

IESF

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ET
SCIENTIFIQUES DE FRANCE

**LES
CAHIERS**

Janvier 2017



**CHANGEMENT CLIMATIQUE
POUR UN PLAN D' ACTIONS EFFICACE**

www.iesf.fr



Ce dossier a été établi par le groupe de travail *COP 21* composé de Florent Brissaud, Jacques Bongrand, Dominique Chauvin, Jean-François Coste, Antoine Coursimault, Olivier-Paul Dubois-Taine, Jean-Louis Durville, Edouard Freund, Pierre Marcillac, Jean-Luc Redaud, Jacques Roudier, Julien Vincent et Bruno Wiltz. Il a été présidé par Michel Bruder, également président du Comité Environnement d'IESF.

INGENIEURS ET SCIENTIFIQUES DE FRANCE (IESF)

La France compte aujourd'hui plus d'un million d'ingénieurs et quelques deux cent mille chercheurs en sciences. Par les associations d'ingénieurs et de diplômés scientifiques qu'il fédère, IESF est l'organe représentatif, reconnu d'utilité publique depuis 1860, de ce corps professionnel qui constitue 4% de la population active de notre pays.

Parmi les missions d'Ingénieurs et Scientifiques de France figurent notamment la promotion d'études scientifiques et techniques, le souci de sa qualité et de son adéquation au marché de l'emploi ainsi que la valorisation des métiers et des activités qui en sont issues.

A travers ses comités sectoriels, IESF s'attache ainsi à défendre le progrès, à mettre en relief l'innovation et à proposer des solutions pour l'industrie et pour l'entreprise. Notre profession s'inscrit pleinement dans le paysage économique et prend toute sa part dans le redressement national.



SOMMAIRE

RESUME	4
INTRODUCTION	7
LES PREVISIONS DU GIEC	8
LES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE (GES)	10
LA COP21	11
QUELQUES CONSIDERATIONS ECONOMIQUES	13
LES ENGAGEMENTS PAR PAYS : INTENDED NATIONALLY DETERMINED CONTRIBUTION (INDC)	15
ANNEXES : ANALYSES SECTORIELLES	17
ANNEXE 1. : TRANSPORTS.....	18
ANNEXE 2. : BATIMENT ET GENIE CIVIL.....	25
ANNEXE 3. : INDUSTRIE MANUFACTURIERE	30
ANNEXE 4. : PRODUCTION D'ENERGIE.....	31
ANNEXE 5. AGRICULTURE, FORET ET BIOMASSE	35



RESUME

La COP21 (21e Conférence des parties à la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques), tenue à Paris du 30 novembre au 21 décembre 2015, a été un événement important qui a fait apparaître pour la première fois une reconnaissance mondiale unanime de l'urgence des mesures à prendre pour limiter les émissions de gaz à effet de serre et aussi des mesures à prendre pour s'adapter aux conséquences du changement climatique. La COP 22 tenue à Marrakech en novembre 2016 n'a pas apporté d'éléments vraiment nouveaux en dehors de la création d'une « plateforme des stratégies 2050 » (« *2050 Pathways* » en anglais) qui réunit 22 Etats, 15 grandes villes et surtout 196 grandes entreprises, qui s'engagent à réduire leurs émissions de carbone.

Il y a consensus de la quasi-totalité des experts pour considérer qu'il y a beaucoup d'aspects positifs dans les conclusions et des engagements de la COP21, mais aussi que les engagements actuels des pays signataires sont encore largement insuffisants pour contenir le réchauffement climatique dans les limites fixées par la COP21. Il faut noter par contre que l'Union Européenne a affiché des objectifs ambitieux qui peuvent paraître difficiles à tenir. La France, en cohérence avec l'Europe, a pris des engagements très forts : moins 40% d'émissions gaz à effet de serre (GES) en 2030 et moins 75% en 2050. Ils sont considérablement plus ambitieux que ceux des autres grands pays émetteurs qui prévoient soit de continuer à augmenter fortement leurs émissions d'ici 2030 comme la Chine et l'Inde ou de ne réaliser que des progrès modestes comme les USA, le Canada et l'Australie.

Le présent dossier a pour objet d'analyser l'ensemble des mesures mises en œuvre et prévues en particulier en France et dans l'Union Européenne afin d'évaluer leur pertinence et leur efficacité technique, économique et environnementale. Il faut noter que les politiques en matière d'énergie ont été et restent très différentes dans les Etats Membres ce qui aboutit, entre autres, à des émissions de gaz à effet de serre par habitant également très différentes. La France un des pays de l'Union Européenne qui en émet le moins (19^{ème} rang), principalement à cause du nucléaire et d'une part importante du chauffage des bâtiments à l'électricité : la France émet un peu plus de 5 tonnes d'équivalent CO₂ par habitant contre un peu moins de 9 tonnes pour l'Allemagne (7^{ème} rang) et 7 tonnes pour la moyenne des 28 pays européens.

Dans la plupart des pays, les efforts techniques et les moyens financiers visant à réduire les émissions de GES, portent principalement sur la production d'électricité par des énergies renouvelables, le plus souvent intermittentes comme le solaire et l'éolien. Cela a déjà commencé à créer quelques problèmes qui risquent de s'aggraver si la proportion de ces énergies intermittentes continue à augmenter sans que l'on ait résolu techniquement et surtout économiquement le problème du stockage de l'électricité. On peut citer le discours de clôture d'Olivier Appert (président du Conseil Français de l'Energie) lors du 5^e Forum Européen de l'Energie tenu à Paris les 9 et 10 mai 2016 : « j'ai été frappé par le fait que, bien que l'électricité ne représente que 20% de la consommation globale d'énergie, elle a représenté 95% de tous les commentaires. » Il est clair qu'il serait préférable de privilégier la réduction des émissions de GES dans toute la chaîne production consommation plutôt qu'en investissant massivement dans les énergies électriques renouvelables intermittentes. On peut donc regretter que la plupart des pays, y compris la France, continuent à privilégier cette approche.

Les problèmes liés au changement climatique ne se conçoivent qu'à long terme. Une vision à long terme est donc indispensable si l'on veut prendre des décisions à court terme qui aillent dans le sens d'un développement véritablement durable. Ceci est particulièrement vrai pour les transports, un des principaux secteurs d'émission de GES : à très long terme, si l'on veut éliminer le recours au pétrole ne faut-il pas choisir entre l'électricité ou l'hydrogène ou une combinaison des deux ? Et ensuite tenir compte de ce choix pour prendre les bonnes décisions à court terme. Il serait sans doute préférable de faire porter l'essentiel des recherches dans cette voie plutôt que dans la réduction de consommation des combustibles fossiles.



L'autre secteur grand émetteur de GES est celui des bâtiments, en premier lieu pour le chauffage, soit directement par utilisation de gaz ou de fioul, soit indirectement par le chauffage électrique. Le renouvellement du parc immobilier étant très lent, il apparaît que les réglementations environnementales concernant l'immobilier neuf devraient être complétées par des mesures plus efficaces concernant les bâtiments existants. Un transfert des financements affectés aux ENR intermittentes vers le secteur des bâtiments paraît souhaitable.

L'agriculture et la forêt sont des secteurs qui sont à l'origine d'émissions de GES, mais qui contribuent aussi à absorber et à stocker du carbone. La déforestation dans les zones tropicales constitue un élément négatif car elle contribue assez fortement au déstockage du carbone organique. En Europe, au contraire, le volume des forêts a augmenté régulièrement comme conséquence de l'augmentation des rendements agricoles. Il est souhaitable que cette tendance se poursuive. Pour cela, le développement d'une agriculture raisonnée, économe en intrants (les engrais contribuent à la production de GES), mais à productivité élevée, devrait être préféré aux modèles d'agriculture intensive des années récentes. Une amélioration de la gestion des sols agricoles est pour de multiples raisons intéressantes, mais n'aura qu'un effet très limité de réduction des GES et ne saurait nous affranchir des stratégies de réduction des GES sur ce secteur.

Les besoins en terres agricoles au niveau mondial augmentent beaucoup plus vite que la population en raison de la forte croissance de la consommation de protéines animales dans les pays émergents. Pour chaque calorie alimentaire produite, la viande nécessite beaucoup plus de surface agricole que les céréales ou les légumineuses, ce qui contribue à la déforestation. De plus, les animaux d'élevage et en particulier les bovins, sont d'importants émetteurs de GES. Des mesures incitatives visant à réduire la consommation de viande bovine au profit de poisson, de volaille, de porc et de préférence de protéines végétales, seraient souhaitables, d'autant plus que cela pourrait avoir une incidence positive sur la santé comme l'indique une étude publiée par la FAO¹ en mai 2016.²

Toujours en matière agricole, la production de biocarburant ne semble pas être une solution efficace. Cela a été clairement démontré et acté dans l'Union Européenne en 2013 pour les biocarburants de première génération. Mais nous ne pensons pas que la production éventuelle de biocarburants dits de deuxième génération puisse apporter, sauf pour quelques rares exceptions, une solution vraiment plus efficace au problème des transports. Une exploitation efficace de la forêt comme source de matières premières ou comme source de combustibles destinés à la production de chaleur et éventuellement d'électricité par cogénération, nous semble largement préférable.

Pour ce qui concerne les industries et en particulier les industries manufacturières, plusieurs éléments sont à prendre en considération. Le premier est la question de la durabilité des biens de consommation : dans les pays développés, on remplace un produit manufacturé en panne par un produit neuf beaucoup plus souvent qu'on ne le répare comme autrefois. Ceci aboutit à un gaspillage d'énergie et de matières premières, d'autant plus que ces produits sont le plus souvent fabriqués loin de leurs lieux de consommation avec les coûts de transport qui en résultent. Faciliter la maintenance et le dépannage des produits manufacturés devrait faire l'objet de mesures normatives et réglementaires au niveau international. Il serait aussi souhaitable que les biens de consommation, surtout s'ils sont pondéreux comme les produits alimentaires, soient produits le plus près possible de leurs lieux de consommation afin de limiter les émissions de GES liées aux transports, notamment routiers.

¹ Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture - *Food and Agriculture Organization of the United Nations*

² Plates, pyramids, planet developments in national healthy and sustainable guidelines: a state of play assessment, FCRN (University of Oxford) and FAO (United Nations), May 2016.



Dans le rapport du Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable de février 2013³ nous retenons la conclusion suivante qui nous paraît toujours d'actualité : « Tous secteurs confondus, l'ensemble des exercices prospectifs, si l'on en retient les versions raisonnablement optimistes, débouche plutôt sur une réduction des émissions d'un facteur 2 ou 2,5 plutôt que d'un facteur 4. » Ceci est vrai au niveau français, mais aussi aux niveaux européen et mondial : les mesures annoncées à ce jour ne devraient pas permettre de limiter le réchauffement à 2°C (et encore moins à 1,5°C). S'il s'avère, comme cela paraît de plus en plus probable, que le réchauffement climatique entraîne des conséquences très dommageables dans de nombreux pays, il apparaîtra indispensable de prendre des mesures beaucoup plus sévères et coûteuses, d'autant plus qu'elles auront été prises tardivement.

Il apparaît donc qu'il serait judicieux de mettre en place des incitations plus efficaces pour limiter les émissions de GES. Deux types d'incitations sont envisagées par les économistes : taxation ou réglementation. Une majorité des économistes est plutôt en faveur d'une « taxe carbone ». Citons en particulier Jean Tirole, le récent prix Nobel d'économie⁴ : « pour les économistes il n'y a que deux solutions : la taxation des émissions, uniforme dans le monde, ou l'instauration de droits d'émissions négociables à l'échelle mondiale... Les mesures administratives (normes, taxations de certains produits...) peuvent être efficaces, mais elles sont souvent très coûteuses en regard du gain en CO₂. » Mais un accord au niveau mondial sur une des deux solutions proposées paraît aujourd'hui encore hors de portée.

La mise en œuvre de stratégies d'adaptation, ardemment réclamée par les Pays pauvres les plus menacés, est devenue le complément incontournable des programmes de réduction des GES. Parmi les impacts identifiés, les perspectives de modifications des ressources en eau (inondations, sécheresses, typhons) apparaissent comme des préoccupations majeures qui appellent des solutions d'adaptation locales. Les acteurs de l'eau ont développé de nombreuses solutions (systèmes d'alertes, économies d'eau, production d'énergie, ressources alternatives, etc.) qui offrent des voies d'adaptation. Il est à craindre, malheureusement, que certaines régions de la planète puissent connaître des cas extrêmes de désertification ou d'inondation (relèvement des mers) pouvant conduire à des migrations climatiques.

³ Le facteur 4 en France : la division par 4 des émissions de gaz à effet de serre à l'horizon 2050, rapport n°008378-01 du CGEDD, février 2013.

⁴ Jean Tirole, *Economie du Bien Commun*, PUF 2016



INTRODUCTION

A l'occasion de la COP21, les médias ont retenu trois chiffres : 2°C, 1,5°C et 2,7°C. Le premier correspond au réchauffement climatique à l'horizon 2100, jugé globalement comme étant un maximum supportable sans trop de dégâts pour l'humanité, le deuxième à un souhait des populations menacées par la hausse du niveau des mers et le troisième à une évaluation du réchauffement correspondant aux engagements de l'ensemble des pays du monde présentés à l'occasion de la COP21. Ces trois chiffres ne traduisent pas vraiment une réalité beaucoup plus complexe et multiforme.

