

L'HOMME ET LE CLIMAT (1)

DOMINIQUE DRON

CARLA HIRSCHHORN

MARS 2002

SOMMAIRE

Préface.....	4
Synthèse	6
Propositions.....	7
I. LE RECHAUFFEMENT CLIMATIQUE : UN PROBLEME GLOBAL ET COMPLEXE.....	12
A. Qu'est ce que le climat ?.....	12
B. Changement climatique : cauchemar ou réalité ?	12
1. Effet de serre : principe et risques	13
2. L'homme acteur de l'effet de serre ?.....	19
3. Un risque à évaluer.....	25
C. Les scénarios énergétiques et climatiques au XXI ^{ème} siècle	26
1. Les scénarios de consommation énergétique et d'émissions	26
2. Les modélisations du changement climatique : nécessités et limites.....	30
3. Les effets sur notre planète : un avenir menacé ?.....	33
4. Tempêtes : pas de certitudes aujourd'hui, mais un renforcement vraisemblable demain.....	38
II. LE CLIMAT SUR LA SCENE POLITIQUE ET JURIDIQUE.....	42
A. La diversité des acteurs	42
B. L'utopie d'un consensus international.....	43
1. Les pays soumis à la limitation	43
2. Les pays en voie de développement	44
C. Les conférences internationales sur le climat : de Rio 1992 à Marrakech 2001..	44

1. La Convention Climat de Rio (1992).....	44
2. Le protocole de Kyoto de 1997.....	45
3. Les accords de Marrakech : octobre 2001.....	47
III. LES MARGES DE MANOEUVRE POUR FAIRE FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE.....	49
A. Energie et climat : de quelles marges de manœuvre dispose t-on ?	49
1. Energies : les différentes sources disponibles.....	49
2. Peut-on stocker le gaz carbonique ?	52
3. La part des énergies renouvelables	53
4. Le miracle technologique existe-t-il ?.....	57
5. Instruments économiques et réglementaires : quelle efficacité ?.....	57
B. Existe t-il une quantité acceptable d'émissions de gaz à effet de serre ?.....	60
C. Moyens de lutte dans les principaux secteurs responsables.....	61
1. Les transports	61
2. L'industrie.....	69
D. L'entreprise citoyenne : réalisations industrielles et réduction de gaz à effet de serre	70
1. Procédés industriels et maîtrise des émissions de gaz à effet de serre.....	72
2. Transport du personnel : plan de déplacement entreprise.....	72
3. Le fret et l'entreprise	74
4. Le cas des Trois Suisses	75
E. Actions citoyennes : comment agir individuellement ?	75
1. Les déplacements.....	76
2. Maîtrise de l'énergie chez soi aussi.....	78
3. Les déchets	80
4. Bien choisir ses produits	80
Conclusion.....	83
Bibliographie	85

PRÉFACE

Pour une stratégie environnementale des entreprises

Ce qui n'est pas écrit n'a parfois guère de sens. Ce qui n'est pas publié n'a souvent que peu d'existence. Cette vérité, venue de l'université, date de bien avant qu'on sache seulement imprimer. *Scripta manent, verba volant*. La « magie numérique » n'a fait que confirmer le sage adage des anciens romains. Dans nos sociétés développées, avec l'accroissement du nombre et la diversification des types de médias, le désir de connaissance, le besoin de transparence, la nécessité d'être informé vont grandissants. Au même moment, accélération plus que fin de l'Histoire, les problèmes deviennent plus complexes, les solutions plus incertaines, les responsabilités plus diffuses. Comme autrefois sur la place des villages, lorsqu'un événement exceptionnel le requérait, il faut désormais, partout et à chaque instant, des « tambours de ville » pour expliquer, annoncer, mobiliser. Inquiète de l'avenir, sans toujours bénéficier des repères du passé, vivant un présent fait d'anxiété et d'irrationalité, telle est parfois notre civilisation à l'aube d'un siècle à peine levée. Réintroduire un minimum de logique et de clarté, écarter la rumeur et la confusion, tel est le défi que l'Institut Montaigne veut relever.

Le changement climatique n'est pas le moindre de ces sujets dont l'importance et la proximité des conséquences semblent affoler l'humanité. L'irréversibilité, l'accentuation, l'universalité d'un certain nombre de phénomènes, parfois conjugués et cependant contradictoires, comme le « stress hydrique » qui frappe la moitié de la population mondiale et la montée du niveau des eaux qui touche l'intégralité des littoraux, méritent notre préoccupation. Mais pas notre précipitation. Il faut réfléchir pour agir. Y compris pour agir rapidement. Evidemment pour agir efficacement. De fait, nul n'a encore fait le tour des questions liées au « *global warming* ». Elles sont géographiques, donc humaines, physiques, sociales et économiques. Il n'est pas un aspect de notre vie qui ne soit concerné. Parce que

le débat est protéiforme, parce qu'il se caractérise par la multiplicité des paramètres, parce qu'il fait appel à tous les discours, à toutes les disciplines, à toutes les compétences, il implique les Etats, les grandes organisations et les citoyens. Nul ne peut se retrancher. Pas une idée, pas une énergie qui soit superflue. C'est pourquoi, il doit mobiliser les administrations et les associations, les entreprises et les individus. Encore faut-il, afin de se donner des bases communes pour, tous ensemble, avancer, que puissent être confrontées les opinions avec les constats authentiques, les intuitions avec les données vérifiées.

C'est l'objectif de ce rapport. Reprenant les conclusions de nombreuses auditions, d'entretiens, de travaux en séances publiques ou bien en commissions, il veut exposer de manière claire et concrète le point de vue des scientifiques comme celui des praticiens de l'industrie, faire la part du possible et du souhaitable, dire, reprenant la vieille distinction entre culture et nature, ce que le progrès modifiera et ce que les évolutions du comportement transformeront, ce qui peut venir de l'incitation et ce qui doit s'inscrire dans la réglementation. Il propose pour cela des pistes d'actions. Il préfigure un second cycle de réflexions. Ce travail ayant été effectué, les vains combats écartés, alors des actions pertinentes pourront être engagées qui, on le découvrira, réconcilieront deux dimensions qu'à tort on avait cru un moment dissocier, la stratégie des entreprises et la préservation de notre environnement.

Pierre Godé

Conseiller du Président de LVMH

SYNTHÈSE

Le but de ce rapport est – sur le sujet actuel et majeur du climat – de faire la part des dangers réels liés aux changements pouvant résulter des activités humaines, des craintes manquant en revanche de fondements scientifiques, et de l'exigence de précaution et de prudence revendiquée par l'individu et la société.

Il s'agit ainsi de mieux répondre à une question environnementale devenue centrale dans le débat économique, social et politique, en y apportant une contribution argumentée et objective, un véritable travail d'analyse et de réflexion.

L'objectif de ce premier rapport « L'Homme et le Climat » est donc de faire un point sur :

1) Les **aspects scientifiques** du changement climatique : dresser un inventaire des connaissances actuelles, évaluer les incertitudes. La compréhension des phénomènes en cause est en effet indispensable pour identifier des solutions : qu'est-ce que l'effet de serre ? Quels secteurs de l'activité humaine émettent des gaz à effet de serre ? Quelles sont les menaces qui pèsent sur notre planète ?

2) Les **négociations internationales sur le climat** : quels sont les enjeux et les problématiques des négociations internationales sur le climat depuis le début des années 90 ? Peut-on arriver à un consensus mondial ?

3) Les **marges de manœuvres économiques, sociales et technologiques** afin de réduire les émissions de gaz à effet de serre et de répartir la mise en œuvre des solutions entre les Etats, les entreprises et les citoyens.

Ces analyses et témoignages ont permis d'aboutir à un certain nombre de constats, d'évaluer les risques à ne pas agir contre le réchauffement de la planète et d'identifier à travers différentes recommandations de premières pistes pour les entreprises dans leur réponse au « défi climatique ».

PROPOSITIONS

En examinant les évolutions des gaz à effet de serre dans l'atmosphère terrestre depuis 400 000 ans (grâce aux carottages dans l'Antarctique), nous constatons que depuis 1750 (début de l'industrialisation), leurs concentrations sont en forte croissance, en rupture brutale avec les fluctuations passées beaucoup plus réduites et lentes. Les analyses de CO₂ ainsi fossilisé et les modélisations effectuées montrent que **l'homme et ses activités sont à l'origine de ce décrochage**. Production d'énergie, transports, habitat et industrie, manifestations d'une société organisée, apparaissent comme les premiers responsables du phénomène.

L'inertie des phénomènes concernés est énorme : par exemple, plusieurs siècles seront nécessaires après la stabilisation des émissions de gaz à effet de serre pour stopper la montée des températures. Nos activités peuvent aujourd'hui très rapidement atteindre un seuil d'irréversibilité au-delà **duquel les dérèglements induits seront hors de portée de toute régulation de notre part**. l'ordre de grandeur des réductions d'émissions à assurer en moins d'un demi-siècle est pour les pays industrialisés d'un facteur 3 à 5. « Tout arrêter » serait irréaliste. « Tout poursuivre » serait suicidaire. C'est en évitant ces deux écueils qu'il faut imaginer comment aller de l'avant et l'organiser. La récente autorisation de ratification du protocole de Kyoto donnée à l'unanimité à l'Union européenne par les Etats membres place au rang de première priorité la réduction effective des gaz émis par l'Union.

Le travail réalisé montre que les issues sont à rechercher autour des quatre axes suivants et propose des voies pratiques nouvelles pour les entreprises :

1. S'il faut poursuivre une recherche active sur les technologies alternatives tournées vers les énergies renouvelables et surtout les économies de consommation, on ne peut en attendre des miracles pour les 20 ou 30 prochaines années. Pour les transports par exemple, les parcs de véhicules se renouvellent lentement et les technologies espérées n'en sont encore souvent qu'au stade expérimental.
2. Pourtant, les entreprises ont d'ores et déjà un rôle considérable à jouer, en particulier dans le domaine des transports, dont la rapidité de croissance pour la route et l'air en fait le secteur le plus inquiétant au plan climatique. Pour ne prendre qu'un exemple, leurs achats de véhicules représentent en France 40% des

voitures neuves, 60% en Grande-Bretagne. Les expériences recensées nous permettent de suggérer des plans de déplacements au sein des entreprises pouvant inclure : une prime pour non-usage de place de parking, l'organisation de co-voiturage professionnel, l'amélioration de la desserte des sites (navettes, bus...) initiée par l'entreprise puis confiée aux transports locaux, la réalisation d'infrastructures favorisant l'usage du vélo (douches, vestiaires), la discussion avec les agences de voyages d'une optimisation « climat » des déplacements. Pour le fret, un meilleur traitement de l'urgence dans l'entreprise, par exemple pour les commandes (expérience réussie de prise en charge de la gestion de stocks des clients ou des fournisseurs), permet de réduire le recours aux modes routier et aérien, les plus consommateurs d'énergie fossile ; dans la mesure où la qualité de service l'autorise, certaines entreprises ont aussi envisagé plus systématiquement le recours au transport combiné et multimodal (rail, fluvial, maritime). Elles sont aussi de plus en plus nombreuses à souhaiter réduire les vulnérabilités liées aux flux tendus. L'inventaire des initiatives n'est pas clos !

3. Outre ces mesures et politiques pratiques, les mécanismes de flexibilité, tels que marchés d'autorisations d'émission ou projets conjoints, prévus par le protocole de Kyoto et précisés à Marrakech en novembre 2001, pourront contribuer à optimiser les efforts de tous, à condition d'être assortis de garanties de transparence et de sanction en cas de non-respect (système d'observance international et communautaire).
4. Face à l'ampleur des réductions d'émissions nécessaires, les mesures techniques et économiques ne suffisent pas : c'est à une re-conception foncière du fonctionnement de nos sociétés, aux deux sens du terme, que nous convie le défi climatique. Le premier déterminant de notre avenir n'est pas d'ordre technique mais culturel. Au-delà des machines, ce sont les mentalités qui doivent évoluer. Une meilleure gestion de l'énergie au sein de l'entreprise doit s'appuyer également sur une concertation avec les salariés, car les relations de travail ainsi que la vie dans l'entreprise peuvent être améliorées par un meilleur respect de l'environnement. La culture et l'image des sociétés en seront positivement modifiées.

Il n'était pas dans l'optique de ce travail de faire des propositions de politique publique, mais d'éclaircir les fondements scientifiques du dérèglement climatique, et d'explorer quelques pistes particulières pour les entreprises, et parfois pour le citoyen lui-même, sur la base des exposés et dégâts tenus au cours de l'année 2001.

Tableau récapitulatif des principaux sigles et abréviations utilisés

CO₂	Dioxyde de carbone
CH₄	Méthane
N₂O	Protoxyde d'azote
SO₂	Dioxyde de soufre
SF₆	Hexafluorure de soufre
KWh	KiloWatt
TW	TeraWatt
MW	MegaWatt
TWh	TeraWatheure

Depuis une dizaine d'années, un sujet de préoccupation est apparu sur la scène politique : la terre dit-on se réchauffe. Ce phénomène ferait peser un risque aux conséquences irréversibles sur la biodiversité, les mécanismes planétaires et les sociétés humaines.

La multitude des articles de presse et des documentaires télévisés consacrés au climat ces derniers temps prouve combien ce sujet est devenu central dans le débat environnemental, économique et politique. Les interrogations et les hypothèses se succèdent sur les causes des évolutions constatées du climat. Ces questionnements trouvent leur origine dès la deuxième moitié du XIX^{ème} siècle chez les scientifiques (Arrhénius), et furent ravivés dans les années cinquante.

Nombreux sont ceux qui se demandent si les catastrophes naturelles comme les tempêtes ou les inondations constatées sont les prémices d'un changement climatique. L'homme agit-il sur le climat de la planète ? Si la réponse est oui, comment relever le défi climatique avec suffisamment d'intelligence pour éviter de trop forts à-coups dans les fonctionnements sociaux ?

Or les questions posées impliquent l'ensemble des activités humaines dans leurs imbrications, et des phénomènes potentiellement catastrophiques dont la probabilité d'occurrence n'est pas calculable. Généralement, les décideurs économiques et politiques préfèrent n'envisager cette ampleur de modifications que sur la base de certitudes. Or, en la matière, les scientifiques présentent à la fois certaines certitudes et certaines hypothèses vraisemblables parfois controversées.

L'Institut Montaigne s'est engagé au cours de l'année 2001 à porter ses réflexions sur l'étude du thème de « L'Homme et le Climat ».

L'organisation de plusieurs réunions de travail et d'information a permis d'approcher de manière concrète quelques grands dossiers relatifs aux impacts des émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère : nature et quantité des substances émises, conséquences des accords de Kyoto pour les entreprises et le gouvernement, orientation des politiques de transport de voyageurs et de marchandises, avenir des stratégies énergétiques de notre pays, etc.

L'intérêt porté par de nombreux chefs d'entreprises à ces séances montre combien, aujourd'hui, tous ces enjeux sont suivis de près par le monde industriel et sont de nature à influencer sur l'avenir des stratégies d'entreprise. Certaines entreprises ont déjà mené des expériences afin de réduire leurs émissions de gaz à effet de serre. Ces expériences sont évidemment diverses dans leur nature et leur ampleur : signature des accords volontaires de réduction pour les uns, mise en place d'un processus de suivi des pollutions atmosphériques pour les autres. A ce jour, au lendemain du sommet de Marrakech, elles ne semblent pas encore à la hauteur des enjeux.

Ce présent rapport a pour but **d'éclaircir les phénomènes climatiques en cours** (connaissances acquises en la matière et incertitudes qui demeurent) (I), **l'enjeu des négociations internationales sur le climat** (II) et **les marges de manœuvres envisageables** pour faire face au changement climatique annoncé (III).

I. LE RECHAUFFEMENT CLIMATIQUE : UN PROBLEME GLOBAL ET COMPLEXE

Depuis le milieu du XVIII^{ème} siècle les activités industrielles entraînent une croissance continue des gaz à effet de serre dans l'atmosphère, à une vitesse et des concentrations inconnues depuis 500 000 ans. A ce stade, la recherche scientifique apporte un mélange de faits prouvés, d'intuitions qui demandent à être confirmées et d'incertitudes souvent irréductibles dont la traduction en termes de prises de décision est nécessairement délicate.

A. Qu'est ce que le climat ?

Notre planète est un ensemble complexe : l'océan, l'atmosphère, les glaciers, la biosphère et la température y interagissent à travers des processus physiques et chimiques variés.

Le climat dépend des conditions moyennes de température, de vent et de précipitations existantes à un moment donné. le terme climat vient de la racine grecque « *klino* » qui signifie inclinaison : les observateurs de la nature avaient en effet constaté que la chaleur dépendait de l'inclinaison des rayons solaires par rapport au sol¹.

La température de surface du soleil est de 6000°K environ (O°C=273°K). La partie visible du spectre solaire représente environ 40 % de l'énergie totale au sommet de l'atmosphère mais c'est aussi la part du rayonnement solaire qui pénètre le plus facilement dans l'atmosphère. Cette énergie solaire n'est pas absorbée dans sa totalité par la terre : environ 30% est réfléchi vers l'espace. Les 70 % restant représentent un flux d'énergie de 240Wm⁻² environ qui constitue le terme de chauffage de la planète. Pour rendre à l'espace cette énergie qu'elle reçoit du soleil, la terre émet également un rayonnement électromagnétique².

L'évolution climatique met en jeu trois séries de facteurs : la variation de la luminosité solaire, impliquant des phases d'activité plus ou moins intenses ; la réflexion de l'énergie du soleil par les nuages et l'effet de serre lui-même³.

B. Changement climatique : cauchemar ou réalité ?

Les scientifiques ont joué un rôle clef dans le débat sur l'effet de serre : ce sont eux qui ont donné l'alerte. Leur témoignage est indispensable aux pouvoirs publics, aux entreprises et aux citoyens que nous sommes. Quel est donc l'état des connaissances scientifiques actuelles sur le climat ?

¹ Jacques Labeyrie, *L'Homme et le Climat*, Sciences, 1985, p.7.

² « Impacts potentiels du changement climatique en France au XXI^{ème} siècle. L'augmentation anthropique des gaz à effet de serre », Mission interministérielle de l'effet de serre, p.18.

³ Robert Kandel, « Des dangers qui ne font plus de doute », *L'Humanité*, 14 novembre 2000.

1. Effet de serre : principe et risques

Depuis des millions d'années, l'effet de serre naturel a procuré à notre planète les conditions du développement de la vie telle que nous la connaissons. La température moyenne sur terre est aujourd'hui de +15°C. En l'absence d'effet de serre, la température théorique serait de - 18°C.

Mais depuis la révolution industrielle, autour de 1750, et le début de notre course à la consommation énergétique, nous avons amplifié son phénomène.

a) Qu'est-ce que l'effet de serre ?

L'effet de serre est un mécanisme physique naturel qui permet à l'atmosphère terrestre, grâce à la présence de certains gaz dans sa partie supérieure, de laisser passer l'énergie du soleil qui nous arrive sous forme de lumière et de piéger cette même énergie réfléchiée sous forme de chaleur par la surface de la terre.

Ce phénomène tire son nom de ce qui se passe dans la serre du jardinier : comme dans la vitre d'une serre, l'atmosphère laisse passer les rayons visibles du soleil mais emprisonne partiellement la chaleur.

Ces gaz dits « à effet de serre » sont la vapeur d'eau (comprenant les nuages) dont l'influence est évaluée à un peu moins de 2/3 de la contribution totale, puis le dioxyde de carbone (CO₂) qui intervient pour environ un 1/5. Les 15 % restants sont dus à l'ozone de la troposphère, au protoxyde d'azote, au méthane (CH₄) et enfin à d'autres gaz en très petites quantités dont différents hydrocarbures fluorés (HFC) bien connus par ailleurs car substitués des CFC responsables de la destruction de la couche d'ozone de la stratosphère.

b) Origine, évolution, et impact des émissions de gaz à effet de serre sur le bilan radiatif de l'atmosphère

Le fait que, dans l'atmosphère, les teneurs des gaz à effet de serre jouent un rôle climatique a été bien montré avec les analyses des carottes de glace prélevées en Antarctique. En analysant la composition des bulles d'air emprisonnées dans les glaces du Groenland et de l'Antarctique, les chercheurs ont pu établir une corrélation entre la teneur de l'atmosphère en gaz à effet de serre et la température de la Terre, depuis quelques 420000 ans.

Les rejets gazeux générés par l'activité humaine, repérables dans ces bulles par les proportions des isotopes du carbone du CO₂ mesuré, spécifiques des combustibles fossiles, n'ont cessé de croître depuis les débuts de l'ère industrielle, provoquant ainsi un effet de serre additionnel.

Leur forte augmentation depuis le début de l'ère industrielle risque de modifier le climat à une vitesse bien plus rapide que ne le feraient des processus purement naturels.

Ces gaz contribuent au réchauffement car ils présentent des raies d'absorption dans l'infrarouge : ces gaz induiraient ce qu'on appelle un « forçage radiatif » positif⁴.

Depuis 1860, la quantité de gaz carbonique a progressé de 30 %⁵, l'origine étant pour les trois quarts la combustion de charbon et de pétrole dans les pays développés et pour le quart restant les feux de forêts des zones tropicales. La moitié du gaz carbonique fabriqué est absorbée par les océans.

Quant au méthane, sa concentration a plus que doublé depuis la révolution industrielle. De 0,4 ppmv à 0,8 ppmv au cours des dernières 400 000 dernières années, sa teneur dans l'atmosphère est passée à 1,6 ppm en moins de 100 ans⁶. L'agriculture en est l'émetteur principal (extension de rizières, élevage bovin et ovin, activité des termites...). Le reste provient de la production et de la distribution de pétrole et de gaz, de l'extraction du charbon mais également des décharges. Malgré une teneur atmosphérique inférieure à celle du CO₂, le méthane a un pouvoir radiatif de 20 à 50 fois supérieur au dioxyde de carbone pour la même quantité donnée (voir tableau).

En ce qui concerne le protoxyde d'azote (N₂O) ou « gaz hilarant », il est essentiellement produit par l'agriculture (engrais), la combustion de la biomasse et des synthèses chimiques industrielles comme celle de l'acide nitrique.

Finalement, les gaz fluorés (CFC, PFC, SF₆) utilisés dans les systèmes de réfrigération, de climatisation- notamment automobile - et dans les aérosols, ont vu leur concentration passer de 0 ppm (parts par million) dans les années 50 à près de 800 ppm dans les années 90. A poids équivalent, les gaz fluorés ont un pouvoir de réchauffement de 1300 à 24000 fois supérieur à celui du gaz carbonique. Leur fabrication est de plus en plus réglementée, voire pour certains interdite, depuis qu'a été prouvée leur action destructrice sur la couche d'ozone (Convention de Montréal de 1987). Mais leur concentration est pratiquement stationnaire, et le contrôle reste insuffisant dans les pays en voie de développement (principalement en Asie du sud-est).

Enfin la vapeur d'eau contenue dans la stratosphère, générée principalement par les réacteurs des avions, contribuerait pour environ 2% au réchauffement du globe.

L'ordre d'importance des gaz à effet de serre générés par l'activité humaine est donc le suivant : le CO₂ pour 50 %, le méthane (19 %), les CFC (1,7 %), l'ozone de la troposphère (8 %), le protoxyde d'azote (4 %) et enfin la vapeur d'eau (2 %).

Le stock atmosphérique de carbone augmente actuellement de 3 milliards de tonnes (3 Gt) par an. On estime que 6 Gt sont émises annuellement par la combustion du pétrole et du charbon et que la déforestation serait responsable de l'émission de 1,5 Gt. L'océan et la biosphère absorbent donc pour le moment environ la moitié environ des émissions anthropiques.

⁴ «L'effet de serre. Le réchauffement climatique : réponses à quelques questions », *La Jaune et la Rouge*, mai 2000.

⁵ Jean-Marc Jancovici et Hervé Le Treut, *L'effet de serre : allons nous changer le climat ?*, Flammarion, 2001.

⁶ « Impacts potentiels du changement climatique en France au XXI^{ème} siècle », L'augmentation anthropique des gaz à effet de serre, Mission interministérielle de l'effet de serre, p. 17.

Cependant, certains scientifiques craignent que dans le futur, la capacité d'absorption de ces « puits de carbone » diminue sous l'effet du réchauffement climatique : à partir d'un certain seuil de température encore mal connu, la végétation notamment forestière ne capte plus de CO₂ car le stress hydrique est trop intense, ce qui accélère la disparition des forêts, le relargage du CO₂ qui y est stocké et donc le dérèglement climatique. Par ailleurs, l'activité bactérienne de décomposition dans les sols est favorisée par une élévation de température et émettrice de gaz à effet de serre. Enfin, la dissolution du gaz carbonique dans les océans et son stockage sous forme de carbonates dépend aussi de la température (une eau chaude dissout moins de CO₂) et du pH (une eau acidifiée par trop de CO₂ dissous ou par un manque d'oxygène dû au ralentissement de courants océaniques comme le Gulf Stream). En résumé, une température suffisamment élevée pourrait à terme transformer ces « puits » en « sources »...

