, Vol. 20, n° 3, pp. 451-462.

Postdam Institute for Climate Change (2011), *Energy taxes, resource taxes and quantity rationing for climate protection*, K. Eisenack, O. Edenhofer, M. Kalkuhl (November 2010), PIK report n° 120.

Postdam Institute for Climate Change (2011), *Adaptation to Climate Change in the Transport Sector: A Review*, K. Eisenack, R. Stecker, D. Reckien, E. Hoffmann (Mai 2011), PIK report n° 122,

Prada M (2011), *La régulation des marchés du CO₂*, Rapport pour le ministère des finances, de l'économie et de l'industrie ;

Quinet A. (2008), *La valeur tutélaire du carbone*, Rapports et documents, La Documentation française, Centre d'analyse stratégique.

Réseau action climat France (2011), *Objectif climat – 30 % : le choix gagnant pour la France*.

Réseau Action Climat France (2011), *Étalement urbain et changements climatiques : état des lieux et propositions*

Rocard M. (2009), *Rapport de la conférence des experts et de la table ronde sur la contribution Climat et Énergie*, Rapport remis au Premier ministre ;

RTE (2011), *Bilan prévisionnel de l'équilibre offre-demande d'électricité en France*, octobre.

Sassi O. et al. (2010), *Imaclim-R: a modelling framework to simulate sustainable development pathways*, International Journal of Global Environmental Issues, vol. 10, n° 1-2, pp. 5-24.

Stern N., (2006), *The economics of climate change*, Rapport pour le Trésor du Royaume-Uni.

Syndex (2009), *Les dérèglements climatiques, les nouvelles politiques industrielles et les sorties de crise*, rapport pour la Confédération européenne des syndicats.

Syndex – Alpha (2010) *GPEC dans les secteurs de l'industrie et de l'énergie impactés par le Grenelle de l'environnement*, Rapport pour le ministère de l'Environnement et du Développement Durable

Tirole J. (2009), *Politique climatique : une nouvelle architecture internationale*, Rapport du CAE, n°87, La Documentation française, octobre.

Traisnel J.P, Joliton D., Laurent M.H., Caffiaux S. et Mazzenga A. (2010), *Habitat Facteur 4, étude d'une réduction des émissions de CO₂ liées au confort thermique dans l'habitat à l'horizon 2050*, Les Cahiers du CLIP, N° 20, IDDRI.

UK Government (2011), *Carbon Plan*, mars.

UK Government (2011), *Planning our electric future, White paper, 12 juillet*
<http://www.decc.gov.uk/assets/decc/11/policy-legislation/EMR/2176-emr-white-paper.pdf>.

Union française de l'électricité (2011), *Électricité en France 2015–2030 – Scénarios et questions clés*.