Il faut en effet souligner, comme le fait le dernier rapport du GIEC, que ces chiffres correspondent à des valeurs moyennes prédites par des modèles mathématiques avec un degré d'incertitude qui reste élevé malgré les progrès réalisés depuis la création du GIEC. De plus, ces modèles prévoient, entre autres, des niveaux de réchauffement très différents selon les latitudes, ainsi que des variations importantes de la pluviométrie selon les régions.

Le fait qu'un accord mondial ait pu être réalisé lors de la COP21 traduit, pour la première fois, une prise de conscience également mondiale des problèmes qui peuvent résulter du changement climatique, et une influence de plus en plus réduite des « climato-sceptiques » sur les responsables politiques. Même si cet accord reste imprécis et sans doute largement insuffisant par rapport aux risques prévisibles, il constitue un premier pas important.

Le présent document étudie les points suivants :

- les prévisions du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) au niveau mondial et aux niveaux européen et français ;
- les émissions de gaz à effet de serre des principaux pays émetteurs ;
- les résultats de la COP21 avec les commentaires du groupe de travail ;
- les principales conséquences économiques du changement climatique au niveau mondial ;
- les engagements des principaux pays émetteurs pour la réduction de leurs émissions ;
- les conséquences du changement climatique pour l'Europe et la France ainsi qu'une évaluation des mesures prévues et à prendre par secteur : transports, bâtiment et génie civil, production d'énergie, agriculture, forêt et biomasse, aménagement du territoire.



LES PREVISIONS DU GIEC

En matière d'évolution de la température moyenne de surface, les experts du GIEC ne raisonnent pas sur une année déterminée, par exemple 2050 ou 2100, mais sur des plages de 20 ans, pour évaluer des tendances et lisser les aléas climatiques annuels. De plus le GIEC préfère indiquer des plages probables plutôt que des valeurs moyennes. Par exemple, une hausse moyenne de 1,8°C entre la période 1986-2005 et la période 2081-2100 correspond à une plage probable de 1,1 à 2,6°C, c'est-à-dire environ 1,7 à 3,2°C par rapport à l'ère préindustrielle (1850-1900). Pour avoir une idée de l'importance du phénomène, il faut noter qu'au cours de la dernière grande glaciation, il y a 22.000 ans, le niveau de la mer était inférieur de 120 mètres au niveau actuel et les grands glaciers couvraient tout le nord de l'Europe et des Etats Unis et tout cela à cause d'une température moyenne terrestre de 4°C inférieure à la température actuelle. Une hausse de plus de 3°C, et même de plus de 4°C si l'humanité ne réduit pas suffisamment ses émissions de gaz à effet de serre, devrait avoir des conséquences d'une ampleur considérable sur le climat.

Mais si nous avons de la chance et si l'humanité réagit avec assez d'efficacité, le réchauffement restera limité à environ 2°C, ce qui est déjà considérable mais peut-être supportable sans dommages excessifs.

Selon une étude récente du célèbre climatologue américain James Hansen, l'augmentation de 0,6°C de la température terrestre moyenne entre la période 1951-1980 et la période 2005-2015 s'est répartie de manière très différente selon les régions et les saisons. Par exemple, aux USA le réchauffement moyen entre les deux périodes a été de 0,5°C en été et de 0,2°C en hiver, mais dans la zone Méditerranée-Moyen-Orient, les réchauffements respectifs ont été de 1,3°C en été et de 0,5°C en hiver. Selon les modèles prédictifs, cette tendance devrait se poursuivre avec un changement climatique particulièrement important dans la zone Méditerranée-Moyen-Orient ce qui risque, selon Hansen, de rendre pratiquement inhabitable une partie très importante de cette zone.

Dans les zones où la température augmente fortement en été, et en particulier dans la zone Méditerranée-Moyen-Orient, cela devra se traduire par une augmentation de l'évaporation et une diminution des pluies et entraînerait donc une forte augmentation de l'intensité et de la fréquence des périodes de sécheresse.

Le rapport spécial sur la gestion des risques d'événements extrêmes et de catastrophes en vue d'une meilleure adaptation aux changements climatiques (rapport SREX) établi en 2012 dans le cadre du GIEC étudie la fréquence et l'intensité des événements climatiques extrêmes ; sécheresses, cyclones tropicaux, inondations. Il semble qu'il y ait déjà une augmentation significative de ces phénomènes depuis 1950, en particulier en ce qui concerne les périodes de canicule. Selon toute probabilité l'augmentation devrait se poursuivre et s'amplifier au cours des décennies à venir en fonction de la hausse des températures.

L'élévation du niveau des océans devrait entraîner de graves problèmes dans certaines zones géographiques comme le Bangladesh, les Pays Bas et les Maldives. Les conséquences de l'acidification des océans sont en cours d'étude et on ignore encore quelles en seront les conséquences sur le phytoplancton et donc sur l'ensemble de la chaîne alimentaire.

Le dernier rapport annuel de l'*American Meteorological Society* publié en août 2016 indique que l'augmentation globale de la température terrestre par rapport à celle de la deuxième moitié du 19^e siècle a, pour la première fois, dépassé 1°C en 2015, ce qui confirme la reprise de la hausse des températures déjà constatée en 2014, après le ralentissement observé au cours des quelques années précédentes. Parallèlement, le rapport souligne, entre autres, l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des tempêtes tropicales, la poursuite de la fonte des glaciers et de la hausse du niveau des mers.



Prévisions pour la France et l'Europe

Selon le GIEC, dans l'hypothèse moyenne, la hausse des températures en France à l'horizon 2081-2100 par rapport à la période 1986-2005 serait de l'ordre de 1-1,5°C pour le tiers nord-Ouest et de 2-3°C pour les autres deux tiers en moyenne annuelle. La hausse serait plus faible en hiver, dans la fourchette 1-1,5°C et plus forte en été dans la fourchette 2-3°C pour l'ensemble de la France, la tendance à la hausse étant toujours plus forte dans le sud-est que dans le nord-ouest. Rappelons qu'il faut ajouter à ces chiffres de l'ordre de 0,6-0,8°C pour se comparer à l'époque préindustrielle.

La pluviométrie annuelle aurait plutôt tendance à augmenter dans le nord et à diminuer dans le sud mais avec une diminution de l'ordre de 10% en moyenne pour l'ensemble de la France en été, un peu plus accentuée dans la partie sud. Le nombre et l'intensité des périodes de canicule devraient augmenter sensiblement, en particulier dans le sud-est.

Des études sous l'égide du MEDDE, intitulées « Gestion et Impacts du Changement Climatique » (GICC) regroupent des études ponctuelles concernant l'influence du changement climatique dans des domaines précis. Citons, par exemple le projet INVULNERABLE qui s'intéresse à la vulnérabilité d'entreprises telles ENGIE et EDF pour les pointes de consommation de gaz et Veolia pour les événements pluvieux extrêmes.

Parmi les principaux impacts potentiels du changement climatique en matière économique, on peut citer la diminution du domaine skiable touchant les stations à relativement basse altitude, les effets sur les rendements agricoles notamment dus aux sécheresses, le déplacement des zones d'attrait touristiques au détriment du quart sud-est du fait de chaleurs excessives en été et une érosion accrue du littoral du fait de la montée du niveau des mers.

Pour le reste de l'Europe, la hausse des températures moyennes annuelles varie de la fourchette 1-1,5°C de la façade atlantique à 4-5°C au Nord de la Russie. La pluviométrie devrait diminuer sensiblement en Europe méditerranéenne et augmenter en Europe du Nord.





LES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE (GES)

Les émissions de CO₂ par habitant varient considérablement selon les pays. Le record appartient au Qatar avec près de 44 tonnes de CO₂ par habitant et par an. L'ensemble des pays du Golfe ont des émissions qui varient autour de 20 tonnes par habitant. Viennent ensuite les USA (17 tonnes). La plupart des pays d'Europe occidentale émettent entre 7 et 9 tonnes. La France, la Suède et la Suisse sont à un peu plus de 5 tonnes grâce à l'énergie hydroélectrique et au nucléaire, c'est-à-dire un peu moins que la Chine (6,6 tonnes). Compte tenu de sa population, la Chine est le principal émetteur de CO₂, suivie par les USA puis l'Union Européenne (source CDIAC 2011).

Pour l'année 2013, les émissions de GES en France ont été de 491,1 millions de tonnes d'équivalent CO₂, en diminution de 11% par rapport à 1990. Les transports représentaient 132,6 Mt soit 27% des émissions en hausse de 9,5% par rapport à 1990, mais en légère baisse par rapport aux années 2000 à 2007. La quasi-totalité de ces émissions (près de 94%) est due aux transports routiers, dont plus de la moitié aux véhicules particuliers. L'industrie manufacturière représentait 63,7 Mt en 2013 (13% des émissions) en baisse de 26% par rapport à 1990 ce qui traduit pour l'essentiel la baisse des activités industrielles, notamment dans des industries à forte intensité énergétique comme la sidérurgie. Le secteur résidentiel et tertiaire a émis la même année 86,8 Mt (18% des émissions) à peine moins qu'en 1990. Les émissions de l'agriculture en représentaient 79,5 Mt (16,2% du total) en baisse de 8% par rapport à 1990, partagées à peu près à égalité entre l'élevage, en particulier des ruminants et les engrais. Le reste des émissions provenait des industries de l'énergie (électricité, raffinage, chauffage urbain...) pour 41,1 Mt (soit 8,4% du total) en baisse de 17% par rapport à 1990. En sens contraire, l'utilisation des terres, leur changement et la forêt ont constitué un puits qui a permis l'absorption de 44,3 Mt de GES.

Le rapport de l'*American Meteorological Society* cité plus haut indique que la concentration dans l'atmosphère des gaz à effet de serre a continué à augmenter : pour la première fois la concentration en CO₂ à l'observatoire de Mona Loa a dépassé 400 ppm en 2015.

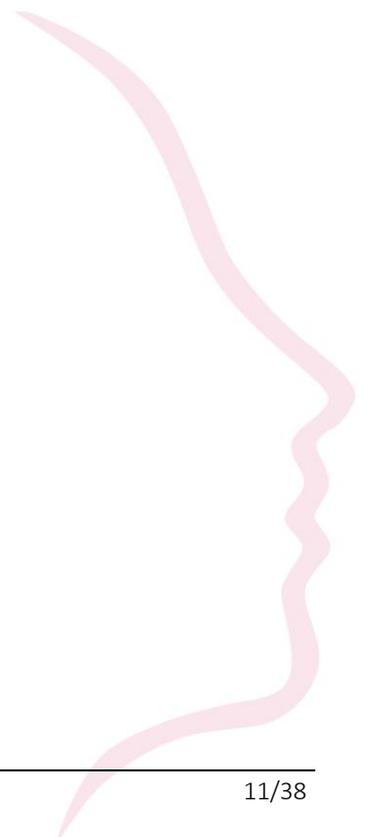




LA COP21

La COP21 a constitué incontestablement un progrès par rapport notamment à Kyoto et Copenhague. C'est en effet la première fois que tous les pays sont d'accord pour admettre la réalité et la gravité des perspectives du changement climatique et se sont déclaré prêts à prendre des mesures pour en diminuer l'incidence. Il n'en reste pas moins vrai que les mesures proposées à ce jour par les états sont encore disparates et sans doute largement insuffisantes par rapport à l'objectif d'une hausse moyenne limitée à 2°C et, a fortiori à 1,5°C.

Le tableau ci-dessous résume les forces et les faiblesses ainsi que les opportunités et les menaces à la suite de l'accord résultat de la COP21 :





Force	Faiblesse
<ul style="list-style-type: none">- Un consensus de 195 pays pour lutter contre le changement climatique par une diminution des émissions de GES- Une ratification dans les délais très courts initialement prévus- Un engagement des grands états, dont les Etats-Unis et la Chine- Des objectifs ambitieux : limiter le réchauffement à 1°5 plutôt que 2°- Des échéances assez précises avec un calendrier rapproché- Un dispositif de révision tous les 5 ans- Un dispositif de suivi, sur une base déclarative- L'instauration de la transparence et d'un suivi mutuel entre les états- Pas de possibilité de mise en cause de la responsabilité passée des états développés- Des efforts demandés modulés selon la situation des états, prenant en compte les besoins de croissance des moins développés- Un équilibre entre actions pour réduire les émissions de GES et celles pour renforcer les capacités d'adaptation aux effets néfastes des changements climatiques- La prise en compte de la mobilisation des acteurs (collectivités locales, industries, associations, citoyens) comme force de propositions et d'initiatives	<ul style="list-style-type: none">- Pas de mécanisme véritablement contraignant- Pas de financiarisation des externalités liées aux émissions de gaz à effet de serre ; pas de taxe carbone ou autre mécanisme de régulation mondiale- Trafics aériens et maritimes non pris en compte- Contribution des pays développés aux Fonds en faveur des pays en voie de développement non finalisée : laissée au volontariat, avec une dotation plancher indicative- Pas de référence explicite aux énergies renouvelables
Opportunités	Menaces
<ul style="list-style-type: none">- La flexibilité donnée à chaque pays sur les voies et moyens de réduire ses productions de gaz à effet de serre- Les opportunités de développements technologiques et économiques- La compatibilité affirmée entre croissance et réduction des émissions de GES, y compris par des actions de captures et de stockage, permettant la poursuite de l'usage d'énergies fossiles durant un certain temps- La place faite aux initiatives non gouvernementales, propice à la mobilisation collective	<ul style="list-style-type: none">- Une remise en cause des engagements de certains états, à commencer par les Etats-Unis, du fait d'alternances gouvernementales- L'insuffisance des objectifs nationaux cumulés- L'insuffisance des politiques nationales mises en œuvre- La non-fiabilité des données de suivi des émissions- La priorité donnée à la croissance par rapport à la réduction des émissions de GES, notamment dans les pays en développement- L'incapacité mondiale à financer la transition



QUELQUES CONSIDERATIONS ECONOMIQUES

- I. Les effets des émissions de GES sur le climat sont des effets cumulatifs et non-linéaires. S'il a fallu près de deux siècles d'accumulation de GES avant que des signes du réchauffement de la planète soient perceptibles, il faudra, à l'inverse, des années d'efforts soutenus de réduction des émissions avant que la courbe du réchauffement se stabilise puis s'inverse : les efforts susceptibles d'être faits n'ont pas d'effets bénéfiques immédiats.