Figure 1

Tableau comparatif : Pouvoir de réchauffement d'une molécule des principaux gaz à effet de serre, exprimé en rapport à celui d'une molécule de CO₂

Gaz	Formule	Pouvoir de réchauffement relatif/CO ₂
Dioxyde de carbone	CO₂	1
Méthane	CH₄	23
Protoxyde d'azote	N₂O	296
Perfluorocarbonates	C_nF_{2n+2}	5 700 à 11 900
Hydrofluorocarbonates	C_nH_mF_p	12 à 12 000
Hexafluorure de soufre	SF₆	22 200

Par convention, le CO₂ ayant une durée de vie de 100 ans, ce pouvoir de réchauffement est mesuré sur une période de 100 ans.

Source : GIEC, 2001

c) Réactions complexes

Comme mentionné plus haut la moitié du gaz carbonique produit par l'homme est absorbée par l'océan.

Cependant le potentiel d'absorption est mal connu. En effet quelle est la quantité totale de carbone pouvant être stockée par les océans ? A quelle vitesse l'absorption se fait-elle ? Quant au plancton qui absorbe le gaz carbonique, s'il est vrai que sa productivité peut être augmentée par la présence de ce gaz dans l'atmosphère, sa production peut être menacée par le réchauffement du globe, la modification des courants marins et la pollution des océans. En outre, la sédimentation du carbone dans les couches profondes est très lente (de l'ordre de plusieurs siècles) par rapport au rythme de concentration du CO₂ dans l'atmosphère.

D'autre part, le réchauffement des océans accélère l'évaporation de l'eau et donc la formation des nuages. Les nuages sont difficiles à modéliser car suivant leur altitude et leur densité, ils peuvent soit refroidir la terre, soit la réchauffer en piégeant la chaleur émise

(en particulier la nuit). Les cirrus qui sont des nuages élevés et fins, laissent passer la lumière solaire mais absorbent le rayonnement infrarouge. Ils ont donc un effet de serre puissant. Les nuages bas en revanche réfléchissent largement l'énergie solaire et ont donc un effet de serre faible.

Les océans et les nuages ont par conséquent un rôle multiple et majeur dans le réchauffement climatique. Ce rôle demeure encore mal connu et donc difficile à modéliser.

d) Le réchauffement climatique a-t-il commencé ?

Depuis les derniers événements climatiques que nous avons connus (tempêtes, inondations, hivers doux ou à l'inverse étés pluvieux...), la même question est systématiquement posée : le climat est-il en train de changer ?

- Modification de la composition chimique de l'atmosphère :

Analyser l'évolution du climat demande de s'appuyer sur des modèles numériques et des observations intégrant ce qui peut se passer globalement à l'échelle planétaire. Certes, si les modèles climatiques se sont améliorés grâce à des ordinateurs qui sont de plus en plus perfectionnés, il n'en demeure pas moins que des prévisions exactes restent impossibles. Cette incertitude qui entoure encore leur prédiction reflète moins l'ignorance des scientifiques que la **complexité du monde réel** qui lui n'est pas entièrement prévisible.

Depuis la fin du XIX^{ème} siècle, la composition chimique a évolué de manière brutale et sans équivalent. La teneur en CO₂ est passée de 280 ppm (parties par millions) à 360 ppm en l'espace de 150 ans (de 1850 à 2000) alors qu'elle était restée inférieure à 300 ppm pendant au moins 500 000 ans, durée couverte par les mesures actuelles⁷.

Ce phénomène coïncide avec l'augmentation de gaz à effet de serre (CO₂, méthane, protoxyde d'azote..) directement liés à l'activité humaine (industrie, transports...). Ces gaz sont repérables comme nous l'avons vu plus haut. Les modèles climatiques actuels montrent qu'une relation de cause à effet entre ces deux phénomènes est l'explication la plus solide des observations actuelles.

Ces gaz à effet de serre comme rappelé plus haut s'accumulent dans l'atmosphère et leur durée de vie peut être très longue (un siècle pour le CO₂). De ce fait, la croissance des gaz à effet de serre dans l'atmosphère est aujourd'hui inéluctable compte tenu des émissions anthropiques du dernier siècle.

Si ce que l'on connaît en début de ce XXI^{ème} siècle est peut-être le commencement d'un processus de changement climatique, Hervé Le Treut, éminent climatologue, souligne qu'en tout état de cause la teneur en CO₂ atmosphérique dépassera largement l'actuelle (360 ppm)⁸ et que, les processus en cause étant cumulatifs et à forte inertie, les catastrophes à l'échelle globale se feraient surtout sentir au cours du prochain siècle⁹.

- Les observations de l'évolution du climat

⁷ « Impacts potentiels du changement climatique en France au XXI^{ème} siècle. L'augmentation anthropique des gaz à effet de serre », Mission interministérielle de l'effet de serre, op.cit., p. 16.

⁸ Selon les modèles, une évolution portant la concentration de CO₂ à une valeur comprise entre 500 et 1000 parties par millions serait attendue pour 2100.

⁹ Compte rendu de l'Institut Montaigne, Les Scénarios Climatiques au XXI^{ème} siècle 10 avril 2001.

Le rapport établi par les experts du Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat¹⁰ (GIEC ou en anglais IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change), rendu public en février 2001 montre qu'un réchauffement de la planète est en cours¹¹.

Ce rapport révèle que depuis 1860, la température moyenne à la surface de notre planète a augmenté de 0,6° Celsius.

La décennie 1990 a été la plus chaude du XX^{ème} siècle et l'année 1998 a connu la température la plus élevée.

Bien peu de scientifiques soutiennent encore que ces records sont simplement l'œuvre de la variabilité du climat.

Dans son rapport de 1995, le GIEC estimait qu'au cours du prochain siècle l'élévation de la température devait atteindre en 2100 une valeur comprise entre 1 et 3,5°C. Le dernier rapport du GIEC de février 2001 (Groupement d'experts sur l'évolution du climat constitué en 1988) prévoit que la température moyenne de la surface du globe devrait encore augmenter de 1,5°C et 5,8°C, « *une augmentation sans précédent dans les dix mille dernières années* »¹², et le niveau des mers monter de 20cm à 1 mètre d'ici 2100. Pour illustrer ce que représentent ces écarts, notons que seulement 4 degrés nous séparent du dernier âge glaciaire ! De même, 1 degré supplémentaire en température globale correspond à 2 degrés supplémentaires sur les continents en moyenne, c'est-à-dire avec des zones où l'accroissement sera de 4 à 5°C, et des régions où du fait des variations de la circulation océaniques la température au contraire chutera de 3°C (effet de la disparition du Gulf Stream sur l'Europe de l'Ouest par exemple). Cette évaluation a été calculée à partir d'une hypothèse de doublement des concentrations pré-industrielles de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Or cette hypothèse est loin de représenter une évolution tendancielle des émissions, qui elle nous conduirait plutôt vers un triplement ou quadruplement de cette valeur.

Le National Academy of Sciences dans son rapport de mai 2001¹³ a émis la même conclusion que le GIEC en précisant que cette fourchette de température dépendrait des concentrations futures de gaz à effet de serre et du rôle joué par les aérosols.

« Il est presque certain que toutes les surfaces terrestres se réchaufferont plus rapidement que la moyenne, particulièrement celles situées à haute latitude en saison froide », précise le GIEC dans son Résumé pour les décideurs. « *Le plus notable est le réchauffement des régions au nord de l'Amérique du*

¹⁰ Le GIEC, groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, a été créé en 1988 conjointement par l'Organisation météorologique mondiale et par le Programme des Nations Unies pour le développement. Sa mission est d'évaluer l'état des connaissances scientifiques, techniques et économiques sur l'effet de serre (Groupe de travail 1) ses conséquences écologiques et socio-économiques (Groupe de travail 2) ainsi que sur les stratégies de parade (Groupe de travail 3). Grâce à ses trois rapports de 1990, 1995 et de 2001, le GIEC est considéré comme la référence internationale de base pour les décideurs, les scientifiques et les autres experts.

¹¹ Résumé pour les décideurs, Rapport du GIEC (Groupe de travail 1), février 2001, p. 2.

¹² Résumé pour les décideurs, Rapport du GIEC (Groupe de travail 1), février 2001, *op.cit.*, p. 13.

¹³ L'étude réalisée par le National Academy of Sciences a été commandée par la Maison Blanche en mai 2001 afin d'aider l'administration américaine à réactualiser sa politique sur le problème du changement climatique. La requête écrite sollicitait l'assistance de la National Academy of Sciences afin d'identifier d'une part les zones de certitudes et d'incertitudes et d'autre part analyser les différences substantielles existant entre le rapport du IPCC (International Panel of Climate Change ; rapport de 1000 pages) et les résumés de ce dernier à l'attention des décideurs.

Nord et dans l'Asie du Nord et du Centre ». Il devrait être de 40 % supérieur au changement moyen. En revanche, le réchauffement sera « inférieur à la moyenne en Asie du Sud et du Sud-Est pendant l'été, et au sud de l'Amérique du Sud en hiver »¹⁴.

L'augmentation des gaz à effet de serre fournit pour l'instant l'explication la plus vraisemblable à l'évolution actuelle des températures.

Cette élévation de la température aura certainement des effets contrastés. Sécheresses d'un côté, inondations de l'autre, fonte de la calotte polaire et des glaciers ailleurs, autant de modifications que les modèles commencent à cerner à l'échelle des continents, même s'ils ont encore du mal à les appréhender à l'échelle des zones « régionales » comme la France.

La question actuelle selon Hervé Le Treut, est de savoir si le scénario du présent siècle sera celui d'un changement violent (+2°C de température moyenne du globe) ou très violent (5 à 6°C) du climat planétaire. L'un des facteurs à l'origine de cet écart dans les modèles est la plus ou moins grande rigueur des politiques de maîtrise et réduction des émissions qui pourront être menées dans les prochaines années¹⁵.

- La cessation des émissions de GES arrêterait-il le réchauffement ?

La durée de vie des gaz à effet de serre dans l'atmosphère est très longue, notamment pour le principal d'entre eux, le gaz carbonique, qui a une durée de vie dans l'atmosphère de l'ordre du siècle. Or ces gaz continuent à jouer le rôle de couverture (ou de vitre de serre) tant qu'ils sont présents.

Le rapport du 3^{ème} groupe de travail du GIEC publié le 1^{er} octobre 2001 montre que même si l'on réduisait les émissions de gaz carbonique (CO₂) à leur niveau de 1990, la concentration de CO₂ continuerait à croître avant de se stabiliser à un niveau beaucoup plus élevé qu'aujourd'hui, puisque enregistrant la croissance des émissions de gaz à effet de serre depuis 50 à 100 ans. La température poursuivrait, elle aussi, son évolution avant de se stabiliser à une valeur supérieure à celle que nous connaissons aujourd'hui, avec une inertie de plusieurs siècles. Il se pourrait donc que certains changements dans le système climatique, plausibles au regard des modèles, soient effectivement irréversibles. Notons enfin que l'élévation du niveau des océans, due pour l'essentiel à leur gonflement thermique, continuera elle pendant plusieurs millénaires après la stabilisation des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

Quoi que nous fassions aujourd'hui, le réchauffement issu des gaz que l'homme a émis dans l'atmosphère depuis 1750 se poursuivra donc pour encore quelques siècles. En revanche, la date à laquelle nous commencerons à réduire nos émissions et la vitesse de cette réduction auront un impact très fort sur les températures maximales atteintes et la vitesse avec laquelle les températures augmenteront.

Or ceci est important, car les risques sont probablement encore plus à chercher du côté des vitesses d'évolution que du côté des températures moyennes atteintes.

¹⁴ Résumé pour les décideurs, Rapport du GIEC (Groupe de travail 1), février 2001, *op.cit.*, p. 13.

¹⁵ Compte rendu de l'Institut Montaigne, « Les Scénarios climatiques au XXI^{ème} siècle », 10 avril 2001.

Par ailleurs, il n'existe aucun procédé connu ni même envisageable qui permette de retirer rapidement le surplus de gaz à effet de serre présent dans l'atmosphère. Les puits de carbone naturels (sols, arbres, océan) fonctionnent à petite vitesse (et sont pris en compte dans les modèles), et sont susceptibles de fonctionner « à l'envers » si la température s'élève trop ; enfin, il est inenvisageable de « filtrer l'atmosphère » pour en retirer les gaz.

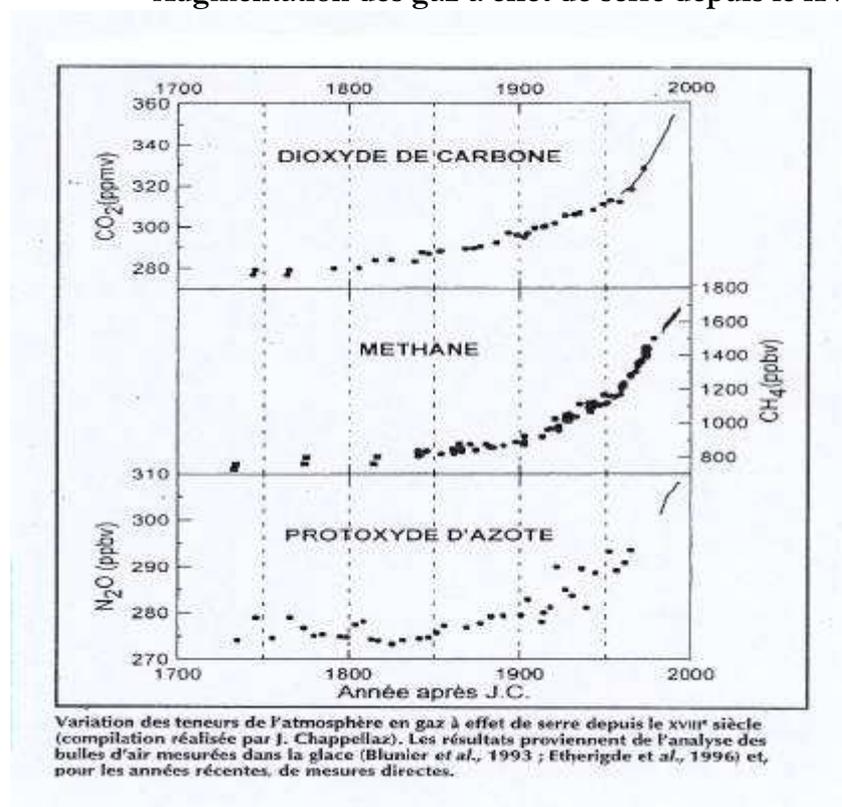
À titre informatif, cet effet d'accumulation n'existe pas avec la vapeur d'eau : son cycle dans l'atmosphère (évaporation - précipitation) est de l'ordre de quelques jours.

2. L'homme acteur de l'effet de serre ?

Si l'on analyse la courbe des concentrations dans l'air de gaz à effet de serre « naturels » depuis 1750 (début de l'industrialisation) (graphique ci-dessous), on constate que ces concentrations suivent toutes une courbe en très forte croissance (à peu près exponentielle) depuis cette date.

Par ailleurs, aux incertitudes de mesure près, les concentrations de CO_2 n'ont jamais dépassé la valeur affichée en 1750 (c'est à dire 280 ppmv, alors qu'aujourd'hui nous sommes déjà à 350) pendant les 400.000 ans qui ont précédé cette date.

Figure 2
Augmentation des gaz à effet de serre depuis le XVIII^{ème} siècle



NB : un ppmv signifie une partie par million, c'est à dire 0,0001% ; un ppbv = une partie par milliard, c'est à dire 0,0000001% : mille fois moins ! On voit que les gaz à effet de serre n'ont pas besoin d'être présents en grande quantité pour avoir un effet déterminant.

Les concentrations jamais atteintes de ces gaz, le rythme inconnu jusqu'alors de l'augmentation de leur concentration et les confirmations par les analyses isotopiques permettent d'affirmer que c'est bien l'homme et en particulier ses activités « modernes » qui est la cause de l'augmentation des concentrations de ces gaz.

Une conclusion essentielle du 3^{ème} groupe de travail du GIEC dont le rapport a été publié le 1^{er} octobre 2001, est que la communauté scientifique mondiale n'a identifié aucun facteur naturel qui soit susceptible d'avoir contribué significativement au réchauffement de 0,6 °C observé sur les 30 dernières années, récusant ainsi tous les messages émis périodiquement à l'encontre de ce constat. Les chercheurs du GIEC ont confirmé que les variations de l'intensité solaire ont été négligeables et que les volcans n'ont pu avoir qu'un effet global de refroidissement, d'ailleurs limité dans le temps après les grandes éruptions. C'est ainsi que le rapport du 1^{er} groupe de travail a conclu « qu'un faisceau d'éléments suggère qu'il y a une influence perceptible de l'homme sur le climat »¹⁶.

a) L'impact des activités humaines

Les principales causes humaines de l'augmentation de l'effet de serre ont trait à la production d'énergie, aux procédés industriels, aux transports et aux activités agricoles.

- Production d'énergie :

La production d'énergie passe par la combustion de combustibles fossiles (charbon, pétrole, gaz...) qui sont la première source de gaz à effet de serre. L'extraction de pétrole et de gaz entraîne aussi l'émission de méthane (CH₄), autre gaz à effet de serre.

L'énergie est utilisée dans la production d'électricité, le chauffage, l'industrie et les transports; le secteur de la production d'énergie représenterait 43 % des émissions de CO₂ dans le monde.

A sources d'énergie inchangées, les émissions du secteur de l'énergie devraient continuer à croître du fait de l'urbanisation constante et de l'augmentation démographique de 3 milliards d'individus supplémentaires d'ici 2050, essentiellement dans les pays en développement.

- L'industrie :

L'industrie émet une quantité importante de gaz à effet de serre (19 % du total mondial) ; dans tous les pays de l'OCDE, elle a déjà beaucoup réduit ses émissions de procédés en appliquant des technologies plus efficaces.

D'après l'Agence internationale de l'énergie (AIE), ces émissions ont même diminué de près de 10 % entre 1990 et 1998. Cependant, l'affaiblissement de l'appareil industriel russe a joué un rôle sensible dans cette décade.

¹⁶ Résumé des Décideurs, Rapport du 1^{er} groupe de travail du GIEC, 2001, p. 10.

Le transfert de technologies plus économes et plus propres, c'est-à-dire limitant la consommation d'énergie, est un enjeu essentiel pour le développement industriel des pays du Sud.

- Les transports :

Le secteur des transports est le plus préoccupant pour l'effet de serre au plan mondial, en raison de son rythme de croissance et de sa quasi-totale dépendance vis-à-vis des carburants fossiles.

Entre 1971 et 1997, les émissions qui lui sont attribuables ont presque doublé dans les pays de l'OCDE. Pour le monde entier, cette hausse dépasse 75 %.

Au plan mondial, les transports représentent 20 à 22 % de la contribution humaine à l'effet de serre global et c'est également le secteur où la croissance est la plus forte, particulièrement pour le fret routier et l'aviation.

En France, les transports sont les premiers émetteurs de gaz à effet de serre, avec chaque année 37,7 millions de tonnes de carbone¹⁷. C'est le secteur qui est promis également à la plus forte croissance. Selon le Commissariat général du Plan, il représenterait 48% des émissions nationales de gaz carbonique en 2020¹⁸. C'est aussi plus de 90 % de la hausse de consommation de pétrole de l'Union européenne, et du fait que son degré de dépendance énergétique passerait de 50 % en 1990 à 70 % en 2010, ce qui est considéré comme non supportable par Mme Loyola de Palacio, Commissaire espagnole à l'Energie et aux Transports.

Le transport routier (autos, camions et motos) est le premier responsable, pour les quatre cinquièmes, de cette envolée qui ne semble pas pouvoir s'arrêter. A l'intérieur du mode routier, la circulation des voyageurs représente deux tiers des émissions de gaz à effet de serre, le fret un tiers¹⁹.

Les pays en développement suivent cette pente dangereuse, et connaissent déjà, dans de nombreuses métropoles, une pollution de l'air extrême.

La lutte contre les nuisances automobiles est difficile : les sociétés occidentales sont devenues extrêmement dépendantes des véhicules individuels, et les responsables politiques réfléchissent à deux fois avant de s'engager dans des politiques cherchant à en limiter le nombre : en 1993, le président Bill Clinton a dû abandonner son projet de taxe sur l'essence, et en septembre 2000 les dirigeants européens ont dû abaisser leurs propres taxes devant la grogne des automobilistes et du lobby routier. La France a même abandonné son projet de taxation de diesel en septembre 2001 en dépit de la pression du parti écologique et de l'adoption l'année précédente du programme de lutte contre le changement climatique dont elle constituait une mesure forte.

Quant au transport aérien, il se développe lui aussi vigoureusement, alors qu'il est un émetteur de gaz à effet de serre non négligeable (environ 1,4 % du total mondial). Selon

¹⁷ Programme national de lutte contre le changement climatique 2000-2010, Graphique : Consommation d'énergie par secteur d'activité et émissions de gaz carbonique en France, République Française, 2000.

¹⁸ P. Boisson, «Energie 2010-2020, Les chemins d'une croissance sobre », Commissariat Général au Plan, 1998.

¹⁹ Dominique Dron, *Transports : Le grand virage*, Sociétal n°31, 1^{er} trimestre 2001.

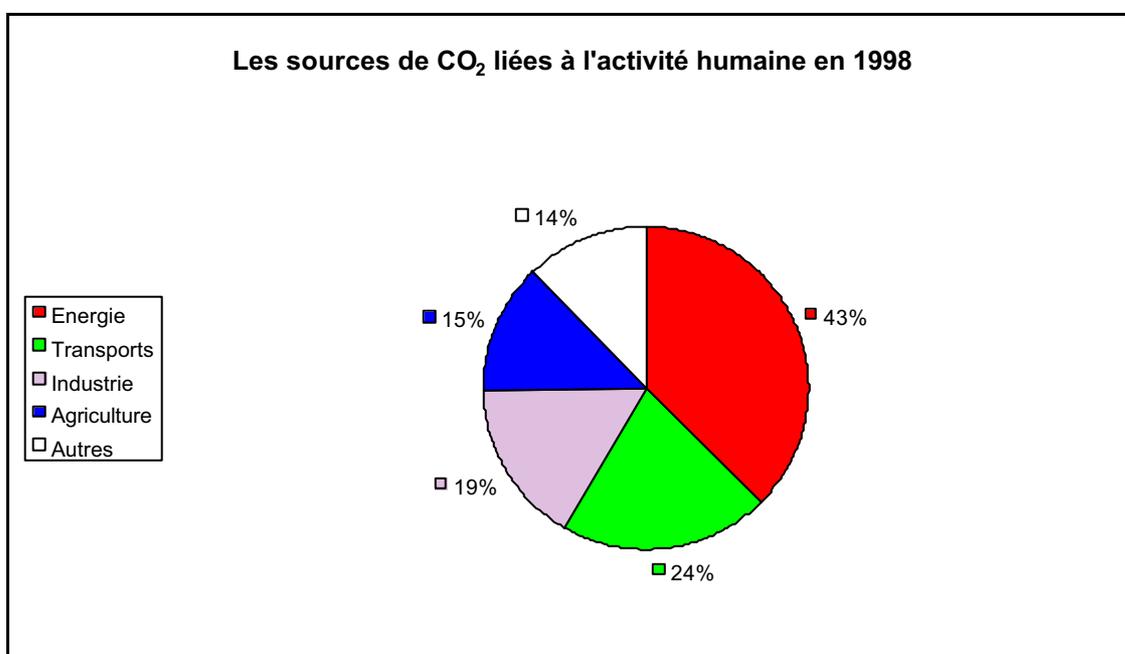
les estimations de l'OCDE, la croissance du transport aérien va plus que doubler entre 1995 et 2010 et la consommation du kérosène devrait passer de 150 millions de tonnes en 1990 à 730 millions de tonnes en 2030, soit autant que le secteur de la route mondial en son entier, avec un impact radiatif encore supérieur du fait du largage des émissions directement en haute atmosphère (GIEC 2001).

- L'agriculture :

Décomposées à l'abri de l'oxygène, les matières organiques dégagent du gaz carbonique et du méthane, qui compte pour environ 15 % de l'effet de serre total.

Décharges, terres inondées, rizières, élevage des ovins et des bovins, l'usage des engrais azotés, déjections animales sont donc des sources de gaz importantes : on estime ainsi que l'agriculture compte pour 55 % des émissions de méthane d'origine humaine.

Figure 3



Source : Agence Internationale de l'énergie 1999

b) La responsabilité française

La France a une situation particulière : pays industrialisé, elle émet proportionnellement moins de gaz à effet de serre que ses grands partenaires occidentaux.

Il existe deux raisons à cela : la part prépondérante de l'énergie nucléaire qui n'émet pas de gaz à effet de serre et le niveau d'efficacité énergétique atteint. Notre mode de vie est ainsi beaucoup moins « gourmand » en énergie que celui des Etats Unis. Chaque Américain brûle 7,5 tonnes d'équivalent pétrole (tep) par an. Un français consomme 3 tep, mais un habitant d'un pays en voie de développement 0,5 tep.