Si certains des effets du changement climatique ont des impacts économiques directs appréciables, par exemple en termes de rendements agricoles ou de disponibilité des ressources en eau, beaucoup d'autres impacts sont des externalités, affectées d'aléas forts, notamment en matière de catastrophes naturelles.

Le premier rapport fait sur le coût économique du changement climatique et l'intérêt économique de lutter contre lui, est celui établi en 2006 par Nicholas Stern, ancien vice-président senior de la Banque mondiale de 2000 à 2003⁵, à la demande du ministère des finances britannique. Il concluait, sur la base d'une approche coûts-bénéfices, que les dommages causés par le réchauffement de la planète seraient 5 à 20 fois supérieurs aux sacrifices que les systèmes économiques devraient supporter pour lutter efficacement contre l'effet de serre. Ce message, abondamment médiatisé à l'époque, a contribué à forger un consensus international sur la nécessité et l'urgence d'agir, même si ses bases méthodologiques ont donné lieu, au moment de la publication, à de vifs débats.

Notamment, l'appréciation d'effets sur le long terme, dans une approche classique coûts-bénéfices, pose la question du coefficient d'actualisation utilisé, qui doit nécessairement être faible (N. Stern a utilisé un taux de 0,1% et un taux de croissance à long terme de 1,3%) pour que le moyen et long terme ait du poids.

- II. Au plan micro-économique, la rentabilité des mesures de réduction des consommations d'énergies fossiles et de réduction des émissions de GES associés, est d'autant plus faible que le prix des énergies fossiles, auxquelles on veut donner des substituts, est bas. En l'état actuel des prix de marché, il n'y a pas de modèle économique pour les agents, entreprises ou particuliers, sans valorisation des externalités liées au changement climatique ou contraintes législatives et réglementaires fortes (et effectivement respectées...).

La valorisation, implicite ou explicite de ces externalités, peut se faire par des dispositifs de subvention, ce qui pose la question des ressources budgétaires qui les financent, soit par la voie de la fiscalité, par exemple sous forme d'une taxe CO₂. Dans ce dernier cas, s'agit-il d'un alourdissement net de la fiscalité ou d'une restructuration de la fiscalité, à taux de prélèvement global constant, pour qu'elle soit incitative à une économie, une consommation ou des investissements décarbonés ?

- III. La « décarbonation » de nos modes de vie et de production, pose la question du lien entre croissance et consommation d'énergie, question qui se pose en des termes différents entre les pays selon leur degré de développement.

L'accord de Paris est basé sur le schéma suivant :

- la poursuite de la croissance dans les pays développés est décorrélée des émissions de GES ;
- pour les pays intermédiaires ou en développement, il est admis que leurs émissions de GES augmentent, en niveau absolu et par habitant ou par unité de PIB, dans un premier temps de croissance de leur économie, puis diminuent, car ils sont supposés rejoindre, ensuite, la trajectoire des pays développés.

⁵ *Stern Review on the Economics of Climate Change* - octobre 2006

2006 http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20100407011151/http://www.hm-treasury.gov.uk/sternreview_index.htm



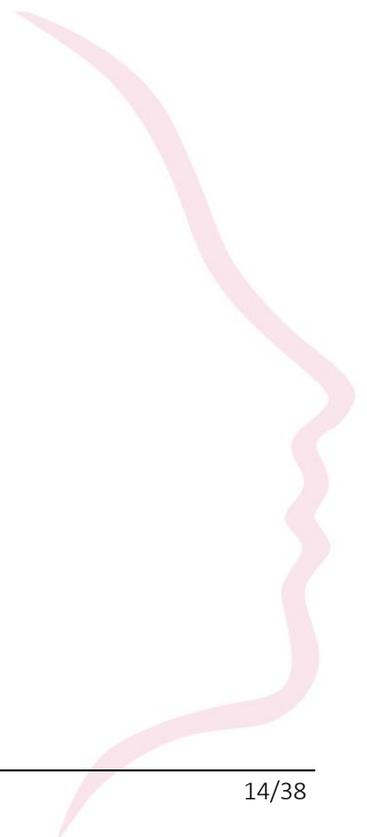
Ce sont donc les pays développés qui doivent fournir les efforts de réduction d'émission les plus intenses, en début de période. Les phénomènes de changement climatique étant cumulatifs, il n'est pas illégitime que la répartition des efforts entre les pays tienne compte des quantités de GES émises depuis la période de révolution industrielle. En tout cas, cette répartition inégale des efforts de réduction des émissions, en particulier durant la première période, a été, avec les engagements pour doter de 100 milliards de dollars par an le Fonds vert pour le climat, principal instrument multilatéral d'aide aux pays pauvres et vulnérables en matière de climat, un élément essentiel dans l'aboutissement d'un accord unanime entre les pays participants de la COP21.

Plusieurs observations peuvent être faites sur ce schéma :

- il ne prend pas en compte les interrogations actuelles sur les gains de productivité et, donc, sur les gisements de croissance que contient la révolution technologique en cours, basée sur le numérique ;
- est-il suffisant pour atteindre les objectifs recherchés ? n'est-ce pas une révision plus radicale - et moins consommatrice - des modes de vie des individus et d'organisation des sociétés, qui sont nécessaires, alors mêmes que tous les individus « n'ont pas leur compte » dans la situation actuelle ?
- les outils de mesures économiques comme le PIB ne sont pas réellement adaptés à la valorisation des évolutions souhaitées.

IV. La transition liée à la lutte contre le changement climatique offre aussi aux pays technologiquement développés des opportunités de créations de nouvelles activités industrielles ou de services.

Dans beaucoup de cas, l'exportation d'innovations passe par l'aboutissement préalable de réalisations dans le pays d'origine des entreprises cherchant à exporter. Cette volonté de favoriser l'émergence de nouvelles activités profitables est très présente dans les choix énergétiques allemands.





LES ENGAGEMENTS PAR PAYS : INTENDED NATIONALLY DETERMINED CONTRIBUTION (INDC)

Sont donnés ici quelques exemples commentés d'engagement déposés par un certain nombre de pays, à l'automne 2015, avant la tenue de la conférence de Paris.

Nota 1 : les objectifs affichés par les pays ne sont pas tous formulés dans les mêmes unités : selon qu'ils sont évalués en tonne de CO₂ par habitant ou par unité de PIB, selon les hypothèses implicites de croissance de la population ou du PIB sur les 20 prochaines années, les quantités totales émises par le pays peuvent, à terme, être très différentes.

Nota 2 : les seules statistiques détaillées par pays, qui soient disponibles, sont anciennes (année 2011) et ne concernent que les émissions de CO₂ pas celles d'autres gaz à effet de serre, avec leur coefficient d'équivalence.

1. **Les Etats Unis** (Population : 314,9 millions ; Production CO₂ : 16,85 t/h (11^{ème} rang) ; PNB : 49 277 \$/h)⁶

Les USA s'engagent dans leur INDC à réduire leurs émissions par rapport à 2005 de 17% en 2020 et de 26 à 28% en 2025. Il faut noter que l'objectif pour 2020 consiste à revenir un peu au-dessus des émissions de 1990-91. Pour parvenir à ce résultat, les USA citent une série de lois et réglementation existantes ou en cours mais sans précision sur les moyens précis.

2. **La Chine** (Population : 1368,4 millions ; Production CO₂ : 6,59 t/h (44^{ème} rang) ; PNB : 10 092 \$/h)

Les engagements de la Chine consistent réduire les émissions de CO₂ de 40-45% par unité de PIB en 2020 par rapport à 2005. Sachant que ces émissions auraient été réduites de 33,8% en 2014 par rapport à 2005, ceci correspond à un effort de réduction supplémentaire de 18 à 33% par unité de PIB en 2020 par rapport à 2014. Compte tenu de la croissance probable du PIB, ceci devrait correspondre en pratique à une augmentation des émissions significative. Dans ce cadre, la Chine prévoit d'augmenter la part des combustibles non fossiles dans la consommation d'énergie primaire de 11,2% en 2014 à 15% en 2020 et d'augmenter les surfaces forestières d'une vingtaine de millions d'hectares. Par ailleurs la Chine prévoit atteindre le pic de ses émissions totales de CO₂ en 2030.

3. **L'Inde** (Population : 1221,1 millions ; Production CO₂ : 1,69 t/h (114^{ème} rang) ; PNB : 4 786 \$/h)

Comme pour la Chine, l'Inde prévoit de réduire ses émissions par unité de PIB, mais seulement de 33-35% en 2030 par rapport à 2005, ce qui devrait correspondre à une forte augmentation des émissions totales. Dans ce cadre l'Inde prévoit de porter la capacité de production d'électricité hors combustibles fossiles à 40% de la capacité installée et de créer 2,5 à 3 milliards de tonnes de puits d'équivalent CO₂ par un accroissement de la couverture forestière.

4. **L'Union Européenne** (Population : 508,7 millions ; Production CO₂ : 7,04 t/h (40^{ème} rang) ; PNB : 34 364 \$/h)

⁶ Source : Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC) - US Department of energy (DOE) données 2011



L'Union Européenne s'engage à une réduction de 40% de ses émissions de gaz à effet de serre en 2030 par rapport à 1990 en rappelant ses engagements antérieurs de réduire ses émissions de 20% entre 1990 et 2020 et le fait que ces émissions ont déjà été réduites de 19% dès 2012. Les émissions sont donc passées de 12 tonnes d'équivalent CO₂ par habitant à 9 tonnes en 2012 en visant 6 tonnes en 2030.

5. **L'Égypte** (Population : 79,4 millions ; Production CO₂ : 2,78 t/h (94^{ème} rang) ; PNB : 10 631 \$/h)

Le document remis par l'Égypte rappelle les circonstances particulières dans lesquelles le pays se trouve placé : croissance attendue de la population (croissance annuelle supérieure à 2% jusqu'en 2040) et du PIB, avec un accent mis sur de grands projets (+ 5% par an) ; amélioration des indicateurs sociaux. Il insiste sur les effets négatifs attendus du changement climatique : diminution des rendements agricoles (de près de 20% pour les céréales, d'ici 2050) ; submersion des zones littorales du delta ...

Il donne ensuite des indications assez exhaustives mais très générales sur les moyens de réduire les émissions de GES, sans aucun objectif chiffré. Il évalue, enfin, les investissements à réaliser sur la période 2020-2030 à 73 MM\$, pour lesquels le support international est attendu.

6. **L'Afrique du Sud** (Population : 52 millions ; Production CO₂ : 9,19 t/h (27^{ème} rang) ; PNB : 12 197 \$/h)

L'Afrique du Sud présente des outils de planification qui intègrent élimination de la pauvreté, éradication des inégalités et lutte contre le changement climatique. L'objectif affiché est un niveau d'émissions de GES en 2025 et 2030 entre 398 et 614 MtCO₂eq, à comparer à un niveau actuel de 477 Mt ; l'évolution prévue sur la période comporte d'abord une croissance des émissions puis un plateau et enfin une décroissance. Sont également données des estimations des investissements qui sont prévus, à la fois pour réduire les émissions et lutter contre les conséquences du changement climatiques.

7. **L'Éthiopie** (Population : 89,4 millions ; Production CO₂ : 0,084 t/h (184^{ème} rang mondial) ; PNB : 1172 \$/h)

L'Éthiopie affiche un objectif de niveau d'émission de GES, en 2030, identique, en niveau absolu, par rapport à ce qu'il est en 2010, ce qui représente un effort de réduction de 64% par rapport à sa prévision tendance de croissance de sa population et de développement de son économie. Elle prévoit également de devenir exportatrice d'électricité « verte », d'origine hydraulique, dans sa région.





ANNEXES : ANALYSES SECTORIELLES

Les analyses sectorielles qui figurent dans ces annexes ont été réalisées par les comités sectoriels qui ont participé au groupe de travail auteur de la présente étude. Les deux les plus développées concernent les transports d'une part et les bâtiments et le génie civil d'autre part. Ces deux secteurs sont ceux pour lesquels les potentiels de réduction des émissions de GES sont les plus importants et pour lesquels des technologies existent ou sont en cours de développement.