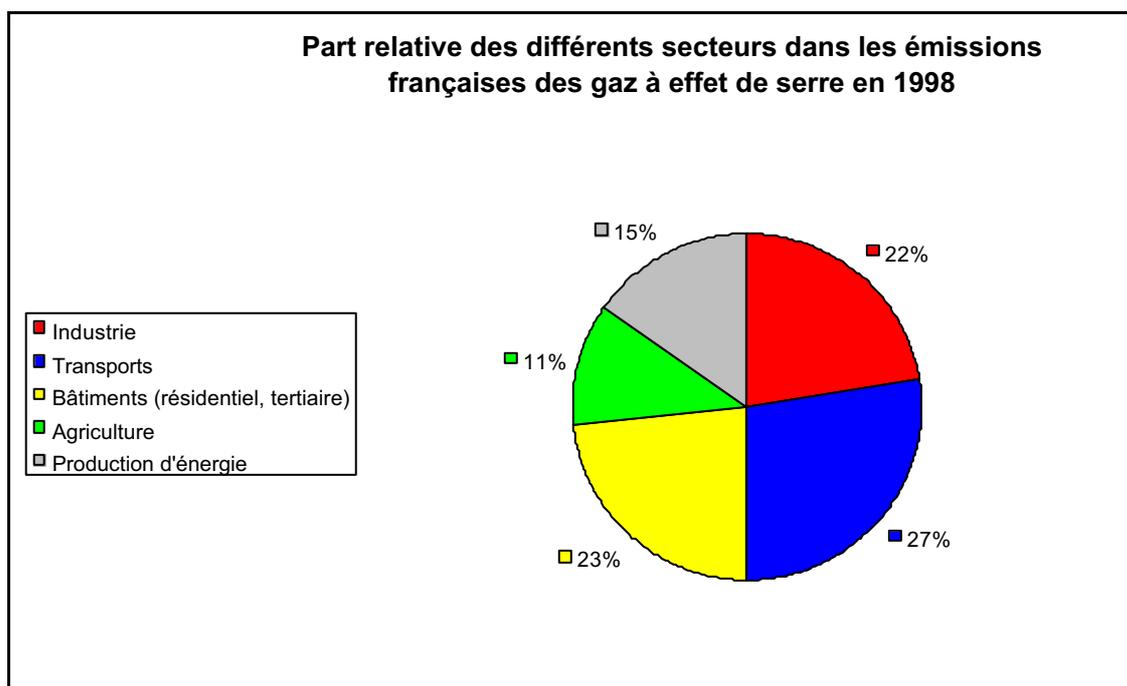
Figure 4

Emissions françaises en équivalent CO₂ en 1999

Gaz	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFC	PFC	SF ₆
Emissions françaises en 1999	336 Mt	2,84Mt	0,25 Mt	2739t	268t	101t
Emissions françaises en équivalent CO ₂	336 Mt	60 Mt	79 Mt	4,8 Mt	1,9 Mt	2,4 Mt

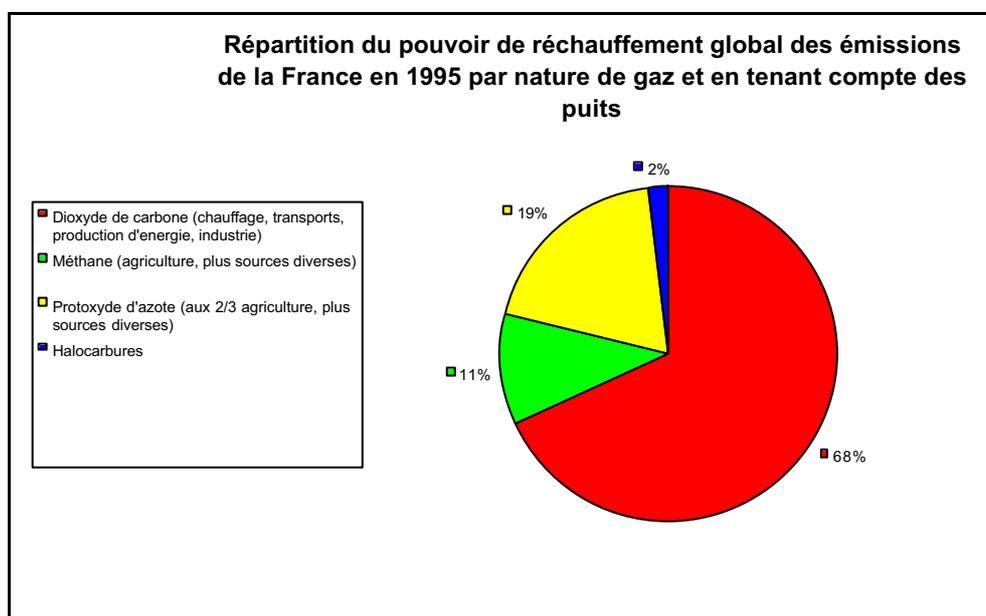
Source : CITEPA 1999

Figure 5



Source : CITEPA

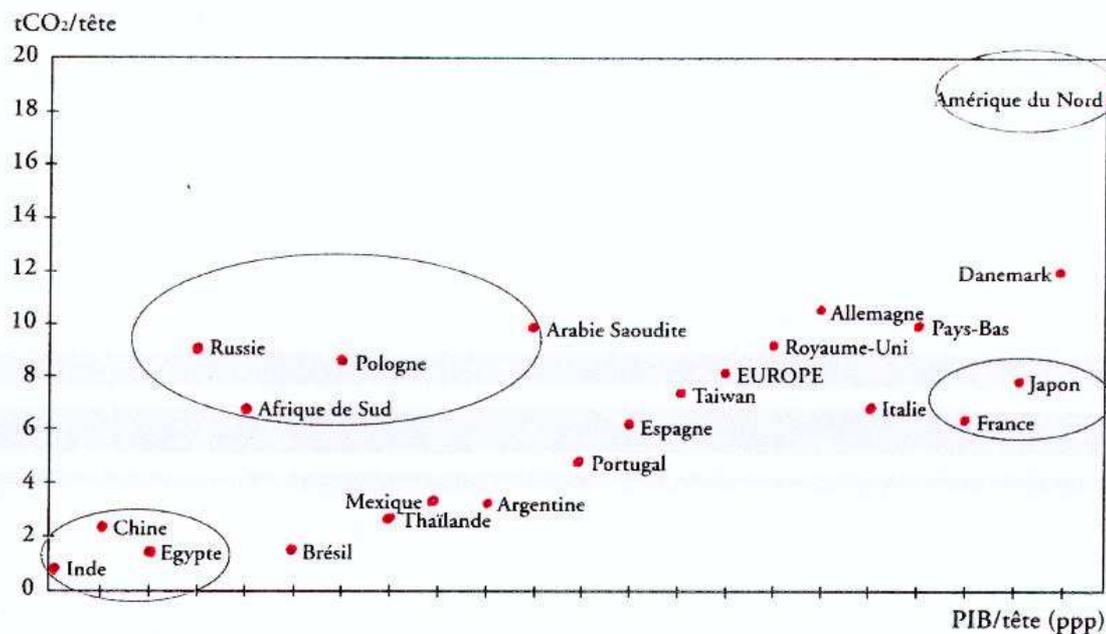
Figure 6



Source : CITEPA

Figure 7

Emissions de CO₂ et PIB (produit intérieur brut) par habitant en 1995



Source : Enerdata, 1998

On remarque sur la figure 7 que les pays utilisateurs de production d'électricité non émettrices de CO₂ (essentiellement le nucléaire et l'hydroélectricité) comme la France, la Suisse ou la Suède ont des émissions par habitant plus faibles que d'autres pays (Danemark, Pays Bas) tributaires d'énergies fossiles (charbon, pétrole...).

3. Un risque à évaluer

L'influence des gaz à effet de serre d'origine humaine sur le dérèglement climatique n'est plus mis en doute aujourd'hui au regard des connaissances scientifiques. En revanche deux incertitudes subsistent :

- d'une part l'ampleur du forçage climatique due aux gaz à effet de serre et leur impact sur les composantes du système climatique (phénomènes biophysiques : océan, glace, grands systèmes de végétation), ce dont rendent compte l'intervalle [1,5°C / 3,5°C] pour les effets thermiques et la fourchette [20 cm / 60 cm] pour le niveau de la mer (à partir de 1990),
- d'autre part la manière dont le système climatique répondra à l'échelle locale et régionale (variations entre les modèles), ce qui fournit les intervalles [+1°C / +5°C] et [10 cm / 1 m].

Néanmoins, on peut dire que les pluies s'accroîtront à l'Equateur et aux latitudes tempérées, et qu'elles se raréfieront au contraire en zone tropicale, où le stress hydrique se fait déjà sentir. Les situations météorologiques inattendues aujourd'hui se feront de plus en plus fréquentes : ainsi, sans pouvoir affirmer par exemple que la tempête de décembre 1999 et les pluies exceptionnelles de 2000-2001 sont précisément dues au dérèglement climatique, la multiplication de tels épisodes sous nos latitudes est prévue par les modèles.

Effectivement, plus que l'amplitude des changements climatiques, c'est la rapidité avec laquelle ils peuvent survenir qui constitue le risque majeur et qui impose que des mesures soient prises dès maintenant. En effet, les écosystèmes et les civilisations ne pourront guère s'adapter au rythme décrit par les modèles.

Selon le rapport du GIEC, si rien d'efficace n'est fait, les conséquences de ce réchauffement climatique seront très préoccupantes : sécheresses, inondations, montée des eaux, érosion de sols, migrations importantes de populations, remontée vers les latitudes tempérées des maladies tropicales, intensification des flux atmosphériques (cyclones, ouragans, voire modification des courants océaniques (arrêt du Gulf Stream, anoxie des fonds marins), etc.

S'il est impossible d'affirmer des certitudes scientifiques, techniques ou économiques en termes de probabilités, d'ampleurs ou d'échéances, les incertitudes elles-mêmes sont un facteur aggravant car elles handicapent nos capacités d'anticipation adaptatives.

Faut-il privilégier le principe de précaution mis en avant par les climatologues qui disent qu'en absence de certitude il vaut mieux se préparer au pire ? Ou faut-il écouter ceux

qui préfèrent éviter les risques de ruptures politiques ou économiques sans certitudes ? Peut-on exclure un risque parce qu'il n'est pas complètement démontré, c'est-à-dire non exprimé en termes de probabilités ?

D'une part, selon la loi française de 1995, un risque grave et irréversible n'a pas besoin d'être certain pour devoir être pris en compte. De plus, dans le cas présent, l'inertie des phénomènes en cause implique qu'attendre ici des certitudes renverrait à un horizon trop tardif pour éviter le pire. Enfin, il faut bien reconnaître que la plupart des décisions habituelles se prennent sans certitude absolue, ne serait-ce que pour le coût final d'un chantier de travaux publics ou l'avenir d'un produit nouveau par exemple, etc.

Il vaut mieux donc prévoir et anticiper le risque afin de pouvoir modéliser l'avenir différemment au cas où le danger s'avèrerait maximal. Cette prudence à respecter obéit au principe de précaution.

C. Les scénarios énergétiques et climatiques au XXI^{ème} siècle

Prévoir ce que sera le climat dans cinquante ou cent ans, nécessite de connaître le modèle de développement futur de l'homme.

1. Les scénarios de consommation énergétique et d'émissions

Les scénarios climatiques du XXI^{ème} siècle dépendent de la croissance démographique et de la consommation énergétique.

a) La croissance démographique au XXI^{ème} siècle et perspectives de consommation

Combien serons-nous à la fin du siècle prochain ?

Selon l'IIASA (International Institute for Applied Systems Analysis), la population mondiale pourrait culminer à 9 milliards d'individus en 2070 – dont plus de la moitié en Asie – avant de diminuer pour atteindre, avec une probabilité de 80 %, 8,4 milliards en 2100²⁰.

Cette perspective conditionne les scénarios de l'évolution future de la consommation énergétique. Actuellement 1,2 milliards de personnes dans les pays les plus développés, soit 20 % de la population mondiale, consomment 60 % de l'énergie, tandis que les habitants des pays en voie de développement (près de 5 milliards) en consomment 40 %. Les 2 milliards les plus pauvres utilisent seulement 0,2 tonnes d'équivalent pétrole par an et par personne, et la plupart n'ont pas accès à l'électricité²¹.

²⁰ « Pas de panique : nous ne serons que 8 ou 9 milliards sur Terre aux alentours de 2050 », *Le Monde*, 4 août 2001.

²¹ « A l'âge du charbon et du pétrole, l'homme émet du CO₂ en masse », *Le Monde*, 18 novembre 2000.

Les besoins énergétiques prévisibles sont donc énormes si les schémas de consommation actuels des pays développés se maintiennent et continuent à servir de modèles aux autres. Selon les scénarios explorés par le Conseil Mondial de l'Energie et l'Institut International pour l'analyse des systèmes appliqués (IIASA)²², la consommation mondiale d'énergie pourrait alors être multipliée par 2,7 au rythme actuel ou par 1,5 dans les scénarios incluant des politiques d'efficacité énergétique.

b) Les scénarios d'émissions en 2050 et 2100

La température moyenne au niveau du sol va augmenter si la concentration de l'atmosphère en gaz à effet de serre augmente. Mais de combien ?

Les modélisations les plus récentes réalisées par le GIEC donnent une fourchette de 1,5 à 6 °C à l'horizon d'un siècle c'est à dire en 2100 selon les modèles et les scénarios retenus (voir schéma ci-dessous)²³.

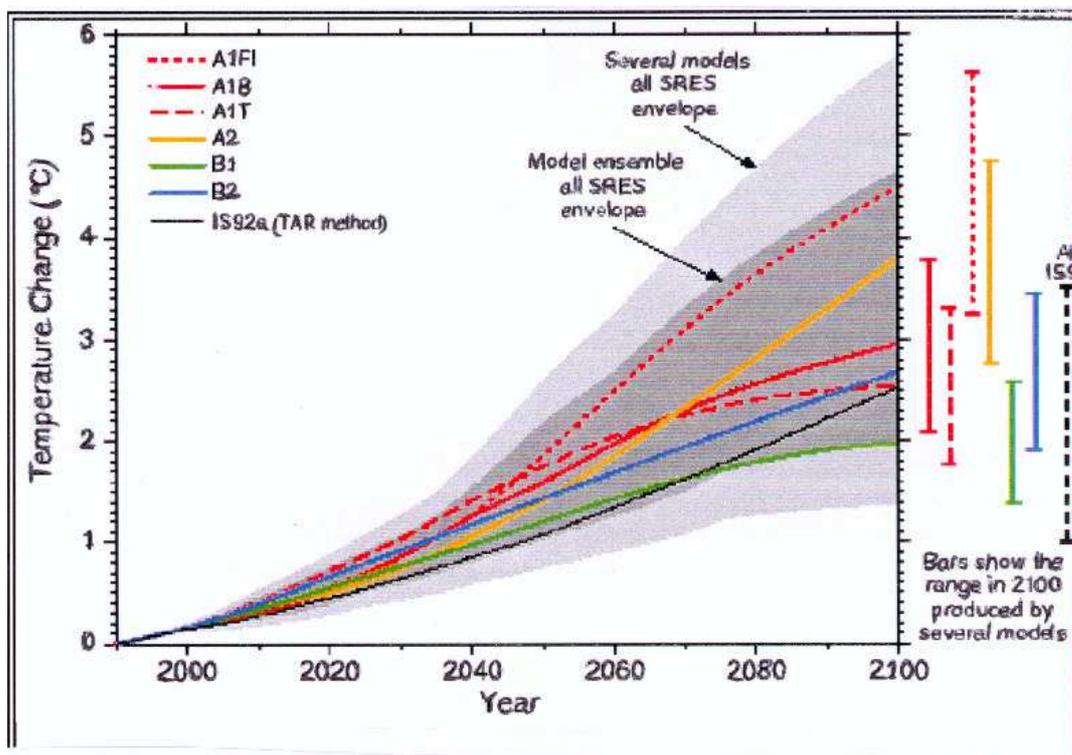
Les deux déterminants principaux de ces scénarios sont : la taille de la population et nos habitudes de consommation.

²² L'IIASA est un institut non gouvernemental de recherche interdisciplinaire fondé en 1972 grâce à l'initiative des Etats Unis et de l'ex Union soviétique avec la coopération des académies des sciences de 10 pays. Il regroupe des organisations scientifiques de 15 pays.

²³ Rapport GIEC 2001, Résumé des Décideurs, p. 13.

Figure 8

Prédictions de l'augmentation de la température moyenne de surface entre 1990 et 2100 selon les scénarios et les modèles



Source GIEC 2001²⁴

Il importe de se rappeler que ces augmentations de température dépendent étroitement de nos émissions futures de gaz à effet de serre. Comme il existe une infinité de possibilités a priori, les modélisateurs utilisent des scénarios réalisés par des démographes, des spécialistes de l'énergie, des sociologues, des économistes... qui décrivent chacun un monde futur possible. Ces scénarios ne sont pas exhaustifs, et il ne s'agit pas des seules possibilités, bien sûr.

²⁴ Chaque scénario d'émission de gaz à effet de serre (désigné par un sigle) a une couleur différente et correspond à des hypothèses différentes (de démographie, d'utilisation de l'énergie, de croissance économique). Par exemple le scénario le plus intensif en énergies fossiles et le plus riche en croissance économique (d'une certaine manière le plus proche de la prolongation tendancielle) est A1FI.

Pour une couleur donnée correspondant à un scénario, la barre à droite de cette couleur donne la fourchette de l'élévation possible de température moyenne en 2100, selon les modèles. Par exemple le scénario A1B, en rouge gras, engendre une élévation de température de 2 à 4°C selon les modèles. Le scénario B2, en vert, conduit à 1,5 à 2,5 °C en plus selon les modèles, etc. La courbe de la couleur correspondante matérialise l'évolution médiane (c'est à dire "au milieu") de la fourchette. Le trait noir tireté à droite (IS92) correspond à la fourchette du précédent rapport du GIEC, en 1996. La zone gris foncée représente l'enveloppe de tous les scénarios, et la zone gris clair montre le surcroît de différence (on parle de "dispersion" des résultats) ajouté par le fait que pour un même scénario les différents modèles donnent des résultats différents.

La valeur la plus basse (+2°C) correspond à un scénario où les émissions de CO₂ retrouveraient à la fin du XXI^{ème} siècle leur valeur actuelle sous l'impact de mesures de réductions.

La valeur la plus haute (+6°) correspond à un modèle de développement « business as usual », c'est à dire la poursuite des tendances économiques actuelles, qui conduirait non pas au doublement mais au triplement, voire au quadruplement de la teneur actuelle en gaz à effet de serre dès la fin du siècle.

Sommairement, une moitié de l'intervalle de température dépend de la réactivité globale de l'atmosphère, l'autre moitié des mesures décidées par les êtres humains.

c) Quels sont les niveaux de réduction souhaitables ?

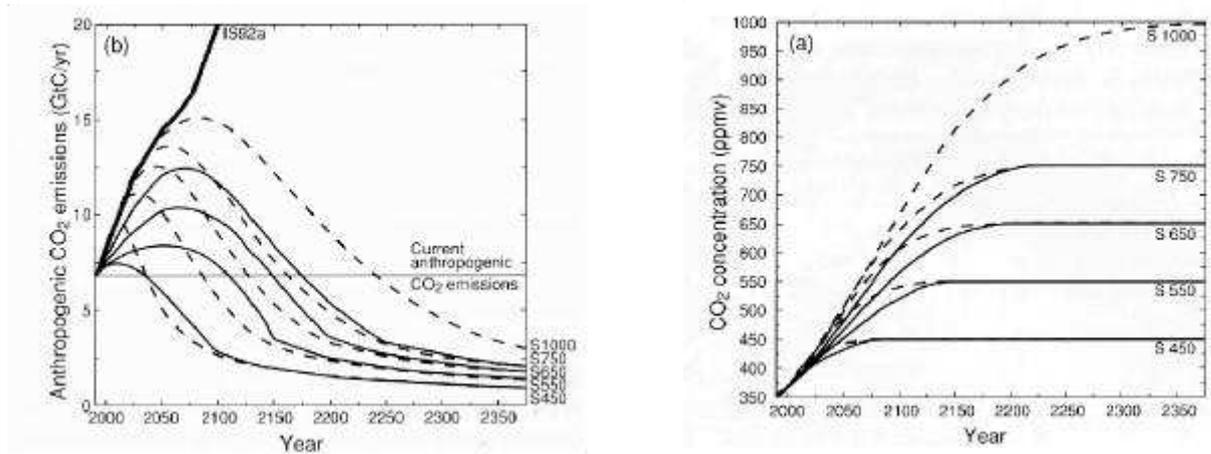
Il n'y pas de réponse à cette question qui puisse se calculer scientifiquement. Le rapport du GIEC de janvier 2001 a toutefois indiqué que pour stabiliser les concentrations de gaz à effet de serre à 450, 650 ou 1000 ppm, il fallait réduire les émissions mondiales de ces gaz en dessous des niveaux de 1990²⁵, et cela pendant plusieurs décennies. Cependant, force est de constater que même avec une décroissance dès 2020 des émissions pour les ramener en 2100 à un gros tiers des émissions actuelles (S450), la concentration de CO₂ dans l'atmosphère se stabilise « seulement » à 450 ppmv, soit 60 % de plus qu'à l'ère pré-industrielle et de quoi nous assurer quand même 1,5 °C de plus en 2100 et éventuellement le double à terme (voir graphique). Rappelons ici que la température de la planète mettra plusieurs siècles à se stabiliser après l'arrêt de la croissance des concentrations en gaz à effet de serre, et qu'1 degré supplémentaire en température globale correspond à 2 degrés supplémentaires sur les continents en moyenne : dans certaines régions, l'accroissement pourra donc être de 4 à 5°C, etc.

Ces courbes montrent en tous cas clairement que la rapidité du démarrage des réductions a un impact très significatif sur le niveau de stabilisation à terme, et que donc il vaudra mieux agir rapidement.

²⁵ Le GIEC a publié dès 1996 la conclusion suivante : quel que soit le niveau et quelle que soit la date à laquelle on souhaite stabiliser la concentration de gaz carbonique dans l'atmosphère, il faudra que l'humanité redescende un jour ses émissions de gaz carbonique à au plus 3 Gt (3 milliards de tonnes) d'équivalent carbone par an, soit au plus la moitié de ce que nous émettons actuellement.

Figure 9

Emissions de CO₂ : stabilisation des concentrations



Évolution des concentrations (droite) en fonction de scénarios d'émission (gauche). Dans tous les cas de figure stabiliser les concentrations signifie de réduire un jour les émissions à 50 % ou moins de leur niveau de 1990.

Courbes issues de « Climate Change, The science of climate change, 1996, IPCC »

2. Les modélisations du changement climatique : nécessités et limites

Prévoir l'évolution future du climat dans l'hypothèse où l'activité humaine n'est pas négligeable oblige à savoir modéliser l'évolution démographique, à faire des hypothèses sur l'évolution de la croissance économique et à faire des paris sur les évolutions technologiques. On perçoit immédiatement la complexité de la tâche sachant que les prévisions ne peuvent être qu'une approximation de ce qui est actuellement constaté.

Il faut par conséquent se rendre à l'évidence que l'on ne pourra jamais sur ce sujet avoir de certitude au sens des sciences dures. Comme le fait remarquer Hervé Le Treut, « *il n'y a pas de volonté de prédiction mais une volonté de construire un modèle de réflexion sur les risques associés* »²⁶.

a) Rôle des modélisations

Si l'on souhaite préciser les caractéristiques de l'évolution future du climat, le seul recours est la modélisation numérique.

Les modèles numériques sont une tentative de créer une planète virtuelle, régie par des systèmes d'équations qui représentent un ensemble très vaste de processus

²⁶ Hervé le Treut, « Climat: Pourquoi les modèles n'ont pas tort », *La Jaune et la Rouge*, mai 2000.

(équations liées au rayonnement solaire, aux courants océaniques, à la circulation de l'atmosphère, etc).

Il est possible grâce aux modèles de simuler tous les grands modes de variabilité du climat : cycles saisonniers, dépressions, moussons, alizés, Gulf Stream, El Nino. Certes, si les modèles climatiques se sont améliorés grâce à des ordinateurs qui sont de plus en plus perfectionnés, il n'en demeure pas moins que des prévisions exactes restent impossibles. Cette incertitude qui entoure encore leur prédiction reflète moins l'ignorance des scientifiques que la complexité du monde réel.

Cependant, force est de constater que toutes les études réalisées jusqu'à ce jour avec des modèles numériques concluent à un réchauffement global du système climatique au cours des années futures. Lorsqu'on soumet ces planètes numériques à un effet de serre plus intense, leur réaction présente des caractères communs, et en particulier une augmentation de la température moyenne²⁷.

L'augmentation de température moyenne simulée par ordinateur est plus marquée vers les pôles que les régions intertropicales. Elle s'accompagne d'une modification importante des régimes de précipitation, qui est encore plus importante dans les régions de basse altitude.

b) Comment mesurer l'incertain ?

Peut-on faire confiance aux modèles ?

Les modèles utilisés pour étudier le climat ont pour fonction de représenter de façon plus ou moins simplifiée des composants du système climatique et de processus gouvernant son état et son évolution.

Pour modéliser les comportements de l'atmosphère ou des courants océaniques, il est impossible de calculer en détail l'évolution de chaque micro volume de gaz ou de liquide. En effet, il est difficile de prédire les mouvements et les modifications physiques dans l'atmosphère et à la surface de la terre, à partir de la connaissance, nécessairement imparfaite, d'un état initial défini par la répartition sur le globe et en fonction de l'altitude des pressions, températures, humidité, vents, etc...à un moment donné. La fiabilité de prédiction du modèle provient, outre de la pertinence des approximations faites, de la qualité des paramètres introduits et de la justesse des conditions de départ.