Annexe 1. : TRANSPORTS

Résumé

Si la réduction de l’empreinte carbone du transport est nécessaire, il n’existe pas de moyen simple d’atteindre cet objectif. Il faut dès lors agir simultanément sur des multiples moyens de progrès partiels disponibles et ainsi cumuler :

- les innovations techniques (sur les moteurs, les véhicules, les carburants, etc.),
- les innovations opérationnelles et organisationnelles (conduite économique, organisation logistique, urbanisme de proximité, multimodalité (transports, collectifs, autopartage, covoiturage),
- et enfin les innovations économiques (augmentation du prix de l’énergie ou taxe carbone, redevance kilométrique modulable d’usage de l’infrastructure routière, permis d’émission négociables, etc.).⁷

L’efficacité de chacune des mesures envisageables dans ces trois domaines d’innovation sera d’autant plus forte qu’elles contribuent simultanément à d’autres objectifs socio-économiques auxquels adhère l’opinion publique tels que : sécurité, limitation de la congestion et de la pollution en milieu urbain dense, limitation de la dépendance automobile dans les territoires à faible densité.

La présente fiche :

- rappelle quelques fondamentaux du transport en France (état des lieux) :
- précise les leviers d’action (déjà utilisés ou proposés), leur acceptabilité et leurs effets potentiels sur la réduction des émissions de GES (facteur 2 en 2050)
- propose des problématiques (écosystèmes techniques et socio-économiques) pour lesquelles des gisements complémentaires de réduction des émissions de GES permettraient d’aller au-delà du facteur 2

1. Le système des transports en France : état des lieux

1.1 Les déplacements de personnes

Tous types de déplacements confondus (y compris les déplacements à pied), les personnes résidant en France métropolitaine, âgées de 6 ans ou plus, effectuent 60,2 milliards de déplacements par an, soit 1100 déplacements ou 3 déplacements par jour et par personne en moyenne dans l’année. La distance parcourue a été évaluée à environ 837 milliards de voyageurs-kilomètres, soit un peu plus de 15 000 kilomètres par an et par personne (à comparer aux 20 000 km par an d’un habitant des USA et aux 10 000 km par an d’un japonais).

La mobilité locale, définie comme l’ensemble des déplacements effectués à courte distance (moins de 80 km à vol d’oiseau) constitue la quasi-totalité des déplacements annuels. En 2008, la part des déplacements à longue distance (plus de 80 km à vol d’oiseau) au sein de l’ensemble des déplacements ne représente que 1,3 % du total des déplacements. En revanche, son importance est beaucoup plus significative (de l’ordre de 40 %) si l’on considère les distances parcourues (*tableau ci-dessous en voyageurs x kilomètres par an*).

⁷ L’approche générale de cette fiche est fortement inspirée par une note récemment mise à jour par un groupe de travail du Conseil scientifique de TDIE animé par Michel Savy et Patrick Faucheur (avec Dominique Auverlot, Claude Gressier, Nils Raynaud)



Les déplacements de voyageurs en 2008 (ENTD), en milliards	Voyageurs x km tous modes	Voyageurs x km en voiture	% voyag. x km transp. collectifs
Longue distance (plus de 80 km)	300	220	26,6 %
Proximité : grandes aggl. avec Transports collectifs (40 % de la population)	220	170	15 % à 20 %
Proximité : périurbain et rural (60 % de la population)	360	330	5 % à 10 %
Total tous voyageurs (transport intérieur)	880	720	18%

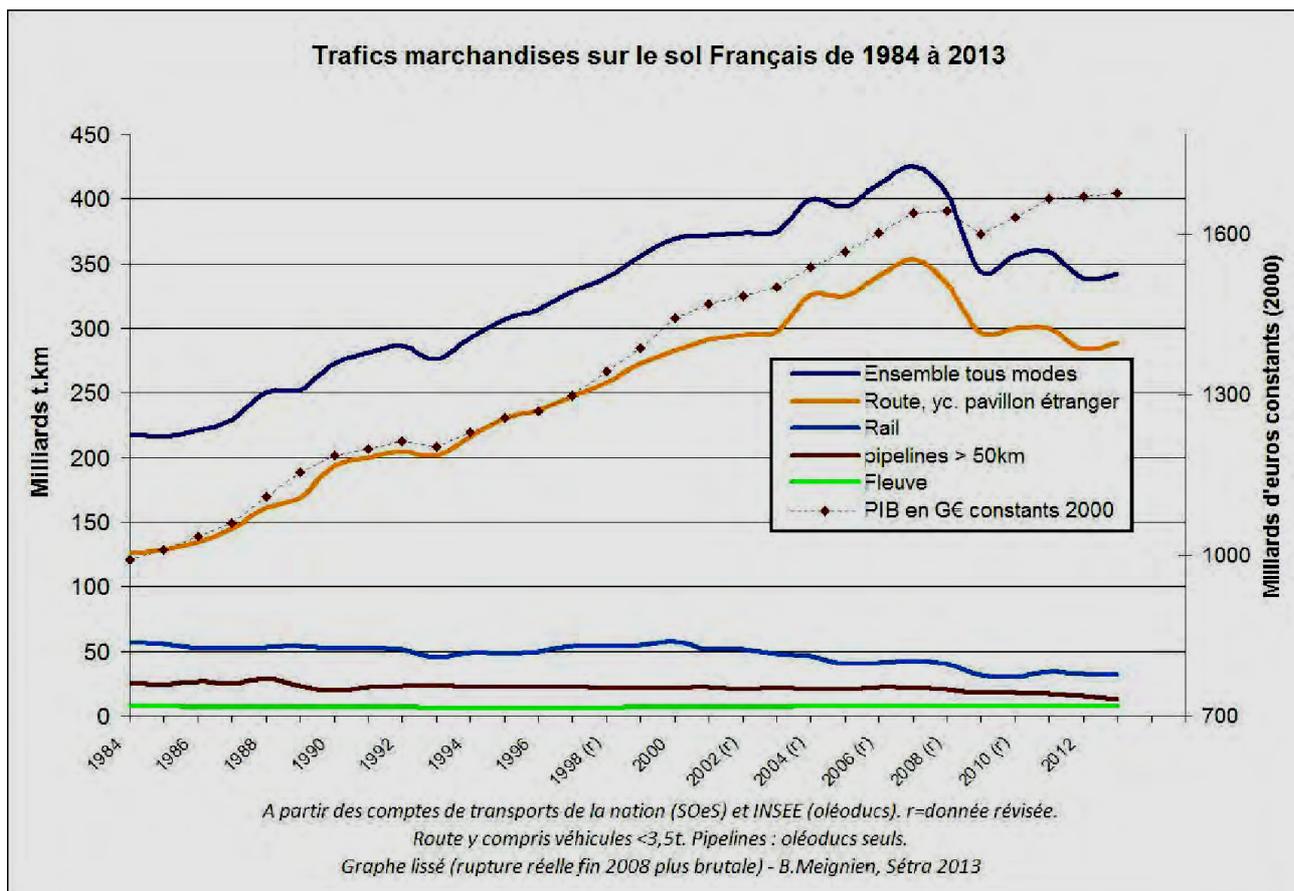
Tendance lourde : Le parc automobile français s'élevait en 2013 à 31,6 millions de voitures particulières (utilisées pour l'essentiel par les ménages), en faible augmentation au cours des dernières années (+180 000 véhicules supplémentaire par an depuis 2008). Malgré le développement important des transports collectifs (concentrés dans les grandes agglomérations denses), l'automobile personnelle reste le mode de transport dominant pour la mobilité quotidienne des français. Rapportée à l'ensemble des déplacements quotidiens, l'automobile est le mode utilisé dans 12 % des cas dans Paris, 50% dans les grandes agglomérations denses, 80% dans les villes petites et moyennes et plus de 90 % dans les territoires périurbains et ruraux. Près de la moitié de circulation automobile est constituée de trajets locaux (moins de 80 km) parcourus dans les territoires périurbains et ruraux où réside 60% de la population (800 voitures pour 1000 habitants constituée massivement de véhicules d'occasion de plus de 7 ans d'âge.

Le transport de voyageurs en France (tous modes confondus) s'accroît très faiblement depuis dix ans et aurait atteint son niveau de maturité : les distances de déplacements domicile-travail restent élevées, mais n'augmentent plus ; les vitesses de transport porte à porte diminuent, notamment avec la congestion et les dispositifs de sécurité ; les distances de déplacements quotidiens restent contraintes par les rythmes de vie et les durées de transport ; les populations aux revenus supérieurs ont « fait le plein » de leurs envies de déplacement, mais il reste des potentialités de croissance issues des populations à faible revenu actuel...

1.2 Les mouvements de marchandises

En 2014, trafic terrestre de marchandises sur le sol français, avec 340 milliards de t-km a fortement chuté avec la crise de 2008 et se retrouve au même niveau qu'il y a 15 ans (décrochage par rapport au PIB : voir graphique ci-dessous).

L'activité du transport de fret ferroviaire a fortement chuté depuis 2005 (32 Mds Tk en 1014 contre 50 Mds Tk), principalement pour des raisons structurelles liées à la demande, et représente aujourd'hui moins de 10% de part modale.



Les projections récentes réalisées par les services du Ministère de l'Écologie (Commissariat générale au développement durable) tablent sur une faible croissance annuelle (1,6% par an, proche de celle du PIB), soit un accroissement de l'ordre de 30% à l'horizon 2030 (légèrement inférieur en trafics de poids lourds compte tenu des progrès de productivité de la chaîne logistique.

Tendance lourde Cependant la distribution urbaine (livraisons aux entreprises et aux particuliers) connaît une très forte croissance liée notamment au développement des services à la personne et au e-commerce. Sans compter les les mouvements effectués par les particuliers avec leur automobile, le transport de marchandises consacré aux utilisations professionnelles représente environ 20 % du trafic urbain (en termes de véhicules-kilomètres), 30 % d'occupation de la rue et jusqu'à 50 % des émissions de gaz à effet de serre et de polluants locaux..

1.3 Les émissions de gaz à effet de serre

Les émissions de GES des transports s'établissent en 2014 à 130 Mt équivalent CO₂. La part du CO₂ représente 96,1 % des émissions. Elles sont essentiellement dues (à 94,7 %) au transport routier. Ces dernières diminuent depuis 2004 du fait du ralentissement de la croissance de la circulation routière, et de la baisse de la consommation des nouveaux véhicules. On constate que, entre 1990 et 2012, les efforts de gestion et la réglementation technique des véhicules ont permis une amélioration de l'efficacité énergétique du transport.

2. Les leviers d'action déjà utilisés ou proposés et leurs effets potentiels

Le projet de contribution de l'association TDIE à ce débat sur la lutte contre le réchauffement climatique, suite à la COP 21 est une analyse complète et documentée des problématiques d'action pour la réduction des émissions de Gaz à effet de serre des transports que l'on peut résumer comme suit :



- *Identification de deux voies de progrès*
 - (a) L'action sur les moyens de transport, leur technologie et leur mise en œuvre opérationnelle (innovation technique), pour améliorer leur efficacité énergétique et environnementale.
 - (b) l'action sur les pratiques de mobilité des personnes et des marchandises, sur l'organisation des flux dont le transport est le support, pour en améliorer l'efficacité (innovation organisationnelle)
- *Des mécanismes d'intégration des externalités.*
 - (a) La réglementation (européenne) pour l'édiction de normes techniques touchant directement le volume des émissions : des objectifs contraignants pour les émissions de gaz carbonique des voitures neuves à hauteur de 130 g de CO₂ par km (5,2 l / 100km) en 2015 et de 95g de CO₂ par km (3,7 l / 100km) en 2020. Dispositifs à appliquer aux VUL et aux poids lourds.
 - (b) Le bonus- malus écologique est en France un mécanisme fiscal fixant un prix supplémentaire pour l'achat des véhicules dépassant une certaine norme d'émission de GES, et inversement à leur appliquer une taxe négative (subvention) s'ils sont en dessous.
 - (c) À côté de la TICPE, la tarification des infrastructures de transport peut être, outre un moyen de financement de l'infrastructure, de son usage et son entretien, une manière d'internaliser les effets externes. Cependant, l'introduction d'une écotaxe poids lourd a finalement été abandonnée en France, alors que son principe avait été voté à la quasi-unanimité de l'Assemblée nationale.
 - (d) Le second mécanisme d'incitation monétaire vise à fixer dès le départ le volume total d'émissions à ne pas dépasser. Les pouvoirs publics répartissent ce volume total entre les émetteurs sous forme de « quotas », sur la base de la situation de départ. Ces quotas peuvent alors être échangés entre pollueurs, de sorte que se constitue un marché des droits d'émission et un prix de marché. Encore faut-il que la distribution initiale de quotas soit bien calibrée... Cependant la distribution de quotas négociables ne semble guère praticable auprès des automobilistes (qui se comptent par dizaines de millions) ou même des entreprises de transport routier (qui se comptent par dizaines de milliers).
- *Le rôle primordial de l'organisation des transports en ville.*
 - (a) Limiter l'usage de l'automobile en zone urbaine par la planification du choix des formes urbaines et des systèmes de transport et de leur articulation (des offres alternatives à la voiture individuelle qui soient suffisamment concurrentielles).
 - (b) Planifier à la bonne échelle (intercommunale) en limitant les effets de bord (qui augmentent l'étalement urbain et les distances parcourues,
 - (c) Intégrer la dimension environnementale et la contribution des politiques de mobilité à une série d'objectifs socio-économiques et environnementaux
 - (d) Développer la ville compacte c'est à dire organisée en mixant les fonctions et en maîtrisant l'étalement urbain et structurée autour des nœuds où se recoupent transports publics et privés. Ce qui nécessite une recomposition d'un espace urbain qui s'est modelé, au cours des quarante dernières années
- *Réduire la dépendance automobile et promouvoir l'intermodalité* : en offrant de réelles alternatives concurrentielles à l'usage de l'automobile, quitte à en diminuer les avantages comparatifs
 - (a) Utiliser le levier du stationnement pour rationaliser l'usage de la voiture
 - (b) Répartir plus équitablement l'espace public entre les divers modes de transport
 - (c) Développer une offre de transports publics propres, confortables et bien intégrés dans le tissu urbain
 - (d) Promouvoir l'usage de la marche et du vélo en mettant en place des équipements dédiés
- *Faire évoluer les comportements* avec un certain découplage entre la possession et l'usage de la, ce qui peut être considéré comme les prémices d'une utilisation différente ouvrant la voie à de nouveaux usages de la voiture dans la chaîne de la mobilité durable.
 - (a) Jouer sur les horaires et les lieux de travail
 - (b) Développer "l'autopartage"
 - (c) Encourager le covoiturage



(d) Promouvoir les systèmes de transport intelligent en ville

- **Soutenir l'amélioration technique des véhicules urbains et interurbains.**

(a) La période actuelle connaît la poursuite d'évolutions incrémentales observées au fil des décennies : la consommation d'un poids lourd est graduellement passée de 40 l pour 100 km à 30 l, dans des conditions de circulation routière fluide, en quelque 20 ans, tandis qu'une automobile ne consommant que 2 l aux 100 km n'est plus une utopie.