Pour procéder de façon pratique il faut opérer un découpage spatial, délimiter les régions de quelques centaines de kilomètres de côté et diviser l'atmosphère en dix ou vingt couches horizontales. Ce découpage oblige alors à représenter assez grossièrement des processus (paramètres tels que le vent, la température, l'humidité, les nuages, les précipitations, l'eau, etc) qui se déroulent à des échelles spatiales plus petites, l'état actuel de la puissance de calcul ne permettant pas de résoudre ce type d'échelle plus réduite²⁸.

²⁷ Hervé le Treut, « Modélisation des climats futurs », conférence-débat organisée le 3 février 2001 à la Sorbonne sur « le changement climatique : enjeux et décisions ».

²⁸ Robert Kandel, *L'incertitude des Climats*, Hachette, Collection Pluriel, 1998.

De fait il serait vain de nier qu'il entre dans la réponse des modèles numériques une part d'incertitude qui interdit par exemple jusqu'à présent de préciser l'ampleur ou la localisation des risques à venir.

Si le milieu scientifique est donc certain que la Terre va se réchauffer par contre les prévisions locales (le réchauffement sera t-il plus ressenti en France ou en Allemagne, par exemple) sont très difficiles à établir. Cela fait partie des limites normales de la modélisation climatique, et ne doit pas nous faire penser que les conclusions générales sont fallacieuses et que le danger n'existe pas.

De plus, au fur et à mesure que la recherche progresse, se révèle l'énorme complexité des processus qui participent à l'évolution de notre environnement et donc plus s'éloigne la possibilité de prévoir en détail l'évolution future du climat.

En effet, le système climatique est un système très « instable », et une petite variation quelque part peut avoir un effet très important plus tard et plus loin.

D'autre part, l'effet des nuages sur l'accroissement des températures provoqué par l'augmentation des gaz à effet de serre constitue parmi les scientifiques un sujet de grande incertitude et de débats considérables, la question étant : les nuages jouent-ils ici un rôle amplificateur ou bien modérateur ?²⁹

Toujours est-il que les modèles climatiques, malgré leur imperfection intrinsèque, s'affinent année après année. En effet, les progrès considérables de la modélisation du climat au cours des deux dernières décennies sont dus à une augmentation extraordinaire de la puissance de calcul. Dans un proche avenir, des machines très puissantes nous venant du Japon et des Etats Unis devraient permettre de résoudre certains mouvements convectifs de plus petite échelle³⁰.

Les modèles toujours plus nombreux et sophistiqués indiquent aujourd'hui sans exception un accroissement de température non négligeable dans le futur. En effet, en dépit de la complexité du système étudié, de la diversité des pays et instituts engagés dans la recherche sur le climat, de la diversité des modèles, personne n'est parvenu à mettre au point une expérience numérique conduisant le système climatique à ne pas se réchauffer en réponse à l'augmentation des gaz à effet de serre.

Les scientifiques ont donc manifesté de manière presque unanime que le problème de l'effet de serre est bien réel.

On pourrait en définitive résumer l'état des connaissances scientifiques en une seule phrase : les activités humaines, en produisant des GES à une échelle inégalée depuis des millions d'années, ont acquis la capacité de modifier la composition chimique de l'atmosphère ; les effets climatiques peuvent en être graves et difficilement réversibles.

²⁹ Philippe Roqueplo, « Climats sous surveillance : limites et conditions de l'expertise scientifique », *Economica*, 1998, p.146.

³⁰ Hervé Le Treut et al., *L'effet de serre : allons-nous changer le climat?*, Flammarion, 2001, p.45.

3. Les effets sur notre planète : un avenir menacé ?

Le rapport scientifique du groupe I du GIEC présenté en janvier 2001 est plus pessimiste que celui de 1995.

Les experts du GIEC ont formulé un certain nombre de scénarios vraisemblables pour le siècle à venir, en s'aidant des modèles climatiques qui bien que fortement améliorés depuis 1995, restent bien sûr imparfaits.

Les conséquences inévitables d'un réchauffement de la planète seraient les suivantes : la fonte des glaciers, une modification des grands courants des océans, une élévation du niveau des mers et des océans, des déplacements de zones climatiques avec un élargissement des régions sèches, dans lesquelles le manque d'eau s'accroîtra, et une intensification des inondations dans les zones déjà arrosées.

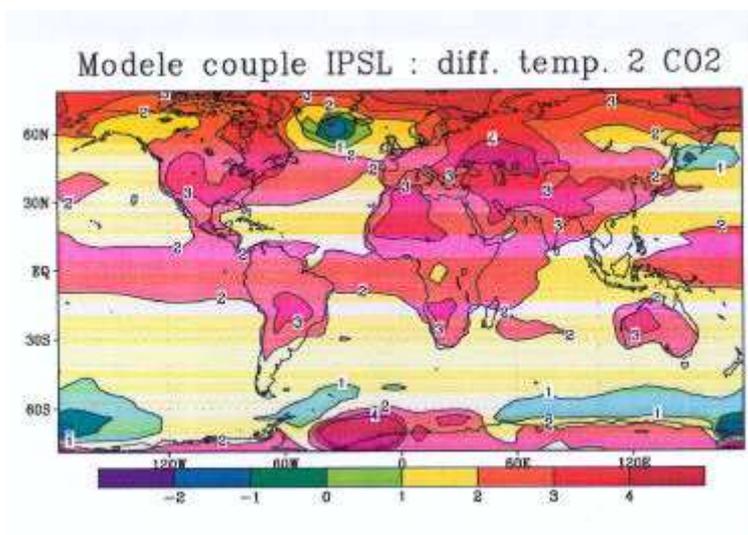
Si les conséquences climatiques ne sont pas encore bien définies localement, il existe une assez bonne prévision globale des déplacements de zones climatiques. Les zones arides subtropicales s'étendraient vers le Nord et les pays intertropicaux seraient affectés par davantage de sécheresse.

a) L'augmentation des températures

Le dernier rapport du GIEC montre que la température moyenne de la surface du globe devrait encore augmenter au cours du siècle de 1,5°C et 5,8°C. Les températures vont-elles évoluer partout de la même manière ? Probablement pas. On constate par exemple que le modèle de l'IPSL (l'Institut Pierre Simon Laplace), pour un réchauffement moyen de 2° C environ, donne des évolutions par zones allant de -2 à + 4 °C. Certaines zones pourraient temporairement se refroidir, reflétant probablement en cela la modification des courants marins (effet de la disparition du Gulf Stream sur l'Europe de l'Ouest par exemple).

Le terme de « réchauffement », globalement valable, ne s'exprimera donc pas partout de la même manière.

Figure 10



La carte ci-dessus représente ce que le modèle de l'IPSL prévoit, pour chaque région du monde, comme température annuelle moyenne de l'air au niveau du sol au moment où la concentration en CO₂ dans l'atmosphère aura doublé (dans 60 à 80 ans en prolongation tendancielle).

Source : IPSL (Institut Pierre Simon Laplace)

b) Le niveau de la mer et modification du courant océanique

L'élévation du niveau de la mer, conséquence attendue d'un réchauffement global serait causée principalement par la fonte partielle des glaciers et par la dilatation thermique des océans et des mers.

Le rapport du GIEC de janvier 2001 a signalé que le niveau moyen des mers s'était élevé de 10 à 20 centimètres pendant le XX^{ème} siècle et que le niveau moyen des mers devrait encore augmenter de 9 à 90 centimètres.

Les impacts possibles de cette élévation sont de plusieurs ordres : submersion, accentuation de l'érosion, recul des plages et de côtes et peut-être la disparition possible d'îles comme les Maldives ou les Marshall. Des inondations sont à craindre dans certaines régions du globe comme le Bangladesh, l'Égypte, l'Indonésie, le Sénégal mais aussi en Europe (Pays-Bas). En France, les régions les plus concernées sont les espaces deltaïques de la Camargue ainsi que le rivage à lagunes du Languedoc³¹. Certes, les transformations d'origine naturelles sont souvent accélérées par les aménagements des fleuves (barrages, endiguement) qui diminuent les apports en sable, galets et autres matériaux. Aujourd'hui, en France, sur 5 500 kilomètres de côtes, 850 kilomètres reculeraient de plus de 1 mètre par an et 1,5 mètre pour les plages de l'Aquitaine³².

³¹ « Impacts potentiels du changement climatique en France au XXI^{ème} siècle, Le changement climatique d'origine humaine », Mission interministérielle de l'effet de serre, p. 8.

³² Sylvestre Huet, *Quel climat pour demain*, Calmann-Lévy, p. 199.

Bien entendu il est possible de se protéger contre la montée des eaux par des travaux herculéens (construction de digues...): les Pays-Bas ont lancé en 1999 un programme de rehaussement de leurs digues de 2 mètres. Cependant, les pays les plus vulnérables auront du mal à financer ces efforts.

A cette probable montée des eaux s'ajoute un phénomène lié au dérèglement que l'augmentation de la température à la surface de la terre pourrait provoquer dans les océans (voir phénomène El Nino). Les récifs coralliens, déjà menacés par la pollution chimique et tellurique, le sont aussi de ce point de vue, car un réchauffement de la mer au-dessus de 30°C leur serait fatal.

Finalement, certains chercheurs envisagent la possibilité d'un ralentissement du Gulf Stream au niveau du nord de l'océan atlantique, du fait d'une pluviosité accrue aux latitudes tempérées, ce qui aurait pour conséquence un fort refroidissement brutal de la température moyenne en Europe occidentale (2 à 4°C). La succession des deux événements, remontée de la température, puis chute, fait penser au scénario de « chaud et froid » récemment proposé (indices paléoclimatiques) pour rendre compte des extinctions massives de la fin du Crétacé.

c) Les milieux naturels

L'enneigement : Le rapport du GIEC signale que la couverture neigeuse et l'extension des glaces ont diminué de 10 % depuis les années 1960. Depuis 1950, la superficie des glaces de mer a diminué de 10 à 15 % dans l'hémisphère nord.

Les résultats de la modélisation en France par exemple montrent une nette diminution de la durée d'enneigement à 1500 m d'altitude : 20 à 25 % de moins pour les Alpes du Nord et 30 % dans les Alpes du sud et les Pyrénées, et plus de 40 % pour les alpes azuréennes. La conséquence pourrait être la disparition de certaines régions de ski³³, mais aussi celle des écosystèmes ayant besoin des conditions thermiques et pluviométriques actuelles, comme les prairies d'alpages et l'économie associée.

d) L'agriculture

Le réchauffement devrait faire probablement des perdants mais aussi des gagnants. En effet, une atmosphère plus chaude et plus riche en CO₂ est souvent mais pas toujours, favorable aux rendements agricoles en zones tempérées, mais à plusieurs conditions. Notamment, les ressources en eau doivent être suffisantes car le besoin d'eau s'accroît avec le rendement (or de nombreuses régions sont déjà en situation critique de ce point de vue), et la pression des maladies et des ravageurs ne doit pas trop s'accroître : or chaleur et humidité favorisent les champignons et moisissures ainsi que les mauvaises herbes, et nous observons déjà une remontée vers le nord de ravageurs et virus tropicaux. Parallèlement, les dégâts environnementaux de l'agriculture intensive poussent justement

³³ « Impacts potentiels du changement climatique en France au XXI^{ème} siècle. Modification de la couverture neigeuse », Mission interministérielle de l'effet de serre, 2000.

aujourd'hui à réduire les utilisations d'engrais et de pesticides et à réduire les consommations d'eau...

- Agriculteurs plutôt favorisés : Russes, Canadiens, Chine du Nord
- Agriculteurs perdants à coup sûr : l'Afrique, l'Inde, l'Amérique centrale. Par exemple, l'Afrique produit aujourd'hui moins de nourriture par habitant qu'il y a 50 ans. Près de 300 000 hectares de forêts sont brûlés chaque année pour cultiver les terres, ce qui détruit rapidement les sols. Au Moyen Orient, au Kazakhstan et au Pakistan, la pénurie d'eau devrait s'aggraver.

Dans un premier temps, sans prendre en compte les dégâts qui suivraient les modifications des courants océaniques à moyen terme, ce sont les régions les plus froides des pays industrialisés qui devraient bénéficier le plus du radoucissement général et de l'augmentation locale des précipitations. Certains pays des latitudes hautes et moyennes verraient leur productivité agricole et forestière augmenter sensiblement, aux réserves précédentes³⁴.

e) Alimentation et santé

Les risques de disette alimentaire et de famine pourraient s'accroître dans certaines régions de la planète : Asie du Sud Est, de l'Est, régions tropicales d'Amérique Latine.

Un climat plus chaud favorise les maladies tropicales : paludisme, fièvre jaune, dengue, encéphalites, etc. La malaria touche aujourd'hui 350 millions de personnes c'est à dire 1 habitant sur 20. Avec le réchauffement de la planète, 60 % de la population mondiale pourrait y être exposée surtout dans les tropiques et dans les zones tempérées (Europe, Asie, Amérique). En France, le moustique porteur du virus africain West Nile (encéphalites), déjà observé à New-York en 1998 (d'où un usage massif de malathion dans les rues de New-York !) puis en Italie, apparut en Camargue en août 2000. Au cours des dix dernières années, le paludisme a franchi la côte des 1800 mètres en Afrique orientale et à Madagascar, altitude autrefois qu'il ne dépassait pas. Les projections pour l'an 2050 montrent que le paludisme menacera à cette date trois milliards d'êtres humains³⁵.

Le drainage des marais, l'assainissement des terres et la lutte anti-moustique sont des moyens de lutte contre le paludisme qui certes ne dépendent pas uniquement du climat, mais ont d'autres conséquences : ainsi la disparition des zones humides régulatrices des inondations intensifie les effets de celles-ci, et réduit beaucoup la captation de carbone car elles figurent parmi les zones les plus productrices de biomasse du monde... Dans son rapport de 1996 le GIEC a indiqué que les maladies tropicales risquaient surtout de s'étendre dans les pays en développement et moins dans les zones tempérées. La santé publique est aussi liée à d'autres facteurs comme la salubrité des milieux urbains, l'amélioration de la nutrition, l'accès à l'eau potable ou l'accessibilité aux services de la santé.

³⁴ « Le réchauffement climatique va renforcer le clivage entre le Nord et le Sud », *Les Echos*, 24 février 2001.

³⁵ « Les responsabilités humaines dans l'effet de serre : coup de chaud sur la planète », *Le Monde diplomatique*, décembre 1999.

f) Modification des courants marins

Le changement climatique peut également agir sur la circulation des courants marins. Cela aurait comme conséquences :

- pour les zones bordées par ces courants, des variations de température bien différentes des valeurs moyennes pour la planète. Par exemple, un arrêt du Gulf Stream (perte de 2 à 4°C) nous conduirait à connaître le climat de la façade atlantique de l'Amérique du nord, c'est-à-dire pour Paris les hivers du Canada...
- un arrêt du recyclage des sels minéraux dans l'océan et de la réoxygénation des fonds, avec la mise en péril consécutive de toute la chaîne alimentaire marine.
- l'affaiblissement du puits océanique de carbone, voire sa disparition (au delà de 800 à 1000 ppmv).

g) Affaiblissement ou disparition des puits de carbone

Au moins deux expériences de couplage entre évolution du climat et évolution des puits de carbone ont été faites. Le centre de modélisation britannique Hadley Centre, dont les modèles sont considérés comme étant parmi les plus avancés au monde, a récemment publié ses résultats.

Avec une hypothèse de départ d'émissions anthropiques conduisant à doubler en 2100 la concentration actuelle, la Simulation du Hadley Centre indique que les sols passent du stade de puits au stade de source vers 2050, le largage des sols vers l'atmosphère totalisant environ 200 Gt de carbone entre 2050 et 2100, conduisant la concentration à passer à 1000 ppmv en 2100, avec une augmentation de température supplémentaire de 3°C à cette échéance en ordre de grandeur (8 °C plutôt que 5).

L'expérience de l'IPSL (Institut Pierre Simon Laplace) aboutit à des conclusions similaires.

La raison en est que le changement climatique va accélérer la décomposition de l'humus sous l'action des bactéries, ce qui engendrera une augmentation des émissions des sols, et exercer un stress hydrique ou thermique sur les plantes, diminuant la photosynthèse.

Conclusion : Les sociétés humaines riches disposent de fortes capacités d'adaptation, pourtant de telles modifications climatiques et écosystémiques y conduiraient à des remises en cause majeure des fonctionnements actuels. A fortiori, les régions du globe qui disposent des ressources les plus réduites sont aussi celles dont les capacités

d'adaptation sont les plus faibles et sont donc les plus vulnérables. Parmi les conséquences de cette fragilité figurent des migrations massives vers les latitudes tempérées, mais aussi une exacerbation du sentiment d'abandon et d'exclusion de populations entières, qui constitue l'une des sources du terrorisme.

4. Tempêtes : pas de certitudes aujourd'hui, mais un renforcement vraisemblable demain

Un changement climatique entraînera-t-il une multiplication des tempêtes ? Cette question est une des plus incertaines pour la climatologie actuelle. Certes, la tempête qui a balayé la France en 1999, les inondations récentes dans la Somme en février 2001 laissent à penser que les désordres météorologiques s'accroissent. Or, la variabilité naturelle est grande et seule une longue série historique permettrait de trancher.

Ainsi, dans l'étude récemment publiée par l'Université East Anglia sur les effets du changement climatique sur l'Europe, les scientifiques écrivent : « *Il n'y a pas de tendance persistante dans le nombre et la sévérité des tempêtes* » au XX^{ème} siècle en Europe, même « *si la période allant de 1970 à aujourd'hui a vu une nette augmentation des tempêtes* ». Cependant, « *cette augmentation n'est pas identifiée comme un réchauffement climatique, mais est plus probablement une fonction de la variabilité naturelle* »³⁶.

Les modèles climatiques divergent en fait largement quand il s'agit de prévoir l'occurrence des tempêtes et autres cyclones à courte échéance. Le résumé pour les décideurs du GIEC est assez clair sur ce point : « *On dispose actuellement d'informations insuffisantes pour établir les tendances récentes, et la confiance dans les modèles est insuffisante pour faire des projections* »³⁷.

En revanche, les modèles convergent pour prévoir une intensité croissante des événements du type El Nino : il s'agit d'un phénomène caractérisé par un réchauffement anormal des eaux au centre et à l'est du pacifique, qui a des répercussions souvent violentes sur une bonne partie du globe. La tendance historique est là aussi difficile à faire ressortir même si El Nino de 1997 - 1998 a été le plus violent jamais enregistré. Pour Hervé Le Treut, du Laboratoire de météorologie dynamique de Paris, « *si la température moyenne augmente sous les tropiques, il est difficile de penser que les caractères du phénomène El Nino n'en seront pas affectés* »³⁸. En fait, les modèles actuels prévoient que les situations météorologiques inattendues aujourd'hui se feront de plus en plus fréquentes : ainsi, sans pouvoir affirmer par exemple que la tempête de décembre 1999 et les pluies exceptionnelles de 2000-2001 sont précisément dues au dérèglement climatique, la multiplication de tels épisodes sous nos latitudes est fournie par tous les modèles.

C'est un premier résultat, qui demande à être confirmé par un travail approfondi ; mais les résultats actuels indiquent quand même que le risque de voir davantage de

³⁶ Assessment of Potential Effects and adaptations for Climate Change in Europe, Summary and conclusions : A concerted Action towards a comprehensive climate impacts and adaptations assessment for the European Union ; University of East Anglia , 2000, p.24.

³⁷ Résumé à l'intention des Décideurs, Rapport spécial du groupe de travail I du GIEC (janvier 2001), p.15.

³⁸ « Coup de chaud sur la planète : Les dérèglements climatiques », Dossier *Le Monde*, édition Libro , 2001, p.52.

phénomènes extrêmes existe, sans que l'on puisse localiser les endroits qui seront plus particulièrement concernés ou quantifier cette augmentation.

a) Coût estimé du réchauffement climatique

Le Programme des Nations Unies pour le Développement indiquait en février 2001 qu'en l'absence de réduction d'émissions de gaz à effet de serre, la facture du réchauffement climatique pourrait atteindre 300 milliards de dollars par an dans cinquante ans, pour ce qui concerne les seuls dommages évaluables et assurables³⁹. Les désastres liés au climat coûteraient actuellement 40 milliards de dollars par an. Cette évaluation s'appuie sur une étude de Munich Re, société de réassurance allemande, sur les conséquences du réchauffement.

b) Stratégies assurancielles

Depuis environ une quinzaine d'années les organismes d'assurances s'inquiètent de variations de climat, et leurs inquiétudes se sont transformées en quasi-certitudes. Les stratégies assurancielles futures résulteront de trois exigences différentes : la première exigence est celle des assurés ou victimes qui demandent des indemnités rapides. Ces demandes ont conduit les pouvoirs publics français à intervenir assez fréquemment dans les processus d'indemnisation. Ces interventions se sont traduites par la mise en place de l'assurance des catastrophes naturelles en 1982, la généralisation de l'assurance tempête dans les garanties d'incendie en 1990 et la généralisation de cette même assurance à l'ensemble des contrats de dommage aux biens par la loi de décembre 2000.

Par ailleurs, les pouvoirs publics interviennent également dans les indemnités elles-mêmes. Par exemple, l'Etat a pris en charge les tempêtes de 1999 de manière exceptionnelle complétant les indemnités d'assurance.

Selon les simulations effectuées par la Fédération française des sociétés d'assurances (FFSA), les tempêtes et les inondations pourraient représenter en France, lors des cinquante prochaines années, un coût supplémentaire de 4.19 à 14.79 milliards d'euros pour les assureurs et leurs clients. Les tempêtes de décembre 1999 ont coûté en Europe 7,7 milliards d'euros aux assureurs⁴⁰.

Les Etats Unis et récemment les banques et assureurs européens (Chicago Mercantile Exchange aux EU, le Liffe et l'Eurex en Europe) ont commencé à proposer des contrats de produits dérivés climatiques⁴¹. Allianz aurait lancé déjà en 1999 des « obligations catastrophes »⁴².

³⁹ *La Tribune*, 5 février 2001.

⁴⁰ « La multiplication des désordres climatiques coûtera très cher aux assureurs », *Le Monde*, 13 décembre 2000.

⁴¹ « Les dérivés climatiques : remèdes aux risques d'assurance », *La Tribune*, 12 septembre 2001.

⁴² « Les protections contre les risques climatiques se multiplient », *La Tribune*, 23 novembre 2000.

Conclusion : un danger majeur : l'instabilité climatique

Malgré l'amélioration de la puissance des ordinateurs des météorologistes, le temps est chaotique et ne se laisse calculer que sur quelques jours ou au maximum deux semaines dans les périodes de stabilité.

L'augmentation constatée de la fréquence des catastrophes naturelles depuis vingt ans sous forme de cyclones, inondations et sécheresses, bien que le lien avec le réchauffement planétaire ne soit pas entièrement démontré, a contribué fortement à la prise de conscience de dangers potentiels de l'effet de serre.

Qui devrait réduire ses émissions en premier ?

Ce n'est pas nécessairement dans les régions de pollution ou d'émissions maximales que la réponse du système climatique sera la plus forte. La complexité de notre environnement global montre qu'en matière de pollution de l'atmosphère, les responsabilités de chaque pays se transmettent à l'échelle globale.

Aujourd'hui, les émissions par tête sont environ 10 fois moindres dans les pays en voie de développement que dans les pays développés (environ 0,4 tonnes de carbone par habitant et par an contre 3 dans les pays de l'OCDE). On serait donc tenté de dire que c'est aux pays industrialisés de commencer, d'autant qu'ils ont reconnu en 1992 dans la Convention Climat leur responsabilité prédominante dans la situation actuelle.

Mais une prolongation tendancielle de la situation actuelle donne la Chine comme plus gros émetteur global de gaz à effet de serre dans quelques décennies, devant les USA. Certains pays industrialisés (dont les USA, responsables à eux seuls de 25 % des émissions) sont donc tentés de dire que les pays industrialisés ne peuvent engager leurs réductions que lorsque les pays en voie de développement s'engageront à diminuer eux aussi leurs émissions avec des échéances fixées (ce qui n'est pas le cas).

Il est cependant évident que le monde « développé » devra donner l'exemple d'une réduction de grande ampleur de sa consommation énergétique, et le donner rapidement, compte tenu des délais de mise en œuvre : les pays dits « en voie de développement » n'ont que notre modèle et nos technologies à suivre...

Vitesse du changement climatique : S'il est possible de prévoir dans les grandes masses les effets du réchauffement planétaire et même d'en déduire que certaines régions pourraient en être bénéficiaires, les simulations effectuées demeurent imprécises sur un point clef : la vitesse de ces changements. Or la capacité d'adaptation des écosystèmes comme des sociétés humaines dépend fortement de ce rythme.

Comme le souligne Hervé le Treut⁴³, « *plus que l'amplitude des changements climatiques à venir (qui sont moins importants que ceux que la planète a pu connaître au moment des âges glaciaires par exemple), c'est la rapidité avec laquelle ils peuvent survenir qui constitue le facteur de risque majeur et qui impose que des mesures soient prises dès maintenant* ».

⁴³ Hervé Le Treut, « L'action de l'homme sur le climat », Texte de la 205^{ème} conférence de l'Université de tous les savoirs, 23 juillet 2000.

Surprises climatiques naturelles :

Il est arrivé, dans l'histoire des dernières dizaines de milliers d'années, que le climat connaisse de fortes discontinuités, en général liées à des débâcles glaciaires qui ont modifié toute la circulation océanique mondiale. Les températures ont pu varier de près d'une dizaine de degrés en quelques décennies, à l'échelle d'un hémisphère.

Or une augmentation forte des précipitations sur l'Atlantique Nord – jugée probable dans l'évolution en cours - produirait des effets un peu similaires à ceux d'une débâcle glaciaire.

Des « surprises climatiques » ne sont donc pas à exclure ; elles renforceraient considérablement les risques de toute nature.

II. LE CLIMAT SUR LA SCENE POLITIQUE ET JURIDIQUE

L'environnement en général et le changement climatique en particulier sont devenus des enjeux cruciaux pour notre société.

Alertés par les scientifiques, l'ensemble des pays de la planète a accepté le principe d'une réaction internationale face au risque du changement climatique. Mais en raison d'enjeux politiques, économiques et sociaux, la mise en place des actions nécessaires est longue et complexe. Les négociations mettront certainement des années à aboutir.

Comme le souligne Bruce Alberts, Président de la très prestigieuse National Academy of Sciences, « *la science ne détient pas toutes les réponses aux questions posées. La science sert par contre de guide pour l'avenir et il est indispensable que les pays du monde fondent leurs politiques sur les meilleurs jugements que celle-ci est en mesure de fournir concernant les conséquences de nos actions actuelles* »⁴⁴.

L'incertitude des expertises scientifiques offre à la sphère politique la chance non seulement de gérer mais surtout de proposer, d'inventer et d'agir. Cela passe par des choix qui ne seront pas toujours faciles à mettre en œuvre mais qui servent d'exemples pouvant être transposés pour l'avenir.

A. La diversité des acteurs

Les scientifiques, les économistes, les politiques et les représentants d'ONG s'affrontent sur le sujet du climat en plusieurs communautés opposées.

Il existe par exemple le camp mené par les compagnies pétrolières et charbonnières, rassemblé dans l'association Global Climate Coalition (GCC regroupe 230 000 entreprises américaines : électricité, pétrole, charbon, transports, etc). Son discours cherche à faire croire que le risque climatique n'est pas suffisamment avéré pour exiger des mesures, et qu'une réduction de la consommation énergétique freinerait fortement la croissance mondiale, toujours mesurée par le seul PIB malgré les biais et limites de plus en plus reconnues à cet indicateur (y compris par la Banque Mondiale).

Certains acteurs politiques craignent que les mesures prises pour lutter contre l'augmentation des gaz à effet de serre n'entraînent une récession et ne diminuent la compétitivité de leurs entreprises et de leur agriculture. Le Congrès américain s'est opposé ainsi quasi systématiquement à toutes les propositions de l'ex vice-président Al Gore, et à la ratification du protocole de Kyoto.

Ceux qui au contraire considèrent qu'il est nécessaire de prendre des mesures immédiates se composent de plusieurs communautés. On y trouve bien sûr les scientifiques qui ont permis la prise de conscience du danger de l'effet de serre. Une deuxième communauté considère que la technologie occidentale va bénéficier des contraintes et des initiatives imposées par l'effet de serre et que cette nouvelle technologie, plus propre et plus

⁴⁴ Climate Change Science : An analysis of some key questions, National Academy of Sciences, mai-juin 2001, p. 8.

économique, pourra être exportée vers les pays en voie de développement. Le lobby nucléaire est présent activement dans ce courant, mais aussi les instances internationales comme la Banque Mondiale ou l'OCDE qui y voient une incitation supplémentaire pour développer le commerce international par le biais du codéveloppement et du transfert de technologies.

Il y a finalement les associations et les ONG comme Global Chance, Greenpeace, Friends of the Earth, WWF, etc. qui sont regroupés dans le Climate Action Network (Réseau Action Climat) dont le but est d'assurer l'information et un lobbying efficace notamment lors des conférences internationales sur le climat.

B. L'utopie d'un consensus international

Les enjeux liés à la diminution des gaz à effet de serre opposent les nations entre elles. Plusieurs coalitions de pays aux intérêts disparates sont apparues lors des conférences internationales sur le climat qui se tiennent depuis une dizaine d'années. Les pays se divisent essentiellement en deux blocs : pays de l'OCDE d'une part, soumis à des objectifs de réduction du fait du taux important d'émissions de gaz à effet de serre ; pays en voie de développement (G77 + Chine) d'autre part, qui aujourd'hui ne sont tenus à aucun effort de réduction.

1. Les pays soumis à la limitation

Les émissions des pays riches représentent 75 % des émissions mondiales.

L'Union européenne, qui parle d'une seule voix lors des conférences (ce qui paradoxalement est souvent une faiblesse), s'est engagée fortement en faveur d'une réduction de ses émissions majoritairement par le moyen de politiques nationales et se trouve en opposition avec les Etats Unis. Cependant, à l'intérieur du camp européen se trouvent aussi des oppositions de stratégies entre des pays ayant choisi la production nucléaire d'électricité comme la France et des pays plus émetteurs (Pays Bas, Allemagne) qui ont cependant une plus grande conscience écologique dans leur culture et qui ont refusé les technologies nucléaires.

Le JUSCANNZ (Japon, USA, Suisse, Canada, Australie, Norvège et Nouvelle Zélande) regroupe les pays développés non-membres de la Communauté européenne. Ces pays se concertent régulièrement mais n'ont pas de position commune. Favorables à une mise en place de réductions dans le cadre souple d'un marché international de permis d'émission, ils demandent néanmoins aux gros émetteurs moins développés de participer aux engagements de limitations.

Les économies en transition comme la Russie ou l'Ukraine ont vu leurs émissions de CO₂ chuter de 30 % depuis 1990 à cause de l'effondrement de l'industrie. Ces pays espèrent tirer profit de la mise en place de permis négociables en vendant leurs droits d'émissions sur le futur marché international. Les ONG dénoncent la mise en marché de ces émissions disparues, baptisées « Hot air ». Le résultat serait un gain financier pour la

Russie sans aucun progrès concernant l'effet de serre, puisque permettant à d'autres Etats de différer leurs nécessaires réductions d'émissions.

2. Les pays en voie de développement

Les émissions des pays comme l'Inde ou la Chine sont en progression forte du fait de leur croissance démographique et de leur rythme d'industrialisation.

L'Argentine, le Brésil, l'Inde, l'Indonésie et la Russie sont responsables à eux seuls de 70 % des rejets de CO₂ des Etats ne faisant pas partie de l'OCDE⁴⁵.

Cependant, la pauvreté de certains de ces Etats ne leur donne ni les moyens politiques, ni les ressources financières ou techniques pour contrôler l'augmentation de leurs émissions. De plus ces pays demandent que les pays développés consentent les premiers efforts au titre de leurs responsabilités historiques et de leurs niveaux élevés de rejets par habitant autorisant davantage de marges de manœuvre.

C. Les conférences internationales sur le climat : de Rio 1992 à Marrakech 2001

1. La Convention Climat de Rio (1992)

La première conférence mondiale sur le climat eut lieu à Genève en février 1979. Pour la première fois, la communauté scientifique internationale mettait en garde les gouvernements contre les changements climatiques d'origine humaine. L'alerte fut ensuite donnée au niveau international à partir du camp américain, sur un fond de préoccupation géopolitique. A cette époque, plusieurs Etats du Middle West (l'électorat du président d'alors, G. Bush) souffraient d'une sécheresse chronique. En outre, les questions de dépendance énergétique (à terme) de la puissance américaine se trouvaient posées une fois de plus avec une certaine acuité parmi des membres du Congrès. Certains pouvaient, bien avant la guerre du Golfe, songer aux facteurs de déstabilisation politique et économiques des pays du Moyen Orient et douter de la pérennité du contrôle par l'empire américain de cette région sensible. En 1988, le GIEC (Groupe Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat, en anglais IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change) est mis en place afin de fournir un rapport de synthèse clair et objectif sur l'état des connaissances relatif au climat.

C'est au Sommet de la Terre à Rio de Janeiro en 1992 que s'est construit le processus international actuel de lutte contre l'effet de serre ; la Convention sur les changements climatiques sera adoptée par 175 Etats dont la Communauté européenne.

L'objectif de la Convention de Rio est défini dans l'article 2 « *stabiliser les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère à un niveau qui empêche toute perturbation*

⁴⁵ Conséquences scientifiques, juridiques et économiques du Protocole de Kyoto, rapport de l'Académie des Sciences, n°45, novembre 2000, p. 25.

anthropique dangereuse du système climatique ». Ce faisant, les pays industrialisés ont admis d'une part leur responsabilité dans le dérèglement climatique et d'autre part accepté de ramener en l'an 2000 leurs émissions au niveau de celles de 1990 et d'aider financièrement les pays en voie de développement pour compenser les coûts des actions.

Les signataires se regroupent en deux groupes : ceux qui prennent dès à présent des engagements pour réduire leurs émissions de gaz à effet de serre, dits pays de l'annexe I (pays développés et majorité des anciens pays de l'est) et les autres pays, dits de l'annexe 2, qui ne sont pas prêts à s'engager dans la réduction de leurs émissions (essentiellement des pays en voie de développement).

La convention stipule que les pays signataires se réuniront régulièrement pour tenter de coordonner leurs actions. Ces rencontres périodiques portent le nom de *Conférence of the Parties* (COP). Pendant ces COP, les représentants des gouvernements négocient les objectifs à atteindre et les moyens à mettre en œuvre.

2. Le protocole de Kyoto de 1997

Lors d'une première conférence des parties à Berlin en avril 1995, les Etats ont estimé que les engagements de Rio n'étaient pas directement applicables, et ont décidé que lors de sa troisième réunion à Kyoto, la conférence des parties adopterait un protocole par lequel les pays développés s'engageraient non plus sur une stabilisation des émissions, mais sur des objectifs quantifiés et calendriers de réduction des rejets, à des échéances telles que 2005, 2010 et 2020. La seconde conférence de Genève en juillet 1996 a prévu que ces objectifs seraient juridiquement contraignants.

La conférence de Kyoto a abouti à l'adoption d'un protocole le 10 décembre 1997, qui prévoit de commencer à réduire les émissions de gaz à effet de serre. Le taux moyen de réduction consenti pour les principaux pays industrialisés est de - 5,2 % des émissions par rapport à leur niveau de 1990. Ces objectifs deviendront des engagements juridiques contraignants dès que 55 Etats représentant 55 % des émissions de gaz à effet de serre l'auront ratifié.

Conformément à ce qui fut défini à Rio, les pays en développement sont exemptés de tels efforts dans une première phase. En définitive, l'objectif de réduction est modeste et ne fait que retarder la survenue des problèmes potentiels : - 5,2 % de réduction des émissions en moyenne pour l'ensemble des pays industrialisés dont - 6 % pour le Canada et le Japon, - 7 % pour les USA et - 8 % pour l'Union européenne. La Russie et l'Ukraine obtinrent une stabilisation de leurs émissions alors que l'effondrement de leur industrie les mettait en mesure de les réduire de 30 %.

Cependant, depuis Kyoto, les pays signataires ont très majoritairement augmenté leurs émissions, sauf les pays de l'Est qui ont connu une période de récession.

D'autre part, simultanément aux quotas de réduction, un groupe de pays conduit par les Etats Unis fit admettre la nécessité d'un recours à des « instruments de flexibilité », tels que les permis d'émission, les mises en œuvre conjointes et mécanismes de développement propre. Mais aucun accord n'avait été trouvé jusqu'à présent sur la

définition des mécanismes de contrôle d'émissions, sur les sanctions éventuelles et sur la mise en place pratique des permis négociables.

- Effectivement, comme le rapporte Jean-Charles Hourcade, les négociations furent une succession de malentendus sur le fond. Alors que les Américains furent les premiers intéressés dans ce dossier, à partir de 1991 (guerre du Golfe), le président Bush (père) se désengage du dossier sur le réchauffement climatique, dans la mesure où ce dernier lui devient moins utile politiquement. Mais, en parallèle, la question est reprise en main, d'une part par les ONG (Organisations non gouvernementales), fort puissantes aux Etats Unis et dans les pays anglo-saxons, et d'autre part par les Etats européens.
- L'Europe, à partir de 1992, demande la mise en place d'une taxe carbone – énergie, contre laquelle les groupements industriels (y compris les groupes de pression pro-nucléaires) exercent un lobbying actif. A Kyoto, l'OCDE, appuyée en cela par l'Europe, demande la stabilisation à l'horizon 2000 des émissions de carbone des grandes puissances à un niveau équivalent à celui de 1992. Cette conférence met sur la place publique (et dans les médias) la question des quotas d'émission (chaque puissance, quel que soit son niveau de développement, se voit attribuer un quota fixe).
- A partir du début des années 1990, la diplomatie « télévisuelle », les enjeux géopolitiques entre camp américain et camp européen compliquent fortement le débat. A la conférence de Berlin en 1994 (mandat Clinton), les Etats Unis se déclarent pour les quotas (pourtant fixes, donc contraignants) et contre le principe des taxes. Au contraire, l'Allemagne, puissance montante de l'Europe, travaille à ce moment sur le principe d'accords volontaires entre groupes industriels et Etat. Cependant, la réunion de Berlin s'achève sur la décision, en réalité intenable, d'engagements contraignants de chacun des Etats sous forme de quotas de rejets de carbone.
- Plusieurs fronts politiques se dessinent avec netteté dans les négociations internationales sur le réchauffement climatique à partir de la fin des années 1990. L'un de ces fronts oppose les Etats-Unis et l'Europe, le second, de plus en plus prégnant, oppose les pays du Nord aux pays du Sud. La question la plus sensible devient celle des permis d'émission négociables, qui attirent des invectives des associations citoyennes et des incompréhensions de la part de nombreux industriels.

A partir de la conférence de Kyoto en 1997, chaque pays obtient un droit à émettre une certaine quantité de carbone (la France obtient par exemple le chiffre de 100 tonnes par an). Un marché des droits à polluer se développe de manière concurrente, et encore floue, au niveau des Etats (selon les critères de Kyoto, la tonne de carbone doit se négocier entre 100 et 380\$ la tonne), mais aussi entre les entreprises. Notons qu'à Marrakech, alors que les perspectives d'un marché concret se dessinent, il est plutôt question de 35\$ la tonne...

En novembre 2000, à La conférence de La Haye, les Etats échouèrent à fixer les règles d'application du protocole de Kyoto.

Après l'échec de la première partie de la 6^{ème} conférence des parties à La Haye, et malgré le retrait des États-Unis du Protocole de Kyoto, les parties sont parvenues à dégager un accord politique en juillet 2001 lors de la deuxième partie de la conférence à Bonn. L'Accord de Bonn, qui figure dans la décision 5/CP.6, devait notamment permettre :

- le bouclage à COP7 du programme d'action de Buenos Aires, par la traduction en textes juridiques de l'Accord politique, notamment concernant les règles de fonctionnement des mécanismes de flexibilité, du système d'observance et de l'utilisation des puits dans le Protocole, ainsi que les questions de relations avec les pays en développement
- l'engagement du processus de ratification, en s'assurant de pouvoir réunir les 55% d'émissions des pays industrialisés nécessaires pour permettre l'entrée en vigueur du Protocole de Kyoto, avec l'objectif du sommet mondial sur le développement durable à Johannesburg en 2002 (RIO + 10)
- sans interdire bien sûr le retour éventuel des États-Unis à une date ultérieure
- et surtout, en préservant le caractère légitime du Protocole malgré la contestation de certaines parties.

3. Les accords de Marrakech : octobre 2001

A l'heure où ce rapport est rédigé, la 7^{ème} conférence des parties vient de s'achever à Marrakech. Après l'accord politique conclu à Bonn en juillet 2001, la conférence de Marrakech a permis de réaffirmer la solidarité européenne concernant la mise en œuvre du protocole de Kyoto.

Il est fort à parier que ce protocole sera ratifié d'ici au sommet mondial du développement durable qui se tiendra à Johannesburg en septembre 2002, dix ans après le sommet de la Terre de Rio. On peut en effet escompter que la Russie et le Japon, à l'exemple de l'Union européenne, ratifieront le protocole comme ils s'y sont engagés après avoir obtenu pour ce faire de fortes concessions de la part de l'U.E.

Cet accord de Marrakech définit principalement le calcul des émissions et leurs réductions, l'intégration des puits dans les objectifs de réduction, les modalités et missions du système d'observance et les règles d'éligibilité des mécanismes.

Cependant, quelques concessions ont dû être consenties, notamment à la Russie sur un doublement de son quota de puits de carbone. Néanmoins l'unité de l'Union européenne avec le soutien des pays en développement, a permis d'obtenir que soit préservée l'intégralité environnementale du protocole, grâce en particulier, à la mise en

place d'un système d'observance, dont le strict respect constituera une condition d'éligibilité aux mécanismes, et notamment le marché des permis d'émission.

Ce système d'observance qui sera régi par un comité ad hoc, constitue une première en matière d'environnement international. Il doit servir d'exemple et de modèle aux autres accords multilatéraux pour l'environnement, existants ou en préparation et favoriser la gouvernance internationale de l'environnement.

Les règles arrêtées à Marrakech prévoient aussi des moyens techniques et financiers importants en faveur des pays en développement.

Conclusion : La limitation des émissions de gaz à effet de serre implique des efforts de très longue durée, pour les pays industrialisés comme pour les pays en voie de développement, pour les citoyens comme pour les entreprises et les gouvernements. Cela pose notamment toute une série de questions, en particulier dans le domaine de l'énergie. Quelles solutions concrètes peut-on mettre en œuvre alors que les diverses parties du monde ne seront pas affectées de la même façon par les dommages prévisibles et les choix opérés ?

III. LES MARGES DE MANOEUVRE POUR FAIRE FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Le réchauffement climatique implique tous les aspects de la vie humaine et plus particulièrement nos modes de production et d'utilisation de l'énergie. Si l'expertise technico-scientifique est nécessaire, elle ne peut se substituer aux politiques et aux citoyens auxquels reviennent les décisions.

Comment réconcilier sur la durée, grâce aux progrès techniques et aux changements sociétaux, l'humanité et le climat ?

A quel niveau doit-on limiter nos émissions ? Est-il possible de diminuer autant qu'il semble nécessaire la consommation énergétique sans toucher à la qualité de la vie et à la croissance économique ? La technique suffit-elle à diminuer les émissions de gaz à effet de serre sans une évolution concomitante des mentalités et des modes de consommations ?

A. Energie et climat : de quelles marges de manœuvre dispose-t-on ?

Sur le plan socio-politique, la nécessité d'assurer une transition entre les énergies fossiles par définition épuisables, et des sources d'énergie plus durables ou renouvelables est de plus en plus prise en compte. L'impact des productions et consommations d'énergie sur l'évolution climatique devient une considération majeure. Les engagements de maîtrise des émissions des gaz à effet de serre pris à la conférence de Kyoto s'imposent à l'Union européenne comme à chacun de ses Etats membres. Et même si les Etats-Unis se sont aujourd'hui retirés du protocole, leur forte dépendance économique à l'égard du pétrole importé reste une vulnérabilité déterminante, reconnue depuis longtemps par leurs gouvernants successifs (cf. ci-dessus).

Sur le plan scientifique et technologique de nouvelles possibilités se font jour, dans la collecte, la conversion, le stockage et l'utilisation rationnelle des énergies. Des perspectives plus larges s'ouvrent aux énergies renouvelables.

1. Energies : les différentes sources disponibles

Les sources d'énergie disponibles sont nombreuses ; leur prix (largement influencé par les politiques publiques et les jeux géopolitiques) et leur disponibilité varient dans de larges proportions.

Il existe en premier lieu les combustibles fossiles (charbon, pétrole, gaz) qui ont entre autres les inconvénients d'être épuisables et de dégager du CO₂ jusque là stocké dans le sol en brûlant.

Une deuxième source d'énergie est la fission de l'uranium (nucléaire), très minoritaire au plan mondial par rapport aux précédentes.

Finalement, on peut avoir recours aux énergies renouvelables, qui par définition pourront être utilisées tant que durera notre planète.

a) Les énergies fossiles

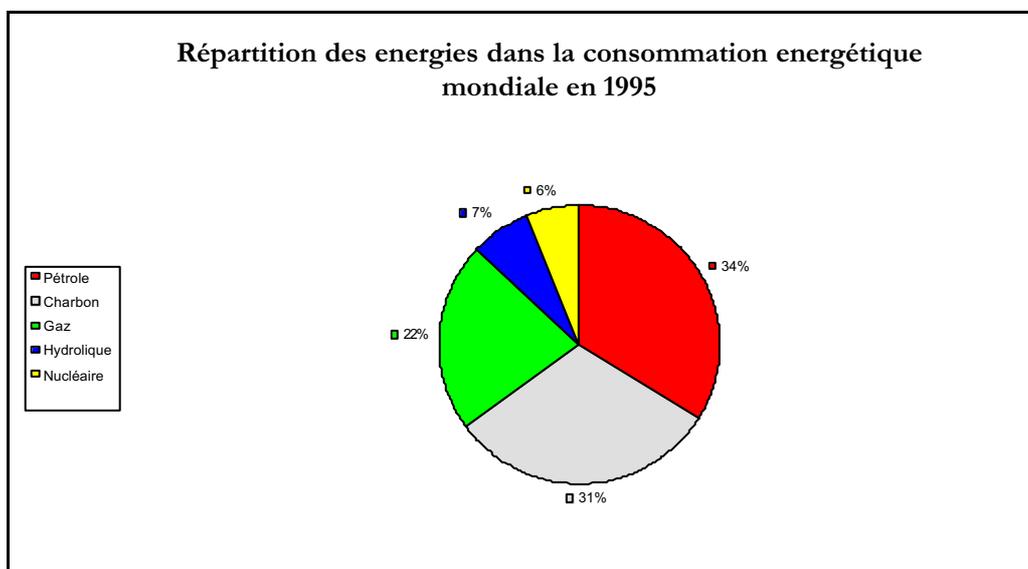
L'énergie dans le monde est dominée par les énergies fossiles (charbon, pétrole, gaz). En 1995, ces dernières représentaient encore 87 % de la consommation mondiale.

Pour la production d'électricité, la part des énergies fossiles descend à 64 %.

Alors que l'Europe avait réduit la part fossile de sa consommation en passant de 86 % en 1973 à 80 % en 1995, on s'attend à ce que sa dépendance vis à vis de ceux-ci augmente au cours des prochaines décennies, et ce essentiellement du fait des transports, comme l'a souligné en 1999 la Commissaire à l'Energie et aux Transports, Mme Loyola de Palacio.

Le développement du secteur nucléaire pour la fourniture d'électricité confère à la France une situation particulière dans le monde, mais bien que les énergies fossiles n'y assurent que 10 % de la production d'électricité en 2000, elles représentent quand même 59 % de la consommation énergétique totale : même en France, les combustibles fossiles pèsent lourd, notamment du fait des transports (60 % du pétrole utilisé en France, dont 80 % pour la route) qui en sont quasi totalement dépendants.

Figure 11



Source : CEA

b) De combien de réserves disposons-nous actuellement ?

Si la croissance mondiale annuelle de la consommation d'énergie est de 2 %, d'après les chercheurs, nous disposons encore d'au moins 40 ans de réserves prouvées de pétrole⁴⁶.

En outre il existe des « réserves ultimes » (hydrocarbures de moins bonne qualité, dont l'exploitation est plus onéreuse : schistes bitumineux, sables asphaltiques) prouvées qui représentent des quantités supplémentaires à peu près équivalentes à 40 ans de consommation elles aussi. Néanmoins leur rendement énergétique est très inférieur car leur transformation en hydrocarbures utilisables requiert plus d'énergie que l'extraction et le raffinage des pétroles conventionnels.

En matière de gaz, les réserves seraient de plus de 60 ans de gaz (les estimations varient de 65 à 100 ans). Le gaz s'avère moins agressif écologiquement que le pétrole car il émet un tiers de gaz à effet de serre en moins par unité d'énergie. De plus son usage comme combustible dégage moins de polluants locaux (SO₂, particules). En revanche, le pouvoir radiatif du méthane étant 35 fois plus élevé que celui du CO₂, les fuites ont un effet supérieur sur le réchauffement de l'atmosphère.

En ce qui concerne le charbon, nous disposerions de plus de deux siècles de réserves ; mais le charbon est le plus polluant des combustibles fossiles. En France, les sites miniers restants (Lorraine, Bourgogne, Gard, Aveyron et Bouches du Rhône) devraient fermer d'ici 2005. Par contre, d'autres pays comme la Chine ou l'Australie sont encore massivement dépendants du charbon.

Nous ne pouvons donc pas compter sur une raréfaction très rapide des ressources fossiles pour limiter nos émissions à court terme : les réserves permettent théoriquement à la consommation mondiale de carburants fossiles de croître de 3 % par an pendant tout le XXI^{ème} siècle.

RESERVES MONDIALES EN COMBUSTIBLES FOSSILES					
		RESERVES PROUVEES RECUPERABLES (Gtep) (fin 1995)		PRODUCTION (Mtep) 1995	RATIO R/P
PETROLE		138		3 252	43 ANS →
GAZ		126		1 908	66 ANS →
CHARBON		540		2 295	243 ANS →

SOURCE : C.M.E.

Figure 3: Les estimations des réserves de combustibles fossiles font toujours l'objet de grands débats. Les chiffres indiqués ici doivent être pris comme des ordres de grandeur. Ils montrent seulement que les combustibles fossiles sont rapidement épuisables à l'échelle de vie de la terre qui disparaîtra dans 5 milliards d'années, engloutie par le soleil.