(b) Le recours aux biocarburants de « deuxième génération », utilisant des déchets de biomasse est une manière de réduire les émissions,

(c) La rupture la plus spectaculaire est l'avènement de véhicules électriques capables de rivaliser, en termes de performances et de coût, avec les véhicules traditionnels

- **Moderniser la logistique urbaine.** Les utilisations professionnelles représente environ 20 % du trafic urbain (en termes de véhicules-kilomètres), 30 % d'occupation de la rue et jusqu'à 50 % des émissions de gaz à effet de serre et de polluants locaux. C'est donc un enjeu économique et de qualité de la vie de citoyens : achat de véhicules propres, horaires d'accès à certains quartiers, stationnement des livraisons, implantation d'équipement logistiques au cœur des agglomérations

Aucune de ces mesures n'apporte à elle seule de gain supérieur à quelques pourcents des émissions de GES. Seul leur cumul apportera des réductions substantielles. Un exercice mené en France et portant sur le seul transport routier de marchandises, a montré que l'on pourrait de cette manière atteindre pour le fret routier une réduction par un facteur 2 à l'horizon 2050 par rapport à l'année 1990.

3. Des gisements complémentaires de réduction des émissions de GES

L'analyse des voies de progrès par le groupe de travail du Conseil scientifique de TDIE rassemble des actions sur les moyens de transport leur technologie et leur mise en œuvre, mais aussi sur les pratiques de mobilité des personnes et des marchandises, liée à la demande et aux flux. La mobilisation d'ensemble de chacune de ces actions permettrait d'atteindre un facteur 2 de réduction des émissions de GES (comme l'ont mis en évidence plusieurs exercices conduits depuis une dizaine d'années (CGPC, CAS, PREDIT...).

Pour aller au-delà, il faut changer de paradigme et considérer la mobilité comme un moyen de production ou d'accès à un bien ou un service, faisant partie intégrante des chaînes de valeur socio-économique (écosystème) dont il faut rechercher une plus grande efficacité économique, sociale et environnementale. L'irruption du numérique dans nos sociétés, (avec les transformations des modes de vie et des modes de production qu'elle entraîne ou qu'elle rend possibles), nous invite à renouveler les modes de pensée et d'action en responsabilisant les acteurs de la chaîne⁸.

Si la plupart des chaînes de production de biens et de services consacrent aujourd'hui 15% à 25% de la valeur créée en transport et en déplacements (coûts directs auxquels faut ajouter les externalisées environnementales), il y a des économies importantes à trouver (notamment avec les outils numériques), qui auront des effets bénéfiques à la fois sur le financement du transport, sur la qualité de la vie de la population, et sur la diminution des nuisances environnementales liée à la circulation (au-delà du facteur 2)

En sus des deux axes d'amélioration affichés par les pouvoirs publics (transfert de la voiture vers les transports collectifs et production de véhicules neufs décarbonés), trois gisements d'économies potentielles (écosystèmes) pourraient être explorés ou revisités :

- l'utilisation plus intensive du parc automobile permettant d'accélérer son rajeunissement et de diminuer globalement la circulation automobile ;

⁸ *La mobilité refondée avec le numérique* – Ingénieurs et Scientifiques de France – Novembre 2015 : http://home.iesf.fr/offres/file_inline_src/752/752_P_37223_565811a93d58c_1.pdf



- l'organisation logistique des services urbains destinée à limiter le nombre ou la distance des trajets obligés et d'optimiser les systèmes de déplacements et de livraisons ;
- l'adaptation des chaînes de valeur, destinée à diminuer les émissions de GES sur le cycle de vie d'un produit, en incluant le transport lié à sa production, à son usage et son recyclage

3.1 Consistance et usage du parc automobile

Problématique : La quantité d'énergie consommée (ou de GES émis) pour un déplacement (personne ou colis) résulte de quatre facteurs : le choix du véhicule (masse et type d'usage) ; la performance de la motorisation (nature et quantité d'énergie au km parcouru selon l'itinéraire), la quantité de GES émise et le chargement effectif du véhicule (nombre de personnes ou de colis transportés). Pour la personne ou l'entreprise qui gère un ou plusieurs véhicules, le gisement d'économie consiste à agir simultanément sur ces quatre facteurs qui sont en grande partie liés, par exemple : adapter le véhicule à son usage quotidien (trajets courts de proximités et facilités d'usages partagés) ; rendre possible (et facile) le covoiturage sur ces trajets ; utiliser ces trajets pour des livraisons et services à la personne ; partager les véhicules disponibles à l'échelle du voisinage, afin d'assurer un renouvellement plus fréquent du parc et diminuer son volume et assurer un meilleur entretien.

Conditions Ces nouveaux modes d'usage des véhicules personnels dans la vie quotidienne impliquent des adaptations des comportements, complexes et progressives, nécessitant l'adhésion de tous les acteurs locaux et un accompagnement incitatif des autorités locales. Cette action de longue haleine ne fera que préparer l'arrivée d'une nouvelle génération de voitures autonomes (sans conducteur) dont l'usage sera nécessairement partagé. Sous réserve d'une régulation économique limitant les effets rebond, le potentiel d'économies liée à ces nouveaux usages peut être évalué entre 20% à 25% de diminution de la circulation automobile (à volume de déplacements inchangé), entraînant une réduction de l'ordre de 15% des émissions de CO₂, qui s'ajouté aux bénéfiques attendus des nouvelles motorisations automobiles, notamment électriques et hybrides, de l'ordre de 1% par an.

3.2 Mobilités de proximité et logistique urbaine

Problématique A l'échelle d'un territoire de vie, les systèmes numériques constituent une nouvelle filière de production de services de mobilité, en apportant trois leviers d'action inédits, autonomes et interdépendants : (1) L'adaptation des activités génératrices de déplacements, à partir de nouvelles manières de concevoir ces activités - le travail mobile, le service à distance, le relais de proximité -, et donc de repenser la mobilité, non pas seulement comme l'organisation des déplacements, mais comme le système d'accès aux activités de la vie quotidienne ; (2) L'accès à des plateformes et centrales d'information qui distribuent les services de mobilité et peuvent être connectées et enrichies avec de nouveaux services ; (3) Le partage de ressources les véhicules, - l'espace, la logistique, la connaissance - pour multiplier et diversifier l'usage des moyens de mobilité :

Conditions : l'aménagement des territoires de vie (la ville dense et surtout les espaces périurbains et ruraux à faible densité) n'est plus seulement pensée en termes d'objectifs d'urbanisme (la densité autour des gares, le stationnement, les itinéraires cyclables...) mais d'organisation et de fonctionnement des activités de la vie quotidienne (travail, santé, formation, loisirs) qui intègre les coûts réels de la mobilité. L'expérience des Plans de déplacements d'entreprises pourrait être élargie à l'ensemble de la chaîne de valeur (organisation des activités, dématérialisation), et généralisée à l'échelle des « territoires de mobilité », moyennant l'organisation de « transferts de compétences » portés par une ingénierie d'analyse et d'expérimentation.⁹

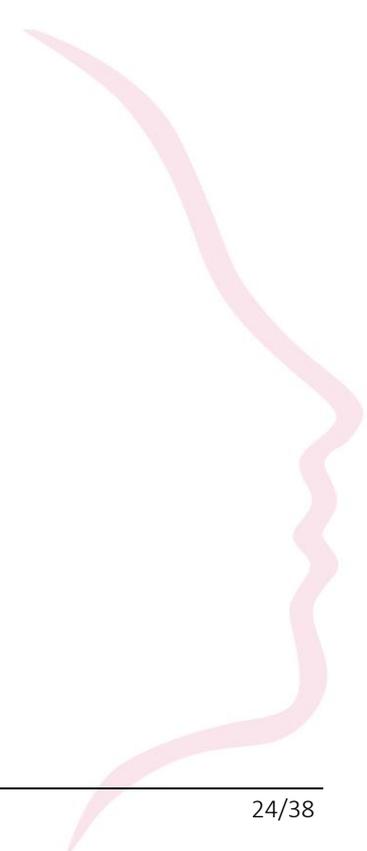
⁹ C'est la démarche expérimentée par le projet BMA (Bretagne, Mobilité Augmentée) financé par l'ADEME dans le cadre du programme des Investissements d'Avenir. <http://bretagne-mobilite-augmentee.fr/bma-pre.pdf>



3.3 Le transport à longue distance dans le cycle de vie des produits

Problématique : les transports de marchandises des entreprises et administrations publiques représente un coût annuel de 162 Mds € (comptes transport), principalement marchandises et chaînes logistiques. La part de ce coût dans la chaîne de valeur d'un produit (cycle de vie) est très variable d'un secteur à l'autre, et le choix des mesures d'économie sur les quantités de transport à réaliser doit être comparé aux autres mesures de productivité ou d'efficacité de la chaîne. En sus des mesures de productivité du transport proprement dit (conduite écologique, choix du mode de transport), les autres facteurs d'économies doivent être recherchés, dans tous les facteurs de production : choix des matières des procédés et des lieux de production, organisation du cycle entre les établissements, localisation des stockages et centres de distribution,

Conditions : La question du coût des externalités du transport et de son mode d'imputation à l'entreprise (sous forme de normes d'émissions, de quotas, ou taxe au kilomètre, de bonus-malus...) sera ainsi déterminante sur le choix des économies possibles de tonnes ou tonnes-km à transporter,





Annexe 2. : BATIMENT ET GENIE CIVIL

A. Bâtiments

Le parc de bâtiments construit comprend principalement le parc résidentiel (logements) et le parc tertiaire (bureaux).

Le parc résidentiel comprend en 2015, 35 millions de logements (tableau 1) dont 29 millions environ de résidences principales. Ce parc croît lentement de l'ordre de 1,1% par an depuis 2005.

Le nombre de logements neufs construits en 2015 est de 351 000 pour la France entière dont 337 000 pour la France métropolitaine. Ces chiffres incluent le renouvellement du parc résidentiel dont le taux reste inférieur à 1% par an et les constructions neuves.

Le parc tertiaire représente 850 millions de m² dont 480 millions pour le secteur privé et 370 millions de m² pour le parc public (écoles, mairie,...). L'Etat à lui seul représente 120 millions de m². Il est occupé à plus de 90% par des PME ou TPE. Le taux de renouvellement est de l'ordre de 1% en France. Il atteint 3% en Ile de France.

Tableau 1. Parc de logements individuels et collectifs en France (en milliers).

Sources : INSEE, SOes, estimation annuelle du parc de logements

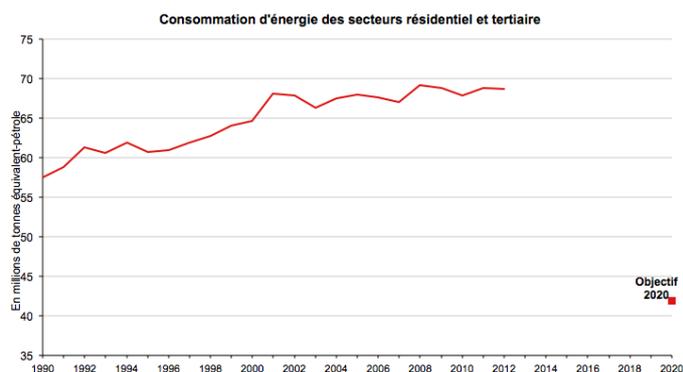
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Individuel	17 763	18 008	18 248	18 466	18 660	18 844	19 038	19 229	19 415	19 588	19 763
Collectif	13 625	13 768	13 933	14 104	14 283	14 462	14 625	14 809	14 989	15 161	15 334
Total	31388	31 776	32 181	32 570	32 943	33 306	33 663	34 038	34 404	34 749	35 097

Consommation d'énergie du parc construit résidentiel et tertiaire

Le parc résidentiel représente 40% de l'énergie primaire ou 30% de l'énergie finale consommée. Il est le premier secteur consommateur d'énergie avec celui des transports. Plus de la moitié du parc (53,6%) consomme entre 151 et 330 kWhEP/m²/an ; seulement 14% consomment moins ; les 32% restant correspondent à des bâtiments dont la consommation est égale ou supérieure à 330 kWhEP/m²/an (passoire thermique). La date de construction du logement, sa taille, son mode de chauffage et sa localisation géographique sont autant de facteurs qui influent la consommation d'énergie. Ainsi, les studios et deux-pièces sont les plus énergivores. La performance technique des maisons individuelles est meilleure que celle des appartements.

Le parc tertiaire consomme à lui seul 15% de l'énergie primaire. En incluant les bureaux, centres commerciaux, établissements sanitaires et d'enseignements, la consommation atteint 400 kWhEP/m²/an.

La consommation des secteurs résidentiel et tertiaire a cru rapidement au cours de la période 1990- 2010 et s'est stabilisée depuis. On est loin cependant de l'objectif initial 2020, – 40 % fixé avant la COP 21 (voir figure 1).



Source : Bilan énergétique de la France pour 2012, SOeS.
 Note : Consommation d'énergie corrigée des variations climatiques.

Figure 1.

Emissions de GES du au parc construit résidentiel et tertiaire

En France, l'utilisation de l'énergie est la principale source d'émission de GES (71%). Le secteur du résidentiel et tertiaire n'échappe pas à ce constat mais n'intervient que pour 11% derrière l'industrie manufacturière (13%) et construction et les transports (27%). Ce rang moindre par rapport à la consommation d'énergie s'explique en majeure partie par le fait que 31% des logements utilisent l'énergie électrique pour le chauffage, énergie qui repose en France, en partie sur l'énergie nucléaire.

Les émissions de GES ont légèrement décliné depuis 1990 pour le résidentiel et pour le tertiaire (tableau 2). Elles sont très influencées par les conditions climatiques d'une année à l'autre.

Tableau 2. Emissions GES en MtCO₂éq source Citepa avril 2015 – version Plan climat page 217 (voir note 1).

	1990	2000	2005	2010	2011	2012	2013
Résidentiel	60,1	61,7	68,2	63,9	52,7	57,9	58,9
Tertiaire	28,7	30,3	32,1	29,3	26,9	25,8	27,9
	88,8	92	100,3	93,2	79,6	83,7	86,8

Il convient d'ajouter à ces chiffres les émissions dues à l'extraction des matériaux (sable, argile, gypse, minerais de fer, etc..) et à la fabrication des produits de construction (ciment et clinker, acier, plastiques, etc.).

La réduction des émissions de GES est visée à l'article 6-4 du Paris Agreement de la COP21.

L'objectif de l'Europe dans le cadre de la COP 21 est de réduire de 30% les émissions de GES à l'horizon 2030 par rapport à 1990.

Lutte contre les émissions de GES dans le résidentiel et tertiaire

La lutte contre les émissions de GES passe en premier lieu par la réduction des consommations énergétiques mais aussi par la fabrication de matériaux moins énergivore et moins émettrice de GES.

Réduction énergétique

La part du chauffage et de la production d'ECS utilisant l'énergie électrique soit 31 % donc peu émettrice de GES car 75 % de cette énergie provient des centrales nucléaires. Il est peu probable que cette part augmente : l'accroissement très fort de la pointe dû au chauffage électrique s'est arrêté vers 2010 (figure 1), probablement du fait de l'arrivée des nouvelles normes de construction (BBC et RT2012).



Pour autant, le chauffage électrique et la production d'ECS nécessitent d'isoler au mieux les bâtiments comme l'ont montré les études d'EDF compte tenu en particulier du coût du kWh électrique.

Les bâtiments neufs répondent aux critères d'isolation de la RT 2012 (bâtiments HQE) ou sont même à énergie positive. Mais comme rappelé ci-dessus, le taux de constructions neuves reste très faible (1% du parc par an).

Conformément aux orientations actuelles, l'effort doit donc porter sur la réhabilitation thermique du parc résidentiel et tertiaire. Cette réhabilitation progresse lentement compte tenu des problèmes techniques, financiers et socio-culturels à résoudre. Le retour d'investissement ne se situe qu'à partir de 10 ans (isolation de fenêtres, systèmes de chauffage) voire 20 ans (ravalement thermique) ce qui n'est pas toujours accepté par les propriétaires et compatible avec la rotation des propriétaires de logement (5 à 10 ans).

La détection des besoins repose sur le diagnostic de performance énergétique (DPE). Aujourd'hui très décrié, ce diagnostic devrait recourir à une méthode de calcul standardisée complète – par exemple basée sur le recours à des logiciels éprouvés comme ceux du CSTB, en prévoyant une aide financière pour les ménages en situation de précarité.

Les actions de réhabilitation thermique dans le bâtiment devraient concerner les gisements prioritaires. Nous suggérons de limiter dans un premier temps les résidences principales en traitant les logements les plus énergivores dont le nombre est estimé à environ 4 millions et en réservant des actions plus ciblées pour les logements ayant une efficacité énergétique moyenne estimés à environ 17 millions.

La réhabilitation thermique pourrait être accélérée en pré-industrialisant les rénovations, notamment l'isolation thermique, par exemple en faisant appel à la méthodologie "EnergieSprong"¹⁰ développée aux Pays Bas et encouragée par la Commission européenne.

Malgré tout, il est peu probable que la réduction de 30 % d'émission de GES annoncée par l'Europe dans le cadre de la COP 21 soit respectée à l'horizon de 2030.

Une solution de transition consiste à recourir pour le chauffage et l'ECS à :

- des énergies fossiles moins polluantes et moins émettrices de GES et à meilleur rendement tel que le gaz dont le facteur d'émission GES est 2,1 comparé à celui du pétrole 3,1 et du charbon 4,
- ou des énergies mixtes (électricité et gaz) combinées avec des réseaux de chaleur à la biomasse ou à la géothermie,
- ou encore aux énergies éoliennes et photovoltaïques en développant l'autoconsommation sans attendre le développement de moyens de stockage.

Matériaux de construction et émission de GES

En sus des économies d'énergies et d'émission des GES liées au fonctionnement des bâtiments, l'attention doit être portée aussi sur l'utilisation de matériaux permettant de limiter la consommation d'énergie et l'émission de GES au niveau de leur extraction, leur fabrication, leur transport - s'agissant de matériaux en général pondéreux - et leur élimination ou leur recyclage (voir Note 2).

Parmi les matériaux susceptibles d'apporter une réduction des GES pour la construction des bâtiments, on peut distinguer :

- les matériaux courants recyclés, valorisant les déchets de démolition ou autres ; par exemple, bois de charpente, lambris, brique, pierre d'appareillage, carrelage, etc.
- les matériaux de substitution ; par exemple l'argile dont les procédés de synthèse modernes ont l'avantage d'être peu énergivores, avec une faible émanation de GES,

¹⁰ <http://www.lemoniteur.fr/article/renovation-energetique-adapter-le-modele-hollandais-energiesprong-au-territoire-francais-32391691>



- les matériaux "biosourcés"¹¹ c'est à dire "l'ensemble des matériaux et produits dont une partie des matières premières est issue du monde du vivant (biomasse végétale et animale) incluant les matières recyclées, fibres de bois comprises mais hors "bois d'œuvre" selon la définition du CSTB ; ces matériaux sont : chanvre, lin, ouate de cellulose, fibres de bois, paille, liège, fibres de coton recyclées, plume de canard, laine de mouton et roseaux ; par exemple, isolants thermiques fabriqués à partir du recyclage de matelas et literie (le biosourcé représente 8% du marché de l'isolation des bâtiments).

Ces matériaux nécessitent de structurer et industrialiser les filières correspondantes et d'organiser l'innovation en s'appuyant sur les connaissances scientifiques issues de la R&D. Ces filières ne se mettent que très progressivement en place.

Note

Les émissions de GES des matériaux de construction ou autres produits sont à examiner selon deux approches :

- **L'approche territoire**, qui est celle du protocole de Kyoto, permet de comptabiliser les émissions de GES là où elles sont émises,
- **L'approche empreinte** permet de comptabiliser les émissions dues à la demande finale intérieure, en ajoutant les émissions liées aux produits importés et en retranchant celles des produits fabriqués sur le territoire français puis exportés.

En 2010, selon l'approche territoire, la France a émis 486 millions de tonnes équivalent CO₂ (Mt CO₂éq.) de GES (CO₂, CH₄ et N₂O), soit 7,7 tonnes par habitant. Ces émissions sont en baisse de 19 % par rapport à 1990. En revanche, selon l'approche empreinte, ces émissions sont de 733 Mt CO₂éq. en 2010, soit, rapportées à la population, autant qu'en 1990 : 11,6 tonnes par habitant.

Impact du réchauffement climatique sur les bâtiments

Le réchauffement climatique, 2 °C au moins d'ici 2100, aura une influence sur le confort intérieur des logements et bureaux à la suite de l'élévation de la température.

Or, la réglementation actuelle RT 2012 et celle à suivre mettent l'accent principalement sur la limitation des déperditions thermiques des bâtiments. A terme, elle devra prendre aussi en compte le besoin de limiter la température intérieure des pièces, et d'évacuer des calories vers l'extérieur (climatisation source de dépense d'énergie), ce qui nécessitera une approche à élaborer et moduler en conséquence. Peu de réflexions et recherches ont encore été lancées sur ce sujet.

B. Adaptation des infrastructures au changement climatique

Les infrastructures peuvent aussi être victimes du changement climatique : elles doivent donc être adaptées.

Par exemple, les risques d'affouillement des fondations de certains ouvrages d'art routiers ou ferroviaires seront accrus, suite à des crues plus fréquentes et plus intenses.

Les chaleurs plus fréquentes et plus intenses, les hivers plus doux et plus humides, les cycles de gel/dégel plus cadencés : autant d'effets du changement climatique qui peuvent dessécher le sous-sol des routes, déformer leur surface, faire vieillir précocement les chaussées et provoquer des infiltrations d'eau, déstabiliser les talus. Un programme de recherche (CCLEAR) de l'IFSTTAR est consacré à ces effets.

Le projet de la route solaire hybride, cité plus haut, évite la dégradation du bitume sous forte chaleur, notamment dans les îlots urbains.

11 label matériaux bio-sourcés <http://www.certivea.fr/certifications/label-batiment-biosource>



Bibliographie

- Chiffres clés du climat en France, Édition 2015 : Commissariat général au développement durable, service de l'observation et de statistiques (SOeS)- www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr, www.cdclimat.com/recherche .
- Inventaire des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre en France avril 2015, CITEPA, MEDDE.
- Le parc de logements en France métropolitaine en 2012, chiffres et statistiques, n° 534 juillet 2014, Commissariat général au développement durable, Bilan énergétique de la France pour 2012, SOeS.
- La rénovation énergétique des bâtiments, avril 2013, Conseil économique pour le développement durable.
- Les matériaux de construction biosourcés : enjeux et stratégie, novembre 2013, MEDDE et Ministère Logement.
- IFPEN, site <http://www.ifpenergiesnouvelles.fr/Espace-Decouverte/Les-grands-debats/Quel-avenir-pour-les-biocarburants>



Annexe 3. : INDUSTRIE MANUFACTURIERE

Les émissions de CO₂ dues à la combustion d'énergie de l'industrie, hors production d'énergie ont baissé de plus de 40% entre 1990 et 2014, passant de 23% à 16.5% des émissions totales, loin derrière les transports et le résidentiel et tertiaire¹². La baisse est continue à un rythme actuel de l'ordre de 3-4% par an. Cette baisse n'est due que très partiellement à l'amélioration de l'efficacité énergétique de l'industrie qui se poursuit cependant depuis les crises pétrolières des années 1970.

Un facteur essentiel est la baisse de la production industrielle en France comme dans la plupart des pays européens. Cette baisse correspondant en partie à la crise de 2008, mais surtout et de manière permanente, aux délocalisations. Du point de vue des émissions de GES, cette baisse est donc compensée par l'augmentation des émissions dans les nouveaux pays producteurs

Les quatre principaux secteurs émetteurs de CO₂ de l'industrie manufacturière sont la sidérurgie, la chimie, l'industrie cimentière et l'industrie du verre.

Pour la sidérurgie, la baisse des émissions a été due à une baisse de 17% de la production d'acier, mais aussi à une baisse de 26% des émissions de CO₂ par tonne d'acier produit, ce qui correspond à l'arrêt de la production des hauts fourneaux et donc à une part croissante des fours électriques, qui émettent 3 fois moins de CO₂ que l'acier « neuf » (c'est-à-dire produit à partir de minerai). Comme indiqué plus haut, il s'agit donc d'un déplacement géographique des émissions de GES et non d'une réduction.

La chimie est restée beaucoup plus stable avec des émissions qui n'ont baissé que de 4% depuis 1990. Il en a été de même pour l'industrie agroalimentaire.

Pour l'industrie du verre, la production reste à peu près constante (+4% entre 1990 et 2011) mais les émissions de CO₂ Les émissions ont été réduites de 27% à la tonne de verre produit. Ceci est dû en grande partie au recyclage du verre et au remplacement du fioul par du gaz ou de l'électricité pour les fours verriers.