⁴⁶ <http://www.manicore.com> : site de Jean-Marc Jancovici.

2. Peut-on stocker le gaz carbonique ?

Des études techniques sont entreprises afin de liquéfier le gaz carbonique directement à la sortie des usines puis de l'envoyer par tuyaux afin de le stocker soit sous terre soit au fond des océans à plus de 1500 mètres de profondeur.

Des projets de ce type sont expérimentés en Norvège et au Texas. Cependant, outre le coût prohibitif de certains de ces traitements, le danger potentiel est énorme si ces poches de CO₂ se libéraient accidentellement. (A titre d'exemple nous pourrions citer la catastrophe naturelle du lac Nyos au Cameroun en 1986 où une poche de gaz était remontée brutalement du fond du lac faisant 1700 victimes).

Le stockage du carbone se heurte de plus à de fortes limites. Injecter le CO₂ sous-terre induit une surconsommation d'énergie de l'ordre de 30 % à usage identique. Ce procédé n'est envisageable que pour des sources très importantes (centrales à charbon, aciéries, etc) soit au plus un tiers des émissions mondiales de CO₂ (donc 15 % des émissions de gaz à effet de serre. Si l'on injecte du CO₂ dans le fond de l'océan, l'opération pourrait également être risquée car en se dissolvant, ce gaz risque de se transformer en bicarbonates, provoquant une acidification de l'eau susceptible de dissoudre des sédiments calcaires et donc d'injecter plus de carbone dans le cycle naturel⁴⁷. D'autre part, cette injection de CO₂ au fond de l'océan pourrait avoir un impact sur la faune marine, particulièrement sensible au moindre changement d'acidité⁴⁸.

Finalement, si limiter la déforestation est souhaitable, on peut douter de l'efficacité finale de certaines expériences menées par des Etats ou des entreprises pour éliminer le surplus de CO₂ humain, soit en termes d'ampleur, soit même en termes de pertinence scientifique

En effet, planter des arbres n'équivaut pas forcément à créer un puits de carbone, car tout dépend de la végétation préexistante et du type de sol. En ce qui concerne cette possibilité, le piégeage effectif n'existe par exemple que si l'on convertit une terre agricole en forêt. La conversion d'une prairie en forêt n'amène cependant aucun piégeage car en zone tempérée, un sol de prairie contient plus de carbone, en moyenne, qu'un sol de forêt, ce qui compense, et au-delà, la différence de stockage dans la partie aérienne des plantes⁴⁹.

Actuellement, l'ONU, en charge de la Convention-cadre sur les changements climatiques suit une quinzaine de projets forestiers expérimentaux parmi lesquels un programme financé par Peugeot Citroën à Mato Grosso en Amazonie⁵⁰. La plupart portent sur la conservation de forêts menacées de disparition. L'américain General Motors aurait engagé 10 millions de dollars pour sauver l'un des derniers sites de la forêt atlantique du Brésil. Peugeot a la particularité de s'attaquer directement au reboisement en Amazonie, où 1 à 3 millions d'hectares de forêt disparaissent chaque année.

⁴⁷ Hervé Le Treut et al., *Effet de serre : allons-nous changer le climat ?*, Flammarion, 2001, p. 92.

⁴⁸ « L'océan n'est pas une poubelle idéale pour le gaz carbonique », *Le Monde*, 7 novembre 2001.

⁴⁹ Compte rendu de l'Institut Montaigne, « Energie et Climat : risques et marges de manœuvres », 16 octobre 2001.

⁵⁰ « La forêt au secours du climat : contre l'effet de serre, Peugeot investit en Amazonie », *Les Echos*, 6 novembre 2001.

3. La part des énergies renouvelables

Un intérêt renouvelé en France, mais de plus longue date dans d'autres Etats, se manifeste actuellement pour les énergies à priori inépuisables et perturbant moins l'environnement que les énergies fossiles. Leur avantage pour le problème qui nous occupe réside dans l'absence d'émissions de gaz à effet de serre pendant leur utilisation. Cependant, leurs inconvénients demeurent nombreux : ces énergies renouvelables ne sont pas toujours disponibles et pour la plupart ne sont pas encore compétitives dans le régime de prix actuel. Il faut conserver à l'esprit que les prix des énergies, relatifs et absolus, sont largement le produit de politiques publiques.

En revanche, elles offrent déjà des sources complémentaires d'énergie décentralisées. Certains estiment que pour la France les énergies renouvelables pourraient représenter, à l'échéance de 50 ans, environ 20 % de la consommation actuelle d'énergie.

La contribution des énergies renouvelables est aujourd'hui minoritaire pour les pays développés, mais essentielle pour les pays en voie de développement et dans les zones à faible densité de population.

a) L'hydraulique

Première source d'électricité en France en 1960, l'énergie hydraulique n'en représentait plus que 14 % en 2000.

Le prix de son Kwh n'en reste pas moins particulièrement bas (moins de 15 centimes au KWh), une fois l'investissement réalisé (ce qui pose la question du renouvellement des barrages). Elle a un fort potentiel en Asie, en Amérique du sud et dans l'ex-Union soviétique. Néanmoins elle n'est pas dépourvue d'effets environnementaux négatifs potentiels, environnementaux, économiques ou sociaux (méthylmercure de Petit Saut en Guyane, ennoyages massifs du barrage des Trois Gorges, effets du barrage d'Assouan sur la fertilisation de la plaine du Nil et la productivité halieutique du delta par exemple).

b) Le solaire

La terre reçoit du soleil une puissance totale de 170 000 TW, soit au niveau des seuls continents plus de 2500 fois la consommation totale d'électricité.

Le solaire peut être utilisé sous forme thermique ou photovoltaïque pour produire de l'électricité. Le photovoltaïque est intéressant pour un habitat dispersé non équipé d'un réseau ou pour des sites isolés. Il s'avère beaucoup trop cher aujourd'hui pour produire de l'électricité de manière massive dans un pays comme la France. En effet le kWh obtenu est environ dix fois plus onéreux que le kWh standard actuel (pétrole, nucléaire et gaz)⁵¹.

⁵¹ « Clefs : Nouvelles technologies de l'énergie », CEA, hiver 2000-2001, p. 8.

C'est cependant déjà une énergie intéressante pour des populations dispersées et peu consommatrices ; là elle s'avère compétitive et souvent meilleur marché que les solutions actuelles (piles, groupes électrogènes).

Selon Christian Ngo⁵², des progrès sont à réaliser au niveau de la cellule et de la batterie. Le CNRS travaille actuellement sur des cellules photovoltaïques plastiques avec un rendement plus élevé qu'aujourd'hui. Dans cette perspective, les soutiens aux énergies renouvelables doivent être accrus.

L'économie d'énergie passe aussi par un meilleur aménagement du territoire, car certains choix par exemple urbanistiques induisent davantage de transports de biens et de personnes que d'autres (cf. plus loin).

c) L'éolien

L'éolien est, mis à part l'hydraulique, l'énergie renouvelable aujourd'hui la moins chère, même si le prix du kWh reste deux à trois fois supérieur à celui du kWh conventionnel.

Face aux 8 500 MW aujourd'hui installés dans l'Union européenne, dont 4 400 MW en Allemagne, 1 800 MW au Danemark (3 % de ses consommations) et 1 500 MW en Espagne, la France présente un retard important avec seulement 22 MW fin 1999. Son programme EOLE 2005 vise l'installation de 500 MW d'ici 2010⁵³.

La puissance obtenue est proportionnelle au cube de la vitesse du vent ; aussi la puissance délivrée n'est-elle qu'une partie de la puissance installée. Pour fixer les idées, il faudrait entre 250 000 et 300 000 éoliennes de 750 kW pour remplacer le parc nucléaire français (58 réacteurs). Les éoliennes en cours d'installation en France, dont EDF rachète la production à un tarif préférentiel, coûteront en 2010 environ 4 milliards de francs à la collectivité (C. Ngo).

Les éoliennes peuvent être placées en mer (offshore) où les vents sont plus forts et réguliers. Cependant leurs inconvénients restent importants : surface occupée et nuisances visuelles et sonores.

Selon Jean-Marc Jancovici, l'éolienne peut être une source d'énergie significative en base à condition d'accepter une dégradation du paysage (pour avoir une production d'énergie de l'ordre de celle que nous réalisons actuellement, il faudrait couvrir 20 à 30 % du territoire français d'éoliennes). Surtout, une production éolienne significative en base impose de construire en parallèle d'autres centrales thermiques (charbon, gaz ou fioul) pour produire les jours sans vent.

⁵² Compte rendu de l'Institut Montaigne, « Energie et Climat : risques et marges de manœuvres », 16 octobre 2001.

⁵³ Prospectus du Syndicat des Energies renouvelables, avril 2000.

d) Le nucléaire

La consommation électrique annuelle française, qui était de 171 TWh en 1973, est passée à 441 TWh en 2000. C'est pour répondre aux chocs pétroliers des années 70 et 80 que la France a développé, dans un souci d'indépendance énergétique, l'électronucléaire. D'autres pays ont choisi des stratégies différentes : ainsi l'Allemagne a privilégié une croissance industrielle fortement exportatrice pour financer les à-coups du pétrole, un investissement de recherche dans le solaire thermique, et des économies d'énergie.

Le nucléaire comme les énergies renouvelables ne produit pas, en fonctionnement, de gaz à effet de serre. Ainsi, les 34 % d'électricité produits par le nucléaire en Europe permettent d'éviter de rejeter une quantité de gaz carbonique dans l'atmosphère égale à l'ensemble de ce qui est émis par le parc automobile européen (environ 200 millions de véhicules)⁵⁴.

Dans ce contexte la France est aujourd'hui dans une situation privilégiée car son énergie nucléaire est bon marché (centrales amorties). A court terme, si la France sortait du nucléaire, elle doublerait sa production de gaz à effet de serre et doublerait ou triplerait le coût du Kwh⁵⁵. Mais, autre versant du problème, la pérennisation de la part du nucléaire dans notre consommation électrique pose la question du coût du renouvellement des centrales d'ici une dizaine d'années.

Si les partisans du nucléaire dans les pays utilisateurs peuvent se vanter de l'absence de pollution atmosphérique, de la rareté des accidents et des fuites radioactives, ses détracteurs mettent en avant le risque d'accident majeur, le stockage non résolu des déchets à longue durée de vie et le risque de détournement vers des utilisations militaires (prolifération).

Actuellement, la France utilise des réacteurs à neutrons lents. Par cette méthode très peu d'énergie est extraite du combustible (0,5 %). Des techniques plus performantes seraient nécessaires.

Pour cela, les réacteurs du futur devraient satisfaire plusieurs conditions : fournir un kWh compétitif par rapport aux autres sources d'énergie ; être encore plus sûrs ; être capables d'extraire un maximum d'énergie du combustible tout en produisant un minimum de déchets ; brûler une partie des déchets de la génération précédente ; enfin, minimiser les risques de prolifération.

Une voie possible selon Christian Ngo, est un réacteur rapide à gaz fonctionnant à haute température. Les derniers réacteurs N4 d'EDF, d'une puissance électrique de 1400 MW, sont prévus pour fonctionner 40 ans. À ce terme, il restera 7000 tonnes d'uranium appauvri résultant de la fabrication du combustible enrichi, 1000 tonnes d'uranium de retraitement et 11 tonnes de plutonium. Ces matières, qui sont des résidus pour les réacteurs actuels (sauf le plutonium) permettraient théoriquement de faire fonctionner les

⁵⁴ Commissariat à l'Énergie Atomique, Perspectives énergétiques, Christian Ngo.

⁵⁵ Jacques Hamon, « Implications de la prochaine crise de l'énergie pour l'occupation et l'exploitation des sols en France », Ingénierie de la Vie (La revue des ingénieurs de l'INA), février 2001.

futurs réacteurs recherchés pendant 8000 ans au lieu de 40 ans⁵⁶ (sans prise en compte bien entendu du vieillissement des enceintes et systèmes de sécurité).

L'utilisation de l'énergie nucléaire est raisonnablement concevable pour des Etats suffisamment riches et politiquement stables, ayant une bonne culture de la sécurité et ne se trouvant pas dans des zones à risque naturel majeur (tremblements de terre violents ou éruptions volcaniques par exemple). Sa généralisation planétaire, même pour la seule production électrique, reste donc théorique.

En tout état de cause, il est clair qu'aucune source d'énergie ne doit être considérée comme « la » solution miracle unique.

e) L'hydrogène : vecteur énergétique du futur ?

Un vecteur énergétique complémentaire pourrait être l'hydrogène.

L'hydrogène est l'élément le plus abondant de notre planète, où il existe essentiellement sous forme d'eau. Il présente une densité massique d'énergie plus élevée que les combustibles fossiles, même si sa densité d'énergie volumique est plus faible. Il permet de stocker et de distribuer l'énergie (en choisissant des formes chimiques stables), et donc d'ajuster l'offre et la demande, tout en étant peu polluant puisque sa combustion produit de l'eau. Ceci étant, les analyses de cycle de vie réalisées depuis plus de dix ans par divers pays montrent que le résultat en termes de gaz à effet de serre peut être pire que celui des combustibles fossiles en fonction des circuits de production envisagés et des rendements énergétiques successifs de la chaîne.

En effet, l'hydrogène n'est pas directement disponible : il faut le produire à partir de l'eau, ce qui consomme de l'énergie. Bien sûr, l'hydrogène est, aujourd'hui beaucoup plus cher que le pétrole. Outre une infrastructure sûre pour le stocker, le transporter et le distribuer, il faudra inventer des dispositifs assurant son utilisation en toute sécurité, pour le consommateur et pour l'environnement : ainsi, pour tenir dans un réservoir de 36 litres avec une autonomie de 300 km, les 3 kg d'hydrogène nécessaires doivent être comprimés à 700 atmosphères, ce qui constitue aussi un risque.

Figure 13

Emissions de gaz à effet de serre liées à la productivité d'électricité (construction comprise)

Energie primaire utilisée	GRAMMES D'EQUIVALENT CARBONE PAR KWH ELECTRIQUE
Charbon	220 à 280
Cycle combiné à gaz	120
Nucléaire	2
Hydraulique	1
Biomasse bois (sans replantation)	410
Solaire photovoltaïque	16 à 41
Eolien	1 à 6

Source : Jean-Pierre Bourdier, *La Jaune et La Rouge*, mai 2000.

⁵⁶ Compte rendu de l'Institut Montaigne, « Energie et climat : risques et marges de manœuvres », 16 octobre 2001.

4. Le miracle technologique existe-t-il ?

Soulignons d'abord que les données précédentes ne portent que sur la fourniture d'énergies. Les réflexions sur la réduction des besoins énergétiques avancent de façon beaucoup moins systématique et générale, sauf peut-être justement en matière de procédés industriels.

Il est aujourd'hui manifestement impossible de tout miser sur les solutions technologiques en offre énergétique, sans revoir notre organisation sociale et notre mode de vie. C'est dire que l'avenir de notre climat dépendra étroitement de choix de société.

Il faut se méfier des solutions miracles censées nous éviter le cataclysme d'un coup de baguette magique. L'énergie nucléaire n'est certainement pas la solution universelle qui permettra de tout résoudre. Elle pourra certes continuer à satisfaire une partie des besoins mais avec les risques et les limitations qu'on lui connaît. Les énergies renouvelables ne représentent potentiellement qu'une part minoritaire (difficultés du fonctionnement en demi-base par exemple) de notre consommation énergétique actuelle. L'hydrogène, souvent mis en avant actuellement, a déjà montré ses limites.

Réduire mondialement le problème de l'effet de serre passe indubitablement par une réduction forte de nos demandes énergétiques, c'est-à-dire par une multitude de décisions, de réglementations, d'incitations, d'actions individuelles et collectives qui concernent l'ensemble des activités humaines.

5. Instruments économiques et réglementaires : quelle efficacité ?

Quoi qu'il advienne, de nouveaux instruments économiques devront être mis en place afin d'appliquer le Protocole de Kyoto et de permettre la réduction drastique de gaz indispensable à l'atténuation du dérèglement climatique en cours (rappelons qu'il s'agit d'une réduction de moitié en trente ans des émissions de la planète, soit une division par 5 de celles des pays industrialisés). Ces instruments dits complémentaires aux mesures nationales suscitent de nombreux débats.

a) Taxation des émissions

La taxation des émissions de gaz à effet de serre est un moyen simple, souple et efficace de réduire les émissions de gaz à effet de serre, sans doute plus commode et prévisible que les permis négociables comme le soulignent des économistes (même américains) de plus en plus nombreux. Cependant, cette méthode reste susceptible d'entraîner des perturbations économiques ainsi que des distorsions de concurrence entre pays en l'absence de coordination internationale sérieuse.

On constate en effet que la consommation d'énergie est influencée par les prix finaux. Si à court terme, cette influence est faible en raison des rigidités liées aux

comportements, à plus long terme, elle joue un rôle fondamental dans le choix des formes d'énergie, en particulier lors des renouvellements des équipements et des infrastructures.

Bien entendu, une taxe implique une coordination entre Etats de manière à éviter des distorsions qui auraient des conséquences économiques fâcheuses en faussant l'équilibre compétitif. Dans l'Union européenne, la cohérence entre les mesures envisagées par les divers Etats est fondamentale, notamment en ce qui concerne les contraintes qu'elles comporteront⁵⁷.

b) Les mécanismes de projets : mise en œuvre conjointe et développement propre

La mise en œuvre conjointe (MOC) permet à deux Etats ayant tous deux des engagements de réduction de leurs GES au titre du protocole de Kyoto (Annexe B, aujourd'hui excluant les USA) de convenir d'un objectif de réduction global, qu'ils atteignent par cofinancement d'investissements destinés à réduire les émissions de CO₂. Les Etats se partagent les bénéfices en termes de carbone de l'opération par accord entre eux.

Le mécanisme de développement propre (MDP) autorise un pays de l'Annexe 1 de la Convention (pays industrialisés, USA inclus) à financer dans un Etat non Annexe B (donc dépourvu d'engagement de réduction et d'inventaires fiables) des investissements de développement plus économes en énergie et en CO₂ ou à stocker du carbone (reboisement ou développement de prairies sur des terres agricoles). Les bénéfices de l'opération en termes de crédits de CO₂ reviennent ensuite à l'investisseur dans l'état actuel des textes. L'intérêt est ici aussi pour celui qui s'engage, d'obtenir des crédits d'émissions de façon moins onéreuse qu'en finançant des mesures de réduction domestiques. Celui qui bénéficie de l'investissement y gagne une dépendance énergétique réduite pour un même gain de PIB.

Si les pays en développement comptent sur ces investissements pour bénéficier de transferts de technologies, il n'y a en revanche pas de définition précise sur ce que serait une technologie « propre ». Le décompte en carbone économisé de ces opérations repose sur la définition d'un scénario de référence pour chaque opération, qui décrit ce qui se serait produit pour cet investissement sans prise en compte de la lutte climatique ; c'est par rapport à ce scénario que se chiffre le gain en carbone de l'investisseur. On voit donc que les institutions qui déterminent ces scénarios (la Banque Mondiale, les « entités opérationnelles » prévues par le Protocole) possèdent un pouvoir financier indirect considérable.

c) Les permis d'émissions négociables

La part des réductions à réaliser par recours à des mesures nationales et par recours aux échanges de permis d'émissions a été un point important de discordance dans les négociations internationales sur le climat. L'Europe a toujours exigé qu'au moins la moitié des efforts de réduction des émissions soient dues à des mesures nationales d'économies d'énergie ou de

⁵⁷ « Conséquences scientifiques, juridiques et économiques du Protocole de Kyoto », rapport de l'Académie des Sciences, n°45, novembre 2000, p. 24.

fiscalité écologique. Les Etats Unis notamment (mais aussi le Canada, l'Australie, ...pays dits « du groupe de l'Ombrelle ») étaient en revanche opposés au plafonnement du recours aux trois mécanismes de flexibilité⁵⁸.

Les pays intéressés directement par ces opérations aujourd'hui sont surtout la Russie et ses voisins qui depuis 1990 ont vu se réduire leurs émissions du fait de leur crise industrielle. On craint que les Etats Unis et la Russie n'exploitent exagérément ce mécanisme, l'avance « d'air chaud » dont dispose notamment la Russie pouvant compenser l'accroissement simultané des émissions américaines⁵⁹. Aujourd'hui, le refus américain de participer au Protocole de Kyoto suscite des études importantes sur les modes de relation économiques possibles autour des questions de carbone et d'énergie entre zones « Kyoto » et « non-Kyoto ».

Le principe des droits échangeables est le suivant : les industries grandes consommatrices d'énergie reçoivent dans chaque Etat détenteur d'un quota d'émissions (et d'une obligation de réduction) une certaine quantité de « droits à émettre », les permis, qui représentent en tonnes d'équivalent CO2 les émissions de GES auxquelles elles ont droit pour une période donnée. Les réductions d'émissions qu'elles réalisent en sus de leurs obligations (c'est-à-dire les permis qu'elles n'utilisent pas) (la somme totale des quotas attribués diminue au fil du temps), peuvent être vendus à d'autres entreprises qui n'auraient pas pu atteindre, dans le temps imparti, leurs objectifs de réduction. Les permis attribués diminuent avec le temps, comme le quota dont dispose l'Etat hôte.

Ce type de mécanisme avait déjà été mis en œuvre aux États-Unis, dans la foulée des amendements à la loi sur la qualité de l'air, votés au début des années 1990, pour contribuer à réduire l'émission des gaz à l'origine des pluies et des dépôts acides (SO2 et NOx en particulier). Il ne peut fonctionner qu'avec un nombre réduit d'intervenants bien identifiables, non pour des sources d'émission diffuses ou unitairement faibles.

On peut s'interroger sur la façon dont un tel commerce sera organisé : dans quel cadre les Etats seront-ils seuls échangeurs, dans quel cadre les entreprises ou autres personnes morales pourront-elles y participer ? Le système sera-t-il volontaire ou obligatoire ? Le contrôle de ces transactions sera difficile à mettre en œuvre (voir la complexité des articles du Protocole visant la mise en place et le contrôle des inventaires et du respect des engagements), comme pour les échanges financiers et boursiers. D'où l'importance cruciale de la qualité des inventaires d'émissions (différences de conditions entre MOC et MDP) et de la tenue des registres nationaux ainsi que de leur interconnexion internationale.

Le système des permis est donc plus complexe qu'une taxation. Il est inséparable d'un niveau de réduction global fixé politiquement (niveau des quotas). Un effet pervers possible serait que les pays industrialisés l'utilisent pour se dispenser de mesures nationales coûteuses, en achetant des droits à des pays qui s'engageraient en quelque sorte à ne pas se développer et réduiraient leurs émissions par simple amélioration technologique. C'est pourquoi le Protocole de Kyoto spécifie que le recours aux trois instruments de flexibilité ne devrait être qu'un complément (« supplemental ») aux mesures nationales que les Etats seront conduits à engager, sans toutefois préciser de plafond quantifié.

⁵⁸ « Europe et Etats Unis : la ligne de fracture : les quatre points qui ont fait capoter l'accord » ; *Libération* : 27 novembre 2000.

⁵⁹ Dominique Dron, *Enjeux environnementaux du XXI^{ème} siècle*, Ramses 2001, rapport annuel de l'IFRI, 2000.

Si cette disposition n'est pas d'une efficacité économique théorique optimale, elle a comme avantage, dans un contexte international disparate et conflictuel, de fournir un moyen aux pays en développement de s'assurer de la crédibilité des engagements climatiques des pays industrialisés, condition sine qua non pour qu'ils rejoignent à terme le processus.

B. Existe-t-il une quantité acceptable d'émissions de gaz à effet de serre ?

Si l'on veut diminuer les émissions, sait-on ce que serait une quantité « acceptable » d'émissions de gaz à effet de serre ? En fait, il n'est guère possible de dire qu'en dessous d'un certain seuil on ne courrait aucun danger et qu'au-dessus ce serait la catastrophe.

En revanche, les modélisations permettent d'affirmer que pour arrêter la croissance de la perturbation, il est indispensable de stabiliser les concentrations de CO₂ dans l'atmosphère, et pour ce faire de diviser en moins de 30 ans les émissions mondiales de ce gaz par un facteur 2 à 3.

Comme ces dernières sont actuellement de 6 Gt/an, cela signifie que les émissions mondiales de CO₂ doivent repasser sous les 3 Gt d'équivalent carbone par an. Plus on tarde à revenir à ce niveau, plus les concentrations finales seront élevées, avec le risque qu'au-dessus d'un certain seuil (aux alentours de 700 à 800 ppmv selon les premiers résultats des modèles couplés climat-carbone), le phénomène s'emballe par suite des rétroactions naturelles du cycle du carbone (dépassement des capacités de régulation à l'œuvre de la planète) et que, quoi que nous fassions, les concentrations continuent alors à augmenter jusqu'à un niveau imprévisible, mais très élevé.

Sur la base d'une répartition équitable d'un tel plafond de 3 Gt pour 6 milliards d'habitants, chaque terrien aurait « droit » à 500 kg de carbone par an environ. Cela représente 8 % de ses émissions s'il est américain (base 1998), qui devrait donc diviser sa consommation d'énergie fossile actuelle par 10 à 12, 15 % s'il est allemand ou danois, 20 % s'il est anglais, 22 % s'il est français, 28 % s'il est portugais, 50 % s'il est mexicain, et 120 % s'il est indien.