Les émissions de CO₂ de l'industrie cimentière sont essentiellement dues à la production de clinker. Les émissions unitaires sont à peu près stables depuis 1990 et varient essentiellement en fonction des combustibles utilisés. Le volume des émissions dépend donc essentiellement du volume de production et donc de l'activité des secteurs du bâtiment et des travaux publics, d'où une baisse sensible depuis la crise de 2008.

Au total, les émissions des industries manufacturières devraient suivre l'évolution des productions, contrairement à la situation des transports et du résidentiel et tertiaires pour lesquels l'évolution des investissements et des technologies peuvent réduire considérablement les émissions de GES. La réduction des productions en France et en Europe pourra résulter de la poursuite des délocalisations, ce qui ne paraît pas souhaitable, mais aussi d'une augmentation de la durée de vie des produits manufacturés en privilégiant la réparation par rapport à l'achat de produits neufs en majorité importés.

¹² Bilan énergétique de la France, commissariat Général au Développement Durable, juillet 2015, p.99



Annexe 4. : PRODUCTION D'ENERGIE

1. L'offre

L'énergie est responsable d'environ 75% des émissions de GES dans le monde, essentiellement liées aux énergies fossiles ; ces dernières représentent plus de 80% des énergies primaires. Selon l'AIE, dans son scénario central 2014, ces mêmes énergies augmenteraient de 37% en volume d'ici 2040 et leur part serait encore de 75% dans le mix énergétique mondial. Le nucléaire d'interviendrait que pour 6% et les énergies renouvelables que pour 19%. Pour atteindre l'objectif de 2°C- élévation de la température moyenne liée aux émissions anthropogéniques-, le GIEC estime que la part des énergies fossiles devrait atteindre 50% en 2040 ; ces deux perspectives semblent inconciliables. C'est pourquoi, l'AIE a étudié un scénario plus offensif, BRIDGE, basé sur un développement plus rapide des technologies éprouvées.

2. Les énergies fossiles : charbon, pétrole, gaz

La perspective d'un épuisement rapide des ressources énergétiques fossiles- y compris pour le nucléaire- ne fait plus partie des préoccupations, non seulement parce que le monde s'est engagé à en réduire l'usage, mais parce que la technologie a permis d'en éloigner considérablement l'échéance. L'excès de production actuel a même affecté les prix, avec des conséquences importantes sur l'emploi et la situation des producteurs ; ces très bas prix risquent de ralentir les efforts de réduction concernant leur emploi.

Le charbon intervient pour 45% dans les émissions de CO₂ émises par les énergies fossiles, contre 35% pour le pétrole et 20% pour le gaz. C'est donc sur le charbon qu'il faudrait concentrer les efforts en priorité.

a. Le charbon :

Le charbon a pour principal usage la production électrique-70%- et l'Industrie-19%. Il assure 40% de la production mondiale. Cette concentration des usages pourrait être un atout : la CSC- Capture et Stockage du CO₂-est l'une des technologies envisagées pour éviter l'envoi du CO₂ dans l'atmosphère ; le fait de disposer de sources abondantes en faciliterait l'économie, mais malgré des progrès possibles ou en cours, son utilisation à grande échelle semble encore lointaine : sites possibles, acceptabilité, économie, sont les freins principaux ; elle serait largement insuffisante à elle seule.

Contrairement à certaines prévisions, la production et la consommation commencent à stagner, en remplacement de hausses prévues. Le grand pays producteur est la Chine-50% de la production mondiale- suivie d'assez loin des USA, et de l'Inde. Ce sont aussi les pays consommateurs ; la consommation en Chine a stagné en 2015, elle a diminué aux USA, mais continue d'augmenter en Inde, aux Philippines et dans d'autres pays. L'Europe n'en produit que 4% ; la Pologne, l'Allemagne et la Grande-Bretagne en sont les principaux producteurs et consommateurs, mais sont en baisse très légère, sauf la Grande-Bretagne en diminution sensible. La France n'est plus productrice et est une très faible consommatrice.

Les « experts » semblent désorientés : certains estiment que le pic de consommation a été atteint en 2015, et d'autres qu'elle va continuer à augmenter, plus lentement, de 10% d'ici 2040 pour l'AIE, version 2015. Ce qui est plus sûr, c'est que sa part dans la production électrique baisse, remplacée dans certains pays par le gaz-USA-Grande-Bretagne-ou les productions éoliennes et solaire. Le meilleur rendement des centrales électriques récentes, dites « supercritiques » a permis de diminuer les émissions de GES, à production égale, mais l'emploi de charbon de moins en moins riche compense un peu ce progrès.

Orienté sur la production électrique, la sobriété et l'efficacité énergétique agiront peu sur le charbon. Par contre une taxe carbone élevée permettrait dans un premier temps son remplacement par le gaz, ou par les nouvelles productions électriques « propres », dont nucléaire : Chine ou GB par exemple.



b. Le pétrole :

Le pétrole a deux atouts majeurs : il est liquide, il a la meilleure densité énergétique. Il est donc idéal pour les transports, mais il est utilisé aussi pour le chauffage, l'industrie dont la pétrochimie, l'électricité- moins de 5% pour le monde-, l'agriculture. Son raffinage extrait aussi des produits spéciaux, comme les huiles, les bitumes, les gaz liquéfiés...etc.

En France, les transports interviennent pour 70% pour sa consommation et plus de 95% des besoins, le résidentiel pour 17%-et 19% des besoins, 8% pour l'industrie, dont pétrochimie, et 5% pour l'agriculture. Ces différents usages, très diffus, ne sont pas propices à la récupération des émissions de GES.

Le pétrole a subi de nombreux cycles. La demande mondiale n'a pratiquement jamais baissé d'une année sur l'autre. Il en est de même aujourd'hui. Trois pays se disputent le leadership de la production : les Etats Unis, l'Arabie saoudite et la Russie avec environ 10% chacun de la production mondiale. Par contre, les USA sont de très loin les plus gros consommateurs, environ 20% de la production mondiale- qui devrait baisser à 16% en 2040, devant la Chine, 11% et très loin le Japon, l'Inde, le Brésil...etc. L'Europe est un producteur très faible et en diminution-Norvège, Grande- Bretagne.

L'AIE (réf. février 2016) estime que la production continuera sa hausse dans les années à venir : 101 millions bbl/j en 2021 au lieu de 94 en 2015, l'augmentation venant surtout des huiles de schistes et des « condensats », accompagnant la production du gaz. Sur le plus long terme, l'AIE avait prévu en 2015 que cette production ne serait atteinte qu'en 2040- scénario « *new policy* »-... ! Serait-ce alors le pic de la demande ? La réduction des émissions de CO2 issues du pétrole ne serait pas immédiate et devrait attendre la pénétration massive de l'électricité ou d'autres carburants propres : bio gaz, hydrogène, biocarburants très propres... ! Sobriété et efficacité énergétiques, hybridation continueront en attendant... ? Une taxe carbone ne devrait pas avoir d'effet notoire immédiat sur le transport- mais beaucoup plus sur les usages chaleur dans le tertiaire, au moins dans le cas de la France.

c. Le gaz :

Le gaz est la plus propre des énergies fossiles. C'est pourquoi les producteurs comptent beaucoup sur lui pour déplacer le charbon dans sa fonction de production électrique ; 41% de la production de gaz dans le monde est consacrée à la production électrique dans le monde. Mais ses usages sont plus diversifiés que le charbon ou le pétrole ; ainsi en France, le résidentiel intervient pour 57%, l'industrie pour 26%, l'énergie pour 11%, et très peu pour le transport. Dans ce dernier domaine, le gaz peut intervenir davantage ; il commence à le faire dans le maritime.

Sur le développement futur, les experts ont là aussi des avis différenciés. La baisse de la demande en Europe est compensée par la hausse de la consommation dans les pays asiatiques. L'AIE estime que sa part dans le mix énergétique mondial passera de 21% en 2014 à 24% en 2040, alors que pétrole et charbon reculeraient respectivement à 26%-ex31%-et 24%- ex 29%. Son atout essentiel pourrait être son prix très compétitif permis par l'extraction des gaz de schistes aux USA et dans d'autres pays, appuyé par une taxe carbone suffisante et une production surabondante. Outre son contenu carbone plus faible, les centrales à gaz à cycle combiné ont un rendement élevé.

3. Les bioénergies de remplacement :

a. Le bois

Il est encore une énergie importante- de l'ordre de 10%- et de loin la plus importante des énergies renouvelables. Le bois énergie ne doit pas concurrencer le bois d'œuvre ou le bois industriel, mais n'utiliser que tous les déchets issus de l'exploitation ou de l'entretien des forêts ou de fin de vie. Il existe un potentiel important dans le monde, tenant compte de la non déforestation, y compris en Europe et surtout en France. Il conduit à la chaleur, à l'électricité- cogénération- voire au gaz. L'Allemagne produisait autant d'électricité en 2014 à partir du bois que celle produite par l'Eolien. La France, nettement plus forestière, exploite très peu son potentiel et ne prévoit pas de forts développements. Les technologies sont matures.



b. Les biocarburants

Ils ont suscité de grands espoirs, à l'exemple brésilien voire américain pour l'éthanol. Mais ce qui se passe ailleurs, bon à savoir, n'est pas souvent transposable ailleurs. Ainsi la première génération en Europe s'est révélée peu performante en matière de réduction des émissions- de 50 à 70% par rapport aux fossiles, mais sans tenir compte du changement d'affectation des sols, qui dégrade fortement ces performances- et moins économique. La deuxième génération va voir le jour industriellement d'ici 2020, mais son succès n'est pas assuré. La troisième est encore dans les laboratoires de recherche, voire en développement dans certains pays.

c. Les biogaz

Ils ont déjà une importance dans de nombreux pays, notamment européens ; la fermentation des déchets organiques conduit au méthane qui peut être, après purification, envoyé au réseau, pour la production électrique ou utilisé comme carburant. Pour la France, un objectif de 10% des besoins gaz issus du biogaz est visé pour 2030 et ce pourcentage devrait progresser fortement au-delà. Un développement relatif fort est prévu d'ici 2023, mais il part de très bas.

d. Les pompes à chaleur

Elles sont rarement évoquées. Pour la France, elles produisent pourtant aujourd'hui autant d'énergie équivalente que l'éolien. L'Etat ne prévoit qu'un développement limité de l'ordre de 5%/an. La ressource est illimitée, que les calories viennent de l'eau- y compris des eaux de rejets- du sol ou de l'air.

4. Les autres énergies et l'électricité

a) L'électricité

Une « fée » n'existe que dans les romans pour enfants ; pourtant elle est presque la seule à attirer l'attention des médias, des politiques et des lobbies à travers l'éolien et le solaire. Pourtant, elle ne représente aujourd'hui que moins de 20% des énergies consommées dans le monde et ne dépasserait les 30% que dans une vingtaine d'année. Les 2/3 sont produits par les fossiles, l'hydraulique et le nucléaire se partagent l'essentiel du reste ; biomasse, éolien et solaire n'en représentaient que 3% en 2013.

b) Le nucléaire

Il pourrait progresser au même rythme que la consommation d'ici 2035, après une baisse liée à l'accident de Fukushima ; certains pays pensent qu'il est un élément indispensable à la préservation du climat. La génération 4, très peu gourmande en matière première et nettement moins émissive de déchets radioactifs est en développement en vraie grandeur dans certains pays. Quant à la fusion, beaucoup plus lointaine, elle est le sujet du projet ITER, mais aussi d'autres études concurrentes.

c) L'hydraulique

Elle représente de l'ordre de 75% des énergies renouvelables pour la production électrique dans le monde. Il existe encore un potentiel important, de plus en plus difficile à mettre en œuvre : géopolitique, financement, acceptabilité. En France, un potentiel de 16% a été identifié, à l'occasion des renouvellements de concessions ou de « modernisation » ; des développements de second ordre existent dans le petit hydraulique de courants, et dans les énergies marines : courants marins, nommée « Hydrolienne », énergie thermique des mers, nommée « ETM », en expérimentation. Les STEP - station de transfert d'énergie par pompage - sont essentiellement de l'hydraulique.



d) Les énergies renouvelables (ENR) électriques

Biomasse, éolien et solaire représentent les 25% restant, dont l'éolien pour environ 15%. La part de la totalité des renouvelables était de 22% en 2013 pour le monde et devrait passer à 26% en 2020 ; ce qui donne à l'éolien dans le monde une part de production de 3% environ et de 1% pour le solaire, assez analogue à la situation en France : sur la période juillet 2014, juillet 2015, l'hydraulique a produit 13% de l'électricité, l'**éolien** 3,7%, le **solaire** 1,4%, et la **biomasse** 1,2% source RTE. La France est moins développée dans ces trois dernières énergies par rapport à certains pays européens, dont l'Allemagne. La France prévoit pour 2023 le doublement de l'éolien et le triplement du photovoltaïque par rapport à 2015-source Gouv.- dans le cadre de la COP21. L'objectif de 30% d'électricité intermittente –éolien et solaire- est donc encore lointain, d'autant plus que l'acceptabilité devient un frein de plus en plus fort, tant pour des raisons environnementales que pour l'augmentation des prix qu'elles entraînent. De plus l'intermittence entraîne des coûts extérieurs considérables- réseaux, marchés de capacité, stockages, à la charge des consommateurs. Enfin, du fait de leur taux de charge faible, la capacité installée est de 5 à 8 fois plus importante que la production attendue ; le marché de capacité ajoute à ces surcapacités ; le tout crée un prix de gros sur le marché européen très bas, interdisant tout investissement non subventionné, quel que soit le coût à la production. La France est aussi victime des surcapacités allemandes, très carbonées. Ce problème n'est pas spécifique à l'Europe.

Il y a de nombreuses solutions techniques : les progrès sont continus sur les batteries pour le stockage de l'électricité et donc aussi pour la mobilité, l'électricité surabondante peut permettre de fabriquer de l'hydrogène par électrolyse, les réseaux « intelligents » et la domotique peuvent gérer plus efficacement l'offre et la demande. Tout cela prendra du temps, des moyens techniques et financiers, des accords interpays, avant qu'Hélios soit le maître de l'offre des énergies dans le monde



Annexe 5. AGRICULTURE, FORET ET BIOMASSE

L'agriculture

Les émissions françaises de gaz à effet de serre de l'agriculture représentent environ 80 millions de tonnes d'équivalent CO₂, soit 16% des émissions totales, dont 47% correspondent à l'utilisation des engrais, 42% à la fermentation entérique des animaux d'élevage et 11% à la gestion des déjections animales. Ces émissions tendent à baisser à un rythme de 0,6% par an depuis 2000. En contrepartie, l'utilisation des terres, leur changement et la forêt correspondent globalement à une séquestration du CO₂ pour un total qui varie selon les années autour de 40 millions de tonnes de CO₂. Ceci est principalement dû au rôle de la forêt. Ces séquestrations ont tendance à augmenter principalement du fait de l'augmentation des surfaces boisées.

Un rapport de l'INRA publié en 2013 établit une liste des actions possibles pour réduire les émissions de GES de l'agriculture :

- diminuer le recours aux engrais minéraux de synthèse, par une meilleure technicité de leur emploi ;
- accroître la part des légumineuses dans les cultures car les légumineuses fixent l'azote atmosphérique et ne nécessitent donc pas l'apport de fertilisants externes ;
- développer les techniques culturales sans labours permettant un meilleur stockage de l'azote dans les sols ;
- implanter davantage de couverts dans les systèmes de culture (cultures intercalaires de vergers et vignobles en grande culture...) ;
- développer l'agroforesterie et les haies ;
- optimiser la gestion des prairies ;
- réduire la production de méthane des bovins en modifiant la ration des animaux ;
- réduire les apports protéiques de la ration pour limiter les rejets d'azote dans les déjections.
- capter le méthane produit par la fermentation des effluents d'élevage pendant leur stockage soit en le récupérant quand cela est possible, soit en le brûlant en torchère (le pouvoir de réchauffement du CO₂ produit étant 20 fois inférieur à celui du méthane ;
- réduire la consommation de combustibles fossiles en améliorant l'isolation et le chauffage des bâtiments et des serres et en optimisant la consommation de gazole des tracteurs.

On peut cependant reprocher à cette étude le fait qu'elle suppose que la demande de produits agricoles reste à peu constante. Il faudrait davantage s'intéresser à l'évolution possible de la demande. On sait, par exemple, qu'il serait très profitable du point de vue écologique, de réduire la consommation mondiale (et aussi française) de protéines animales au profit de protéine végétales. Cette tendance pourrait être favorisée par une politique d'incitation et par la mise au point de produits nouveaux de bonne qualité gustative. L'étude de l'INRA ne parle pas non plus de la problématique des biocarburants.

Le GICC (cité plus haut) et surtout l'INRA ont développé un grand nombre de programmes pour évaluer les impacts du changement climatique dans les domaines de l'agriculture et de la forêt. Il faut citer en particulier le « méta programme » ACCAF (Adaptation de l'agriculture et de la forêt au changement climatique) de l'INRA qui comprend toute une série de programmes spécifiques français :

- « Climagie » pour les prairies ;
- « Foradap » pour les forêts ;
- « Perpheclim » ;
- « Salmochim » pour les saumons sauvages.

L'INRA participe également à des programmes internationaux :

- « Draf » pour la forêt des zones sèches du sud ;
- « Evoltree » pour l'évolution des espèces d'arbres ;



- « Informed » pour la forêt méditerranéenne ;
- « Grasslandscape » pour les prairies.

Les biocarburants

Les biocarburants contribuent-ils à réduire les émissions de GES ? Une étude d'analyse de cycle de vie (ACV) réalisée par l'ADEME en 2010 concluait à une réduction pour l'éthanol variant 66% à partir de betterave à 49% à partir de blé. Pour le biodiesel les esters à base de colza et de tournesol réduisent respectivement de 59% et de 73% les émissions de GES. Mais ces ACV ne prennent pas en compte les changements d'affectation des sols (CAS). Une étude de mars 2013 du Commissariat général au développement durable a considéré deux types de CAS :

- les CAS directs, lorsque les cultures destinées à la production de biocarburants sont pratiquées sur des terres qui auparavant stockaient du carbone (pâturages ou forêts) ;
- les CAS indirect lorsque les cultures destinées à la production de biocarburants remplacent des cultures destinées à de usages alimentaires. Dans ce cas, cela implique une moindre production alimentaire. Si l'on suppose que les besoins alimentaires mondiaux sont constants (ils croissent en fait avec l'augmentation de la population mondiale), cela implique la conversion, partout dans le monde, de nouvelles terres qui stockaient auparavant du carbone. Par exemple, en 2014, 45% des importations d'huile de palme ont été destinées à la production de biodiesel, et on sait que l'huile de palme est synonyme de déforestation, notamment en Indonésie.

Au total, les études scientifiques ont montré que les CAS indirects avaient un fort impact négatif sur le bilan carbone des biocarburants dits de première génération. La Commission Européenne en a conclu (octobre 2012) qu'il convenait d'en limiter la production dans l'attente de l'arrivée des biocarburants de seconde génération produits à partir de matières premières non alimentaires telles que des déchets ou résidus végétaux.

En fait, la transformation de déchets ligno-cellulosiques en éthanol est encore loin d'être au point techniquement et économiquement malgré des décennies de recherche-développement. Même Greenpeace considère qu'il faudra encore 20 ans pour atteindre un développement industriel. De plus les problèmes de disponibilité et de collecte de matières premières rendent peu vraisemblable la production de quantité vraiment significatives de biocarburants de seconde génération.

On peut donc conclure que les biocarburants ne constituent pas une solution à long terme pour le remplacement des carburants pétroliers, mais tout au plus un appoint de quelques pour cent. Il serait donc préférable de remplacer les cultures destinées aux biocarburants de première génération par des forêts exploitées pour la production de bois d'œuvre ou de bois énergie.

Aménagement des territoires (problèmes liés à l'eau)

Les conséquences des changements climatiques sur le fonctionnement des cycles de l'eau de notre planète ont été décrites dans le 5ème rapport du GIEC et ont fait l'objet d'une note de décryptage jointe du PFE. Elles seront très variables géographiquement et font l'objet de multiples incertitudes, mais globalement le GIEC note une probable aggravation de la situation des régions déjà touchées par des excès ou des pénuries d'eau. Chaque degré d'augmentation des températures par rapport au scénario 2°C aggravera ces phénomènes compte-tenu notamment des modifications des régimes des pluies et phénomènes d'évapotranspiration : le GIEC estime qu'un degré Celsius de température supplémentaire réduirait de 20% les ressources en eau renouvelables pour au moins 7 % de la population mondiale (en France moins d'un tiers des apports pluviométriques alimentent les nappes et les rivières, la plus grande partie des pluies étant évapo-transpirée).



Globalement, ce n'est pas une réduction de la quantité d'eaux douces qui menace la planète, mais plutôt une aggravation des disparités de la répartition géographique des eaux douces disponibles, comme des excès d'eau liées aux catastrophes naturelles diverses et risques d'inondations. Pour la France, les scénarios prévisionnels (cf. étude explore 2070 du MEEM) montrent des évolutions contrastées liées à la diversité des contextes géographiques avec des prévisions de réduction fortes d'écoulements des rivières en période d'étiages sur le sud-ouest et le bassin parisien.

Contrairement au cas des programmes de réductions des GES qui relèvent d'une approche globale, le sujet eau implique des approches locales liées aux bassins versants d'alimentation pour les eaux superficielles comme pour les nappes souterraines. Une bonne gestion des ressources en eau implique la disponibilité de réseaux de connaissances de terrain pérennes reposant sur de l'acquisition de données hydrologiques, de systèmes d'informations permettant de confronter ressources et usages et de modèles hydro-climatiques. Les spécialistes du secteur notent une dégradation majeure des systèmes d'acquisition des données de bases qui affaiblit fortement les capacités d'expertise (notamment dans tous les pays en crise ou en guerre).

Les professionnels du secteur de l'eau ont développé de nombreuses solutions en terme d'atténuation (économies d'énergie, production d'énergie notamment par méthanisation), mais le secteur de l'eau est principalement concerné par les solutions à apporter en terme d'adaptation aux problèmes d'excès d'eau ou pénuries et en particulier de lutte contre les risques de catastrophes naturelles (un recueil de bons "savoir-faire" mis en œuvre par les acteurs français, élaboré par le PFE pour la COP21, est disponible sur le site du PFE).

À l'issue du Forum Mondial de l'eau de 2015, les acteurs de l'eau ont retenu les orientations suivantes

1. les changements climatiques obligent à revoir nos horizons de réflexion classiques de gestion des eaux et génère de nouveaux champs d'incertitudes qui doivent conduire à réviser nos modèles de planification des ressources en eau. Ces conséquences prévisionnelles renforcent l'utilité de développer des outils de Gestion Intégrée des Ressources en Eau ;
2. dérèglements climatiques et changements globaux sont étroitement liés en termes d'impacts et de conséquences sur la gestion quantitative ou qualitative des ressources en eau ;
3. la résilience doit devenir un nouveau critère d'évaluation des activités et solutions proposées.

Les dossiers adaptation et lutte contre les catastrophes naturelles ("loss and damages") ont pris une place grandissante à l'initiative des PED les plus menacés au cours des dernières COP depuis l'accord de Durban. Les contributions des États déposées pour la COP de Paris ont montré une préoccupation majeure des pays du sud aux conséquences des changements climatiques en termes d'adaptation et il apparaît dans les propositions déposées que le secteur de l'eau représente plus de 80 % des actions à mener identifiées qu'il s'agisse d'améliorer de gestion de l'offre (barrages, transferts, etc.) ou la gestion de la demande (économies d'eau, lutte contre les pollutions, recyclage, etc.)

Face à ces menaces, de multiples solutions technologiques sont déployées actuellement qui ont fait l'objet d'inventaires à l'initiative des Nations-Unies (NAZCA et LPAA) et pour le secteur de l'eau d'un recueil des solutions proposées par les acteurs français. Pour l'alimentation en eau potable et l'assainissement, un recours accru aux unités de dessalement et à la réutilisation des eaux usées est déjà la solution retenue par de nombreuses villes, le GIEC note à juste titre que les solutions seront plus difficiles pour les petites unités rurales menacées de pénurie.

Les principaux problèmes d'adaptation des ressources en eau / climat concernent les problèmes liés à l'énergie et surtout au devenir des activités agricoles

Pour l'énergie, le potentiel de production hydroélectrique restant valorisable dans certains pays apparaît important, les problèmes liés aux besoins en eau pour le refroidissement des unités thermiques de production ont déjà dû faire de mesures de régulation pour nos centrales nucléaires françaises en rivière, les exploitations de gaz de schistes nécessitent de forts volumes d'eau avec des contaminations chimiques



Le cas de l'agriculture est multifactoriel car c'est le complexe température /eau /sol/varieties végétales qui va déterminer les évolutions futures (voir note jointe de G Benoit) : la plus grande partie de l'eau "valorisée" en agriculture l'est en "agriculture pluviale" qui a des problèmes d'adaptation importants à affronter (gestion des sols, choix des semences, risques d'extensions de zones de désertification), l'agriculture irriguée a à résoudre des problèmes plus classiques d'adaptation offre/demande qui peuvent passer par la création de nouvelles ressources en eau, des programmes d'économie d'eau ou de changement de culture (problème du maïs bien connu pour le sud-ouest de la France). A l'occasion de la COP 21, la France a valorisé les opportunités offertes par les nouveaux modèles liées à l'agro-écologie et à l'intérêt de développer des actions de protection des sols agricoles pour réduire les intrants et comme potentiel important de stockage de carbone (programme dit 4°/°° promu par le MAP)

En France, les inflexions à apporter à nos modèles de planification des eaux liés au changement climatique ont fait l'objet de nombreux travaux d'études à l'initiative des agences de l'eau et des EPTB (Programme PIREN-Seine, Garonne 2050, Durance, Meuse, etc.) et sont intégrée désormais dans les SDAGE en préparation. Au-delà des contraintes sur les usages de l'eau, c'est l'occasion d'examiner les impacts du changement climatique sur de nombreux autres facteurs liés à des les variations attendues de la température ou de l'hydrologie des eaux libres : qualité des eaux, hydro-écologie, devenir faune flore, vecteurs des maladies, etc.

A l'international, tous ces sujets liés à la gestion et valorisation de nos ressources en eau sont indissociables des problèmes de développement et à ce titre un lien est établi par les acteurs de l'eau au plan international entre ODD et climat.