Selon Jean-Marc Jancovici, avec nos technologies actuelles, émettre 500 kg d'équivalent carbone sous forme de CO₂ revient à faire l'une des choses suivantes : un aller-retour Paris-New York en avion, acheter de 50 à 500 kg de produits manufacturés (ceci dépend notamment du contenu en composants électroniques ou en matériaux rares), utiliser 2 tonnes de béton (une maison moderne de 100 m² en nécessite 17), conduire 5.000 km en zone urbaine en petite voiture (soit 4 mois de circulation en moyenne française), ou 1 à 2 mois en 4x4 en ville, ou consommer 1.000 m³ de gaz naturel (soit quelques mois de chauffage d'une maison)⁶⁰.

⁶⁰ Hervé Le Treut et alii, *L'effet de serre : allons nous changer le climat ?*, Flammarion, p.85.

La réduction des émissions de gaz à effet de serre permettant de stabiliser la concentration de CO₂ dans l'atmosphère est donc incompatible avec les structures de consommation énergétique actuelles.

C. Moyens de lutte dans les principaux secteurs responsables

Les secteurs responsables de l'augmentation des gaz à effet de serre sont les transports, l'industrie, la production d'électricité, l'habitat et le tertiaire et de façon moindre l'agriculture. C'est donc sur ces secteurs que doivent se concentrer les efforts, en particulier pour les pays industrialisés sur celui qui accroît le plus, et constamment, ses émissions, celui des transports.

1. Les transports

Les transports représentent en France environ 30 % de notre consommation énergétique (la part des transports a été multiplié par 4 depuis 1960), 60 % de notre consommation de pétrole, et leur usage croît rapidement. Avec 37,7 millions de tonnes de carbone émises en 1997, ils devancent l'industrie (27,4 millions de tonnes), le résidentiel (26,6 millions de tonnes), et l'agriculture (26,5 millions de tonnes)⁶¹. Comment réduire de façon durable cette contribution à l'effet de serre ?

Les transports représentent dans le monde le quart de la consommation totale d'énergie et dépendent à 95 % du pétrole (dont 80 % pour la route). La technologie actuelle ne pourra perdurer indéfiniment à cause d'une part de sa contribution à l'effet de serre (une voiture relâche dans l'atmosphère 1 tonne de CO₂ tous les 5000 km), et d'autre part à cause de la raréfaction et du renchérissement des énergies fossiles.

Dans le domaine des transports, la croissance des émissions des gaz à effet de serre est particulièrement vive dans trois secteurs : le transport aérien, le transport de marchandises par camions, la circulation automobile en agglomération.

a) L'automobile et son futur

Différentes solutions sont possibles pour atténuer le problème des transports en matière climatique : carburants alternatifs, pile à combustible, voiture électrique, etc. Dans tous les cas, si l'on souhaite aller au-delà d'une démonstration de principe, il faut évaluer l'ordre de grandeur de la quantité de « combustible » à produire (ou d'énergie à stocker) nécessaires pour assurer les transports. À ceci s'ajoute bien sûr une évaluation de la compétitivité économique.

⁶¹ « Programme national de lutte contre le changement climatique », Mission interministérielle de l'effet de serre, 2000-2001.

- Des carburants nouvelle génération :

En marge de l'essence et du diesel sont apparus un certain nombre de carburants, dont l'avenir s'annonce plus ou moins brillant. Le plus répandu d'entre eux est sans doute le gaz de pétrole liquéfié (GPL). Ce mélange de butane (C_4H_{10}) et de propane (C_3H_8) ne contient ni plomb, ni benzène et pratiquement pas de soufre. A l'arrivée, une réduction d'au moins 25 % des émissions polluantes. Bien que sa faible masse volumique impose une surconsommation d'environ 20 % par rapport à l'essence, la diminution des rejets de CO_2 imputables au GPL lui permet de figurer parmi les carburants contribuant à limiter l'effet de serre.

Le GNV (Gaz Naturel Véhicule) est, quant à lui, composé de méthane (CH_4). La combustion de cet hydrocarbure naturel ne produit ni oxyde de soufre, ni plomb, ni poussières, ni fumées noires et peu d'oxyde d'azote et dégage moins de monoxyde de carbone.

Ces deux carburants s'utilisent pour l'instant en bi-carburant et nécessitent donc une adaptation du moteur à leur consommation. Plus contraignant que le GPL en terme de stockage, le GNV présente toutefois l'avantage de réserves naturelles plus importantes que celles du pétrole⁶².

Disponibles encore plus facilement, ce sont les biocarburants. Le diester, par exemple, est fabriqué à partir d'huile de colza ou d'autres plantes oléagineuses. Il a certes un impact nul sur l'effet de serre mais il est nécessaire de faire attention à la pollution secondaire car si la production de la matière première végétale demande une intensification de l'agriculture, les sols et eaux peuvent en retour être affectés.

La Commission européenne a proposé le 7 novembre 2001 un plan d'action visant à promouvoir l'utilisation des biocarburants, avec un objectif de remplacer 20 % du gazole et de l'essence utilisés dans les transports routiers par des carburants de substitution d'ici 2020.

Le plan d'action s'appuie sur deux propositions de directives européennes. La première prévoit que les biocarburants représenteront une proportion minimum de 2 % de l'ensemble des carburants vendus à partir de 2005 pour augmenter jusqu'à 5,75 % en 2010.

La seconde directive propose une incitation fiscale en autorisant les Etats membres de l'UE à appliquer un taux d'accises réduit sur les biocarburants, purs ou en mélange, quand ils sont utilisés comme combustible de chauffage ou comme carburant automobile.

La Commission européenne considère que les biocarburants (obtenus à partir de sources agricoles) comme l'éthanol constituent la technologie offrant les meilleures perspectives à court et moyen terme, comme carburants de substitution. Elle envisage aussi à moyen terme l'utilisation du gaz naturel, et des piles à combustible et à hydrogène à long terme.

⁶² <http://www.infoscience.fr/dossier/voiture>.

Ce plan d'action en faveur des carburants de substitution constitue l'un des moyens de réduire la dépendance excessive de l'UE aux carburants à base de pétrole, a estimé la commissaire européenne aux transports Loyola de Palacio.

- Le véhicule à pile à combustible :

Les constructeurs automobiles fondent une partie de leurs espoirs sur le moteur à hydrogène, produite par hydrolyse de méthanol ou de gaz naturel embarqués, l'énergie étant ensuite fournie par la réaction oxygène de l'air – l'hydrogène, qui ne donne que de la vapeur d'eau. L'intérêt de l'hydrogène est surtout d'être un carburant pour les piles à combustible. De nombreux problèmes restent toutefois à résoudre pour ces dernières, en premier lieu leur prix, actuellement trop élevé.

D'un côté, l'hydrogène n'est pas un vecteur énergétique rentable aujourd'hui car 1KW produit coûte 50 000 francs. Pour être rentable, il faudrait passer sous 300 francs⁶³.

En outre, l'hydrogène n'est pas directement disponible : il faut de l'énergie pour le produire. Et si l'on utilise pour cela des combustibles fossiles, on renforce également l'effet de serre. Il faudrait peut être envisager des productions locales car son transport est beaucoup moins efficace que celui du pétrole (à volume égal, le gaz naturel sous pression transporte 5 fois moins d'énergie que le pétrole et l'hydrogène 3 fois moins que le gaz).

Si l'on utilisait de l'hydrogène dans les piles à combustible, il faudrait pour le produire par électrolyse environ 450 TWh d'électricité, soit plus de 60 réacteurs nucléaires de 1GW électrique ou 280 000 éoliennes de 750 kW !

Outre son prix, la pile à combustible présente des risques d'explosion car utilisant de l'hydrogène.

Actuellement, la voiture hybride (essence/ pile à combustible) existe déjà : la « Prius » de Toyota, qui combine un moteur thermique et la propulsion électrique, mais son prix : 149 000 FRS, reste élevé par rapport à ses performances et à sa taille.

Selon Erhard Schubert, vice-président du Global Alternative Product Center de General Motors, l'hydrogène est clairement le combustible de l'avenir. Pour le constructeur américain, la pile à combustible, est la seule option viable et celui-ci estime que la motorisation par PAC représentera 10% des véhicules spéciaux (flottes captives) dès 2010 et peut-être 25 % en 2025⁶⁴.

L'optimisme est plus modéré chez les constructeurs français : ainsi, Renault ne croit à la pile à combustible que dans un délai de 10 à 15 ans⁶⁵ compte tenu de l'état des travaux et du rythme de renouvellement des parcs (12 ans en France environ).

⁶³ Christian Ngo, « Perspectives énergétiques », Commissariat à l'énergie atomique, 2001.

⁶⁴ Actes des rencontres internationales de prospective du Sénat, « L'automobile du futur », 11 octobre 2000, p. 35.

⁶⁵ Acte des rencontres internationales de prospective du Sénat ; L'automobile du futur ; 11 octobre 2000 ; p.15

- Le véhicule électrique :

Une des solutions d'avenir pourrait être l'automobile fonctionnant avec une pile à lithium dont le procédé a fait l'objet d'études et de recherches de la part du groupe Bolloré.

Le groupe Bolloré a en effet lancé en 1991 un vaste programme de recherches sur la batterie à lithium polymère pour produire une voiture électrique roulant à 150 Km/h et parcourant 350 kilomètres en autonomie. Cette batterie offrirait une capacité énergétique importante et une efficacité de recharge élevée par rapport aux batteries classiques. Cette innovation pourrait être selon Vincent Bolloré une véritable révolution⁶⁶.

La batterie est composée de films polymères enserrant du lithium extrudé (métal le plus énergétique après l'uranium). Les principaux avantages de ce choix sont qu'à l'utilisation la batterie ne pollue pas, qu'elle ne contient pas de liquide (contrairement aux batteries Li-ion), que l'inflammation est difficile et contenue (film Li emballé dans le polymère), qu'elle n'explose pas, et qu'elle est silencieuse. Cette batterie s'avère en laboratoire très résistante aux cycles charge-décharge (1000 cycles testés) et elle est modulaire (pouvant être facilement placée dans une voiture). De plus le moteur électrique est moins cher que le moteur thermique. Enfin, même si la batterie est onéreuse, elle est remboursable rapidement à l'usage, car faire 100 kilomètres avec une voiture au supercarburant consommant 8 litres coûte actuellement 60 francs alors qu'avec cette batterie, la facture serait de 3 à 4 francs seulement. Elle ne comportera pas de boîte de vitesse ce qui permettra une accélération plus rapide.

Cependant, plusieurs difficultés liées au développement de la batterie à lithium subsistent. D'abord il s'agit de résultats de laboratoire, qu'il faut confirmer en réalisation pré-industrielle. Ensuite, la charge totale demande une heure (autonomie 300 km), dix minutes pour un ajout de 70 km, deux minutes pour 10 km. Pour fonctionner, la voiture à lithium doit être à une certaine température (qu'elle peut conserver une semaine néanmoins) et pour cela un certain temps de chauffage au démarrage est nécessaire (5 minutes).

Pour l'instant, la batterie à lithium est en développement expérimental. Les premiers tests sont prévus pour 2002 et une première production en série de voitures électriques serait envisageable à partir de 2004-2005. Les clients potentiels sont les transports en commun et une partie des automobilistes dans des régions sensibilisées et réglementées du point de vue de la pollution de l'air comme la Californie et le nord de l'Italie.

Selon M. Bolloré, les avantages de la batterie à lithium seraient supérieurs à ceux de la pile à combustible ou du moteur hybride.

- L'accord de l'ACEA (Association des Constructeurs Européens d'Automobiles)

Limiter l'effet de serre et abaisser la quantité de CO₂ émise dans l'atmosphère passe également par l'amélioration des moteurs à combustion interne. Rappelons qu'en 1995, une voiture neuve émettait en moyenne 186 grammes de CO₂ par km en Europe, 191 au Japon et 260 g aux Etats Unis.

⁶⁶ Compte rendu de l'Institut Montaigne, « Transports de voyageurs et réduction de gaz à effet de serre », 26 juin 2001.

Pour améliorer ce bilan, l'Association des Constructeurs européens d'Automobiles (ACEA) a pris en juillet 1998, un engagement volontaire vis-à-vis de la Commission européenne portant sur un double objectif :

- l'introduction sur le marché communautaire dès 2000 de véhicules émettant moins de 120 g de CO₂ par km (soit une consommation moyenne de 4,9 l/100 km). En 2000, 160 000 des voitures vendues en Europe sont de cette catégorie. La moitié sont sous 161 g CO₂/km ;
- et surtout, un niveau moyen d'émission de 140 g de CO₂ par km pour les voitures vendues en 2008 (soit une consommation moyenne de 5,7/100 km). Le progrès du parc français s'exprime comme suit : 180 g/km en 1997 en moyenne pour les voitures neuves, 165 en 2003, 140 en 2008 et 120 en 2012⁶⁷.

Pour cela, l'ACEA axe ses recherches sur l'amélioration des carburants et leur efficacité. L'ACEA demande que les mêmes exigences pour le marché européen soient imposées aux importateurs japonais et coréens.

Cependant pour obtenir une efficacité maximum, l'accord conclu devra être accompagné de mesures économiques pour influencer les automobilistes à acheter les véhicules plus propres, et d'une information des consommateurs sur les économies de carburant.

Aujourd'hui, certains prototypes sont déjà commercialisés. A titre d'exemple, la voiture à 3 litres aux 100 existe déjà : La « Lupo » de chez Volkswagen, mais son prix reste élevé (96 100 francs) par rapport à ses performances : puissance insuffisante, vitesse et reprises lymphatiques, absence de direction assistée, et confort spartiate.

Conclusion : Bien que le coût de nouvelles solutions (carburants alternatifs ou hydrogène) soit encore très élevé par rapport au pétrole, l'introduction d'une taxe sur le carbone ainsi qu'une forte augmentation du prix du pétrole ne peut que favoriser l'émergence des nouvelles solutions en anticipant les à-coups inévitables sur les prix des hydrocarbures.

Mais les moyens à mettre en œuvre nécessitent de profondément repenser notre production énergétique et ceci ne pourra se faire sans une forte anticipation des pouvoirs publics. Cela demandera du temps et le pétrole restera encore indispensable pour les transports pendant de nombreuses années.

D'autre part, à cause de la durée de vie d'une automobile (environ 13 ans) et de l'âge moyen du parc en circulation (de l'ordre de 7 ans), il est fort probable que le moteur à explosion conventionnel restera encore le mode de propulsion largement majoritaire et que les motorisations alternatives resteront marginales⁶⁸.

b) Transport de marchandises

⁶⁷ Les dossiers du CCFA, « Gaz carbonique et effet de serre, Comité des constructeurs français d'automobiles », 2000.

⁶⁸ « La lente course automobile contre les émissions de gaz carbonique », *Les Echos*, 22 novembre 2000.

Globalement, 41 % de l'énergie consommée par les transports terrestres l'est par les marchandises. Du point de vue de l'effet de serre, l'activité la plus inquiétante par sa rapidité de développement est le fret routier.

L'ouverture des frontières en Europe pousse à l'intensification des échanges et à son corollaire, l'augmentation de transports de marchandises : (il a augmenté de 75 % en France depuis 1985 et devrait plus que doubler entre 1990 et 2020 dans le monde)⁶⁹.

En un siècle et demi, alors que la population mondiale a été multipliée par 4,6, l'intensité des échanges de marchandises par habitant a crû, elle, d'un facteur 1000⁷⁰.

De par sa situation géographique, la France supporte une grande partie du transit routier intra européen, notamment au travers de ses massifs montagneux frontaliers (Alpes, Pyrénées, etc).

Les transports de marchandises sont largement responsables de l'effet de serre aussi bien dans la ville qu'en périphérie. (50 % des transports routiers de marchandises sont effectués dans un rayon inférieur à 50Km, c'est à dire en grande partie en zone urbaine)⁷¹.

- D'où vient la croissance observée des transports des marchandises ?

Le prix bas des transports favorise leur croissance : ainsi, l'énergie dépensée en transport pour la fabrication d'un seul pot de yaourt vendu en Europe (150g) permettrait de déplacer un camion maxi code (40 tonnes) plein sur 20 mètres, car chaque unité de fabrication spécialisée (sucre, fraises, lait, récipients en verre, couvercle en aluminium...) est située dans un lieu différent !

Le modèle des pays développés basé sur du transport routier peu cher s'exporte dans les pays en développement, car il se contente d'infrastructures routières rustiques alors que le transport ferroviaire demande un réseau efficace, organisé et géré.

Le développement des infrastructures rapides urbaines (rochades, pénétrantes...) est également un facteur de croissance du fret routier. Les investissements réalisés : plus de 60 % des infrastructures bâties depuis 1985 ont été routières et autoroutières. La dette auprès de la Caisse nationale des autoroutes dépasserait 250 milliards de francs pour un résultat d'exploitation de 19 milliards en 1999 ! Au 1^{er} janvier 1999, la France disposait d'un réseau de voies routières de 16 500 kms⁷².

Les exigences des chargeurs (le « juste à temps ») multiplient les trafics et affaiblissent encore la compétitivité du rail.

L'évolution du conditionnement des produits favorise l'augmentation du tonnage transporté : les nouveaux conditionnements se caractérisent par leur volume important (boitage, protections volumineuses, etc). Les liquides sont le plus souvent conditionnés en

⁶⁹ A. Morcheoine et *alii*, « Pour une approche stratégique des questions de transport et d'environnement », Responsabilité et Environnement, Annales des Mines, janvier 2000.

⁷⁰ Compte rendu Institut Montaigne, « Transports de marchandises et réduction de gaz à effet de serre », 12 juillet 2001.

⁷¹ Mémento des Décideurs, « Maîtriser le risque climatique », MIES, juin 1999.

⁷² Direction des routes, 1999.

emballage perdu. Il s'ensuit une explosion des déchets ménagers qui constituent un flux important des transports de marchandises en zone urbaine. Les déchets ménagers en France représentent 29,5 millions de tonnes par an, soit 500 Kg par an et par français. Ils induisent une activité de transport largement urbaine de quelques 800 millions de tonnes-km⁷³.

Le fort développement de la grande distribution, se caractérise par un système d'approvisionnement très performant pour l'entreprise, basé essentiellement sur le transport routier. Cependant la livraison au client final est la plupart du temps auto-administrée par les clients eux-mêmes, qui doivent être obligatoirement motorisés pour accéder aux surfaces de vente et naturellement en supportent le coût. Une des importantes conséquences de ce phénomène est la forte chute des activités de commerce de détail de proximité. Les consommations d'énergie et les nuisances engendrées par ce type d'organisation, pollution de l'air, consommation d'espace public et bruit, sont très fortes par rapport à des solutions de surfaces de vente, même importantes, de proximité : de l'ordre de 50 à 150 fois selon les postes⁷⁴.

- Propositions pour une maîtrise des émissions dans le secteur du fret :

Le transfert de la route vers le rail, le fluvial ou le cabotage maritime constitue l'une des principales marges de manœuvre afin de réduire non seulement les émissions de CO₂ mais également la pollution. Le train est une solution efficace pour parer aux couloirs routiers saturés et pour traverser les montagnes éloignées des rivages. La voie d'eau (le cabotage) peut être efficace là où la concurrence des itinéraires est possible, par exemple sur le corridor Saône/Rhône ou pour contourner certains massifs (Pyrénées, Alpes vers l'Italie), et lorsque l'itinéraire fluvial n'exige pas d'allongement excessif par rapport aux autres alternatives modales (cas de la vallée de la Seine par exemple). En outre, la pression mise sur le fret routier ne se résume pas au changement climatique : on constate aussi dans plusieurs régions, surtout les frontières montagneuses des Alpes et des Pyrénées, l'exaspération des riverains (9000 camions/jour dans les Alpes, 14 000/jour dans les Pyrénées !) et le doute des acteurs économiques sur ce que leur apportent ces trafics (vallée de Chamonix par exemple). C'est ainsi que récemment, Aquitaine et Pays Basque ont déclaré conjointement qu'il fallait réduire le transport de marchandises par la route pour le développement de leurs deux régions.

Pour promouvoir le transport combiné rail-route ; voie d'eau - route, il est nécessaire de développer le dialogue avec les chargeurs responsables de l'offre.

En ce qui concerne l'efficacité énergétique comparée des différents modes de transports, on constate un facteur de 2 à 2,5 entre les modes ferroviaires et fluviaux et le transport routier dans sa configuration la plus efficace, le maxi code. Ce rapport passe à 4 voire 4,5 en moyenne si l'on considère l'ensemble des poids lourds.

⁷³ Alain Morcheoine, « Transports de marchandises, énergie et environnement : quels enjeux? », *ADEME*, mai 2001.

⁷⁴ Alain Morcheoine et Jean-Pierre Orfeuil, Pour une approche stratégique des questions de transport et environnement, Responsabilité et Environnement, Annales des Mines, janvier 2001 ; Dominique Dron, Michel Cohen de Lara, Pour une politique soutenable des transports, Cellule de prospective et de stratégie, collection des rapports officiels, Documentation Française, 2000.

Le problème du transport combiné (rail – route - fluvial) réside dans la complexité de la chaîne et la qualité de service des différents maillons (SNCF en particulier). Cette complexité engendre un surcoût qui peut être supportable si la distance est suffisante (économie de main d'œuvre sur les coûts horaires et les temps de conduite) mais il faut que la fiabilité du service et notamment du temps d'acheminement existent également.

Remédier à la sous tarification en faisant payer le vrai prix aux camions serait une variable d'action ; en effet selon diverses études européennes et françaises, les transports routiers coûtent plus cher à la collectivité qu'ils ne lui rapportent (pour la France, les transports routiers paient environ 19 milliards de francs par an en péages et taxes, mais leur coût social dépasse 42 milliards de francs). Ce surcoût est dû aux dépenses d'usage non couvertes comme l'usure des infrastructures et aux coûts externes (insécurité, pollution, non-respect des lois, bruit...)⁷⁵. Si les poids lourds et les voitures utilitaires finançaient leur coût réel, il est probable que ce mode de transport ne bénéficierait pas du même différentiel apparent de compétitivité économique.

Les diagnostics logistiques des entreprises de transport, qui leur permettraient de rendre les mêmes services avec moins d'énergie consommée voire moins de déplacements doivent également être développés. Ainsi les tournées de livraison avec des camions 12 tonnes chargés à 6 tonnes sont beaucoup moins « énergivores » que les tournées parallèles composées de 12 PVU chargés à 500kg)⁷⁶ : la solution utilisant des petits utilitaires consomme 4 fois plus d'énergie, pollue 3 fois plus, et utilise 3 fois plus d'espace public que celle recourant à un camion urbain, prenant ainsi en défaut les motivations présidant aux réglementations sur les livraisons urbaines.

Globalement, selon France Nature Environnement⁷⁷, les entreprises qui commandent les transports ont une grande responsabilité dans l'évolution du transport utilisé en termes de qualité, de sécurité, et de consommation d'énergie :

- le choix modal dépend d'eux,
- les programmes français de rééquilibrage laissent sceptiques (Espagne et Italie ont engagé des programmes d'investissements ferrés 5 à 10 fois plus lourds) ;
- il faut utiliser l'existant fluvial, mer et rail,
- les chargeurs sont responsables de leurs flottes, comme les loueurs de véhicules du type de véhicules qu'ils proposent ;
- les chargeurs interviennent fortement dans le transport pour compte d'autrui (TMD notamment, mais pas seulement : pourquoi pas une qualification énergie - sécurité du fret ?) ;
- les entreprises sont présentes au Conseil National d'Aménagement et de Développement du Territoire et peuvent y demander les progrès dont elles ont besoin sur le fer, le fluvial et le maritime ;

⁷⁵ « La maîtrise de l'énergie, rapport d'évaluation du 1^{er} Ministre », Comité interministériel de l'évaluation des politiques publiques et commissariat du plan (président Yves Martin), « Le système autoroutier dans le mur: quelle réforme pour éponger 30 milliards de francs ? », France Nature Environnement, Lettre du Hérisson, n°194-5, décembre 1999.

⁷⁶ Alain Morcheoine, « Transports de marchandises , énergie et environnement : quels enjeux ? », *ADEME*, mai 2001.

⁷⁷ Intervention de Christian Garnier devant l'Institut Montaigne, 12 juillet 2001.

- les entreprises peuvent agir en matière urbaine sur l'organisation des livraisons et sur la forme urbaine elle-même. Ainsi, les PDU pour atteindre les objectifs de réduction des trafics automobiles et du stationnement passent par une croissance des transports collectifs et une meilleure organisation des déplacements de marchandises (localisation des entrepôts, des plate-formes logistiques) ;
- la concertation avec le public sur les transports de marchandises en ville est nécessaire et fructueuse ;
- il est nécessaire de conserver une large ouverture des choix possibles en matière de transport dans deux buts : éviter la vulnérabilité de l'économie par rapport aux marchés pétroliers et aux mesures de maîtrise du changement climatique, permettre aux agglomérations de demain de mettre en place des systèmes de transports rationnels, préserver les emprises ferroviaires, maritimes et fluviales au coeur des villes, réserver des emprises souterraines ...) ;
- les entreprises ont intérêt à soutenir une politique communautaire d'homogénéisation sociale, technique, tarifaire (couverture des coûts) et d'investissements (rationalisation, efficacité) en matière de transports, et ceci également pour les pays candidats : par exemple, le rail fonctionne bien en Europe centrale, et certaines politiques européennes peuvent le casser avec l'élargissement si une rationalisation énergétique des investissements d'accompagnement n'est pas organisée rapidement (ex : exigence vis-à-vis de la Hongrie de ne pas limiter ni tarifier les flux de camions de transit ; projet de tunnel routier sous le détroit de Gibraltar ...) ;
- elles doivent défendre la rationalité économique des projets car les dettes publiques ont toujours des retombées sur les finances privées (exemple des tronçons autoroutiers économiquement non justifiés, mais aussi question sur le tunnel Lyon-Turin compte tenu des projets suisses et des aménagements de l'existant possibles).

A ce sujet, il ne faut pas oublier que si l'utilisation des différentiels de coûts sociaux et fiscaux par les entreprises est à l'origine d'une part importante des transports de marchandises, le contexte évolue : l'harmonisation des conditions de travail dans les transports routiers est en cours, la zone Euro est faite et y exclut dorénavant les dévaluations compétitives ; à l'horizon 2030, la convergence des économies européennes sera réalisée, celle des fiscalités communautaires sans doute aussi. Economiser les kilomètres devient donc un paramètre stratégique à moyen terme.

2. L'industrie

Les émissions de CO₂ provenant du poste industrie, deuxième contributeur mondial au phénomène de l'effet de serre, correspondent pour plus des trois quarts à la production de matériaux de base (acier, verre, ciment, plastiques ...). Ces procédés sont très consommateurs en énergie.

En France, la part de l'industrie dans les émissions nationales de gaz à effet de serre est de 22% avec une tendance à la baisse (économies d'énergie et substitutions).

Depuis quelques années, les entreprises industrielles et productrices d'énergie prennent peu à peu conscience de ce que dorénavant, quelles que soient les décisions prises lors des conférences internationales, elles devront travailler dans un monde où les émissions de gaz à effet de serre seront contingentées. Certaines sont pleinement impliquées dans la recherche de nouvelles stratégies, de nouveaux comportements et de nouvelles technologies pour réduire les émissions de gaz à effet de serre. Ces expériences sont évidemment diverses dans leur nature comme dans leur ampleur.

D. L'entreprise citoyenne : réalisations industrielles et réduction de gaz à effet de serre

Pour l'instant, les Etats de l'Union européenne n'ont pas défini de quotas d'émissions applicables à un seul ou plusieurs secteurs ce qui serait un préalable à tout échange d'émissions⁷⁸. C'est en avril 2004 que les Etats-membres de l'Union doivent produire un système national d'allocation de quotas pour les secteurs relevant de la directive sur les permis d'émission (en discussion). Certaines entreprises n'ont pas attendu la signature du protocole de Kyoto pour s'engager dans la réduction de leurs émissions de gaz à effet de serre et dans une stratégie de développement durable.

Depuis quelques années un mouvement « d'engagements volontaires de réduction » se dessine. En France, ces accords ont jusqu'ici touché plusieurs secteurs : constructeurs automobiles, cimenteries, verreries, sidérurgie, producteurs d'aluminium.

Parmi les entreprises qui ont signé à ce jour des engagements volontaires avec les pouvoirs publics, nous pouvons citer Pechiney, BSN Glasspack, Saint Gobain, Lafarge, Suez et les Trois Suisses.

⁷⁸ « Conséquences scientifiques, juridiques et économiques du Protocole de Kyoto », Académie des Sciences, Rapport n° 45, novembre 2000, p. 33.

Exemples d'engagements volontaires des entreprises

PECHINEY	s'est engagé à réduire, en 2000 par rapport à 1990, de 19 % la quantité totale de gaz carbonique émise par tonne d'aluminium produite, et de 63 % les émissions de tétrafluorure de carbone (CF ₄) – (engagement du 13 mai 1996)
FEDERATION FRANCAISE DE L'ACIER	s'est engagée à réduire de 10 % par rapport aux émissions de l'année 1990 les émissions totales annuelles de CO ₂ (engagement du 19 décembre 1996).
CHAMBRE SYNDICALE NATIONALE DES FABRIQUANTS DE CHAUX GRASSES ET MAGNESIENNES	s'est engagée à réduire de 5 % par tonne de chaux produite la quantité de gaz carbonique émise (engagement du 2 juillet 1996).
SYNDICAT FRANÇAIS DE L'INDUSTRIE CIMENTIERE	a prévu de réduire de 25 % entre 1990 et 2000 la totalité de ses émissions de CO ₂ provenant de la consommation de combustibles fossiles, ce qui correspond à une diminution de 10 % des émissions par tonne de ciment de produits fabriqués (engagement du 10 octobre 1996).
CHAMBRE SYNDICALE DES VERRERIES MECANIQUES DE FRANCE	dans le domaine de la verrerie d'emballage, prévoit une réduction des émissions de dioxyde de carbone de 10 % entre 1990 et 2005 grâce au recyclage du verre, à l'amélioration de la performance des fours verriers, ainsi qu'à leur équipement de systèmes biénergie. L'engagement prévoit également en 2005 une réduction de 49 % des émissions d'oxyde d'azote par rapport à leur niveau de 1990 (engagement de février 1997).
TROIS SUISSES FRANCE	a prévu de réduire de 25 % ses émissions de gaz carbonique, par des mesures portant sur la consommation d'énergie sur les sites de l'entreprise, et sur le choix et les conditions de transport des marchandises vendues : amélioration des coefficients de remplissage des unités de transport, choix de transports à moindre intensité énergétique (ainsi le transport combiné rail-route est utilisé à la place du transport routier, le combiné bateau - avion à la place de l'avion.), réorganisation des approvisionnements, utilisation de véhicules au gaz de pétrole liquéfié, au gaz naturel ou à l'électricité, selon les cas, pour le transport ou la livraison des marchandises (engagement du 29 octobre 1996).

Ces accords volontaires ne sont pas contraignants et le non respect de ces engagements n'est assorti d'aucune sanction.

Les échanges d'expériences menées par les entreprises en matière de réduction de gaz à effet de serre permettent de dégager des pistes d'actions nouvelles. Les entreprises Electrabel (filiale de Suez), STMicroelectronics Totalfinaelf et les Trois Suisses, ont exposé leurs expériences menées à titre volontaire sur trois secteurs : les procédés industriels, le fret et le transport du personnel.

1. Procédés industriels et maîtrise des émissions de gaz à effet de serre

Electrabel, filiale de Suez, intègre explicitement la lutte contre le changement climatique dans sa stratégie à travers les actions suivantes :

- Adaptation du parc de production électrique : fermeture des centrales au charbon ; mise en place de centrales du type turbine gaz-vapeur plus efficaces et moins polluantes ; installations importantes d'unités de cogénération en partenariat avec l'industrie.
- Politique en matière d'énergie renouvelable : énergie éolienne off-shore (mer du Nord) et on-shore ; projets de gazéification et de co-combustion ; hydraulique.
- Utilisation du parc nucléaire (+/- 55 % de la production d'électricité en Belgique), ce qui permet d'atteindre un coefficient d'émission spécifique des gaz à effet de serre parmi les plus bas d'Europe⁷⁹.

2. Transport du personnel : plan de déplacement entreprise

STMicroelectronics⁸⁰ qui emploie 40 000 personnes dans le monde avec en France environ 10 000 personnes sur 7 sites différents a mis en place au cours de l'année 2000 un Plan de Déplacement Entreprise (PDE). Concept encore peu formalisé, le PDE est une démarche qui vise à aborder globalement la problématique « transport » de l'entreprise. L'objectif chez StMicroelectronics était de permettre la diminution de l'impact de l'entreprise sur son environnement en terme de consommation d'énergie liée aux transports, d'émission de polluants liés à la consommation de carburants et d'encombrement des voies de circulation.

a) Pourquoi un PDE ?

En 2000, avec un effectif de 2000 personnes, 40 % de la consommation d'énergie du site chez Microelectronics était due au déplacement du personnel (domicile - travail). En effet, trois salariés sur quatre venaient seuls en voiture au travail, alors que 60 % des salariés habitaient dans l'agglomération grenobloise, donc dans un environnement à fort potentiel en termes de transports alternatifs (bus, tram, vélo).

⁷⁹ Alors qu'en Europe, la moyenne des émissions est de 30 % pour le secteur électrique, la part de ce dernier est de 20,6 % en Belgique.

⁸⁰ STMicroelectronics est un fabricant de puces électroniques qui assure les performances d'un certain nombre d'applications dans différents secteurs : informatique, automobile, téléphones portables....

La congestion, « l'auto blocage » aux heures de pointe fut le facteur déclencheur de l'opération en 2000. L'objectif, ambitieux, affiché chez STMicroelectronics est que 50 % du personnel du site utilise en 2005 un mode de transport alternatif.

b) PDE 2000-2002 : le « 4x4 alternatif » : 4 mesures dans 4 domaines prioritaires

La démarche commencée en septembre 2000 s'est portée sur quatre domaines :

- les transports en commun (amélioration de la desserte de sites : navettes entre le site et la gare, lignes de bus gratuites pour le personnel, participation financière à hauteur de 80 % des abonnements bus, SNCF, etc)
- les services de proximité : borne Internet, restauration rapide, contrôles anti-pollution, entretien de vélos, etc
- les transports verts : mise en place d'infrastructures cyclistes, installation de douches et vestiaires pour les cyclistes ; service cyclo-joker : bus et taxis gratuits pour les cyclistes, distribution de kits de sécurité, aide financière aux motorisations alternatives (GPL/GNV) pour les salariés, etc
- les petits déplacements professionnels : parc de véhicules de service au GNV, mise à disposition des véhicules GNV pour les salariés de ST, coordination des déplacements, covoiturage professionnel, etc.

c) PDE 2000 - 2002 : premiers résultats après lancement

Les premières mesures du PDE ont permis de gagner environ 15 % (de l'ensemble des déplacements) de parts modales sur la voiture particulière (8 % de transfert modal : VP -transports en commun ; 7 % de transfert modal : VP- vélo). Ces 15 points sont répartis de la façon suivante : 50 % de salariés sont passés de la voiture individuelle au vélo, et l'autre moitié de la voiture au transport en commun.

Le vélo est devenu un mode de transport de plus en plus concurrentiel. L'augmentation de parkings vélos a connu un succès considérable.

Des actions de lobbying auprès de nombreux partenaires de projets (Semitag, Ademe, Métro, SNCF, etc) sont prévues afin d'améliorer encore l'attractivité et la compétitivité des transports alternatifs.

L'exemple de STMicroelectronics a permis de démontrer que la démarche PDE était une initiative fondée sur l'établissement d'une concertation entre tous les acteurs du projet : l'entreprise, les salariés, les collectivités locales et les opérateurs de transport. La réussite du PDE et la réalisation de tous les objectifs dépendent bien entendu de la mise en œuvre de mesures pertinentes mais surtout de la capacité de l'entreprise de maintenir et nourrir cette concertation.

3. Le fret et l'entreprise

A Atofina, la branche chimie du groupe Totalfinaelf, la direction logistique en charge du secteur des transports, a intégré dans sa réflexion, les préoccupations liées au développement durable.

La dimension, l'importance, la diversité et quelquefois la flexibilité du transport dans la branche Chimie du groupe a permis de faire apparaître des optimisations ou des transferts de mode.

Par exemple un transfert modal a été mis en place en mai 2001 sur 1750 Kms entre l'usine d'Atofina de Jarrie (38) et un client à Leixos (Portugal) pour transporter du chlorate de soude. Le volume concernait 8000 à 10 000 tonnes de marchandises transportées par an.

Avant la mise en place du transfert modal, le fret se faisait par camions ce qui présentait un certain nombre d'inconvénients. Le montage a consisté à remplacer le fret routier par du transport ferroviaire.

Bien que le transfert modal ait présenté certaines contraintes (faiblesse des liaisons ferroviaires entre Grenoble et le Portugal, liaison Est-Ouest compliqué), spécificité technique des containers, écartement des voies différentes entre la France et l'Espagne et grèves de la SNCF récurrentes celui-ci a néanmoins présenté de nombreux avantages et notamment : une meilleure sécurité des transports, un meilleur respect de l'environnement, une livraison de 29T contre 24T en citerne et une meilleure maîtrise du transit sur les longues distances.

Depuis la mise en place de ce transport modal, Atofina a abouti à une suppression de 330 poids lourds sur les routes par an, ce qui a permis d'éviter 1 million de kms routiers ainsi que environ 900 tonnes de CO₂.

L'opération est un succès ; le client dispose maintenant à proximité de stocks importants grâce au transport effectué par rail (augmentation des quantités transportées).

D'autres projets de ce type sont en cours à Carling (57), à Chauny (02) et à Villers St Paul (60) pour effectuer des trajets respectivement vers l'Italie, l'Espagne et dans le Sud Ouest de la France.

Notons également qu'une **meilleure gestion de l'urgence** peut contribuer fortement à réduire le recours à l'avion et donc les émissions de CO₂. Avec une organisation classique, les commandes sont déclenchées tardivement, d'où la nécessité de recourir à des transports rapides, donc en général gros émetteurs de GES (route, avion) et souvent onéreux. Au contraire, on économise de l'argent et du stress par un bon dialogue entre fournisseur et client. Le client peut même demander au fournisseur de gérer son stock pour déclencher la livraison et la commande lorsque le niveau de stock commence à diminuer.

A partir de ce moment, on peut même mettre en place des indicateurs automatiques permettant de savoir à quel moment il faut déclencher le renouvellement de stocks ou de livraisons.

4. Le cas des Trois Suisses

Aux Trois Suisses, Daniel Richard, actuel Président du WWF France et alors président des Trois Suisses, a œuvré pour économiser l'énergie de toutes les façons possibles, et ses efforts ont porté sur trois axes, notamment :

- la suppression du catalogue des Trois Suisses des produits à faible valeur ajoutée mais consommant beaucoup d'énergie (ex : les rideaux plombés ont été écartés du catalogue car engendrant un surcoût de transport important).
- la révision complète des approvisionnements (relations avec les fournisseurs et logistique), notamment en réduisant des achats en Asie dont les risques exigeait une production de couverture dans des pays moins éloignés. Cette politique a permis de réduire les ruptures de stock, d'avoir plus de rigueur dans le déclenchement des approvisionnements et donc de réduire le fret aérien et routier fréquemment utilisé en « secours » ; le transport fluvial à partir de Lille s'est intensifié, le tout permettant de surcroît d'économiser 15 % des coûts de transport ; les tournées de livraison ont été optimisées ; des voitures électriques et au gaz liquéfié et des filtres sur les véhicules diesel ont aussi permis de diminuer la pollution.
- le recours à des énergies alternatives : cogénération, chauffage au bois (les deux permettant des gains économiques) et énergie éolienne.

Cette politique environnementale a donc poussé les Trois Suisses à revoir complètement leur consommation énergétique. Ces mesures ont mis deux à trois ans à se mettre en place.

E. Actions citoyennes : comment agir individuellement ?

Nous pouvons adopter individuellement de nouveaux comportements dans la vie de tous les jours, qui sans toucher à notre confort, préserveront notre environnement et réduiront également nos dépenses financières.

La lutte contre l'effet de serre est l'affaire de tous. Au quotidien que pouvons nous faire et que peuvent dès aujourd'hui réaliser les entreprises ?

1. Les déplacements

a) Les véhicules classiques économes, et le rôle des entreprises !

Les véhicules thermiques représenteront encore près de 90 % du parc en 2020 compte tenu du rythme de renouvellement (12 ans environ). Par conséquent, la rapidité nécessaire de l'action passe par une limitation des consommations des moteurs thermiques, c'est-à-dire notamment des puissances.

Or, comme le souligne Jean-Pierre Orfeuill, les entreprises contribuent fortement à l'entrée sur le marché des véhicules. En France, 40 % des voitures achetées le sont par les entreprises (60 % au Royaume Uni). En effet, après 2 à 4 ans, les véhicules sont revendus aux particuliers. En conséquence, les entreprises contribuent beaucoup à l'orientation en efficacité du parc. Or on constate que le parc entreprises consomme 0,5 litres de plus aux 100 km que la moyenne... **Si les entreprises faisaient le choix d'acquérir des véhicules consommant un litre de moins, l'économie serait pour elles de 3,5 milliards de francs sur 3 ans** (500 millions de litres économisés à leur niveau), puis 700 millions de litres économisés lors de l'usage de ces voitures par les ménages, soit **une économie nationale d'un million de tonnes d'équivalent pétrole (tep) !**

b) Les alternatives à la voiture

Le mode de déplacement constitue bien entendu une variable d'action. Il y a par exemple un facteur 30 entre les émissions d'un déplacement en voiture et le même en train, et un facteur quasiment infini entre le vélo et la voiture (il y a un facteur 40 à 50 sur la consommation d'énergie totale entre vélo et voiture). En ce qui concerne le train, selon que celui-ci fonctionne sur lignes électrifiées avec de l'électricité nucléaire, ou au diesel, il existe un facteur 10 dans les émissions par passager km.

Une voiture individuelle émet en moyenne par personne transportée et compte tenu du taux d'occupation moyen des deux véhicules, 3 fois plus de CO₂ qu'un autobus⁸¹ : mieux vaut donc utiliser les transports en commun (train, métro, tramway) les deux-roues non motorisés, faire appel à la marche à pied (surtout lorsqu'on sait qu'1 déplacement sur 8 est inférieur à 500 m et 1 déplacement sur 5 à 1 km !) ou au co-voiturage quand les conditions le permettent. Pour la ville, la bicyclette est un mode de déplacement idéal : la vitesse moyenne sur un vélo est de 18 km/h... en voiture 14 km/h. De nombreuses références sur les consommations comparées des modes et véhicules de transport en France sont rassemblées notamment par l'Ademe⁸².

c) Faire évoluer les agglomérations : le rôle des entreprises

On peut parfois, dans une certaine mesure, choisir son lieu d'habitation aussi en fonction des réseaux de transports disponibles. En moyenne, après 15 ans, il coûte plus

⁸¹ « SOS Climat : effet de serre et dérèglements climatiques » [http:// www.sosclimat.org](http://www.sosclimat.org) : site spécialement créé par l'association « SOS Climat » propose de participer à la mobilisation contre l'effet de serre à travers l'élaboration d'outils et le développement d'actions citoyennes.

⁸² Voir la bibliographie

cher pour un propriétaire ou un locataire d'habiter en banlieue qu'en centre ville si on prend en compte les coûts associés au transport ; ceux-ci passent en moyenne de 8 à près de 30 % du revenu moyen des ménages entre le centre-ville à foncier cher et la deuxième couronne à prix faibles⁸³. La différence vient de ce que l'accès à un logement de centre ville représente une dépense immédiate plafonnée par le revenu disponible (prêts bancaires) alors que les dépenses de transports s'étalent sur de nombreuses années.

Ceci étant, on ne peut demander à un simple citoyen de n'avoir que ce critère de choix pour son logement : les grands acteurs économiques ont un rôle décisif à jouer dans cette évolution. En effet, le poids des déplacements domicile - travail pour les actifs reste très fort : sur 27 millions de voitures en service, 14 millions « vont travailler ». Quel en est le coût ? Côté entreprises, le Versement transport en Ile-de-France représente 25 milliards de francs. La quasi-totalité du stationnement qu'elles offrent est gratuit ; s'il était valorisé par exemple à 3000 francs la place par an, il rapporterait 35 milliards de francs... Côté salariés, les 14 millions de voitures font 8000 km par an et coûtent environ 16000 francs par an à leur propriétaire, soit 220 milliards de francs. Ces déplacements, en baisse en valeur relative mais en hausse en valeur absolue (entre 1990 et 1999, le total de ces déplacements a augmenté de 30 % !), représentent 7 Mtep, soit 28 % de la consommation des voitures en France.

Pourquoi ? Les moyens de transport permettent de se déplacer plus vite, la gestion des prix publics permet de le faire à des prix relativement bas (et même en baisse en valeur absolue depuis 40 ans pour ce qui concerne l'usage des automobiles). Les aires de recrutement des entreprises s'élargissent donc et les émissions de CO₂ grimpent. **Les politiques d'aide au logement des entreprises pourraient prendre en compte cette problématique du climat en choisissant les zones de logement plutôt denses (répartition géographique des versements patronaux).**

d) Les véhicules alternatifs ou hybrides

Un véhicule hybride permet une économie de 700 à 1000 litres de carburant (pour une moyenne de 15000 kms parcourus dans l'année).

Les grands constructeurs automobiles travaillent sur la pile à combustible et quelques prototypes sont d'ores et déjà commercialisés, bien que leur prix demeure encore élevé. C'est aussi l'un des axes prioritaires de recherche et développement du programme américain sur le climat annoncé en février 2002.

e) Mieux utiliser sa voiture : où l'on retrouve les entreprises

Respecter les limitations de vitesse c'est aussi moins consommer et moins émettre de gaz à effet de serre :

- Pour une voiture moyenne, rouler à 130 km/h au lieu de 120 augmente la consommation de plus d'un litre au 100 km ;

⁸³ Dominique Dron, Transports : le grand virage, Sociétal, n°31, 1er trimestre 2001

- Contrôler régulièrement son véhicule pour éviter de trop consommer et donc de trop polluer.

Nous avons vu que malgré leur réduction en valeur relative devant les déplacements de loisirs par exemple, les déplacements domicile - travail et professionnels croissaient en valeur absolue, donc leurs émissions de gaz à effet de serre également ! Les grands déterminants de la voiture à usage professionnel sont les suivants : les transports publics disponibles pour se rendre sur le lieu du travail, les politiques d'aide au logement, l'existence de stationnements gratuits ... Lorsque le stationnement est fourni par l'employeur, l'usage de l'automobile est presque un réflexe. Dans certains états des Etats-Unis, depuis une dizaine d'année, **une prime est donnée aux salariés qui renoncent à leur place de stationnement.**

La mobilité professionnelle (hors domicile - travail) est aussi en hausse : 60 % de ces déplacements font moins de 100km, 40 % les dépassent. La distance moyenne parcourue en 1994 était de 50 % supérieure à celle de 1982. Ainsi, 13 % des actifs faisaient en 1982 un déplacement professionnel par jour, contre 18 % en 1994 ; 6,5 % déclaraient en 1982 avoir un lieu de travail variable, contre 11 % en 1994.

Jean-Pierre Orfeuil suggère donc quelques initiatives possibles des entreprises pour réduire le recours à la voiture : création d'un poste de manager « mobilité » (qui existe aux Etats-Unis), organisation d'un rabattement sur les axes lourds de transports en commun, optimisation de la gestion du stationnement, prime pour non usage de place de parking, parcs automobiles d'entreprise en libre service payant (car certains salariés ont besoin d'un véhicule à l'heure du déjeuner), offre de stationnement vélo, télétravail à temps partiel, covoiturage, minibus d'entreprise, « miles » pour usage du TGV, révision des contrats avec les agences de voyages pour minimisation des consommations, téléconférences...

2. Maîtrise de l'énergie chez soi aussi

Au domicile, nous consommons de l'énergie principalement pour notre chauffage, pour produire notre eau chaude sanitaire, pour faire fonctionner nos appareils électroménagers et pour nous éclairer. Cette énergie est consommée sous forme d'électricité et de divers combustibles (gaz, bois, fuel, charbon). Leur utilisation s'accompagne de l'émission de gaz carbonique.

Une bonne isolation permet un gain de facteur 2. Enfin la réduction de la température intérieure engendre des réductions importantes : le premier degré de baisse fait gagner 7 à 10 % de consommation.

- a) Se chauffer plus efficacement

- En utilisant les énergies renouvelables et en construisant un bâtiment intégré dans son climat.

Un habitat adapté au climat local permet de profiter des apports solaires au mieux, de réduire les besoins en chauffage et climatisation.

L'énergie solaire peut être utilisée pour le chauffage basse température par le sol (Plancher Solaire Direct). Il est possible de recourir également à des chaudières à bois performantes et à alimentation automatique pour chauffer l'habitat.

- En adaptant la température aux différentes pièces de sa maison et à la durée de leur utilisation.

Ainsi, 19°C suffisent dans les pièces de vie. Augmenter la température d'un degré conduit à consommer 7 % d'énergie supplémentaire.

- En utilisant des programmeurs et régulateurs de température adaptés à son mode de chauffage.

De nombreux systèmes (thermostats d'ambiance, robinets thermostatiques...) offrent une gestion automatique du confort thermique. Ces systèmes peuvent faire économiser jusqu'à 25 % d'énergie.

- En s'assurant de bénéficier d'une bonne isolation et en veillant à ventiler régulièrement son habitation.

b) Réduire ses dépenses de veilles et d'éclairage

- En éteignant systématiquement la lumière en sortant d'une pièce.

Ce geste reste encore le plus simple à réaliser et il ne demande aucun investissement.

- En abandonnant progressivement les ampoules à filament traditionnelles et les halogènes.

Les remplacer par des lampes fluo compactes (encore appelées lampes basse consommation) ou des tubes fluorescents, permet de diviser par 5 sa consommation d'électricité par rapport aux lampes à incandescence et ont une durée de vie de 8 à 10 fois supérieure. Chaque kilowattheure économisé évite le rejet de 90 grammes de CO₂ dans l'atmosphère⁸⁴.

De plus, à qualité d'éclairage sensiblement équivalente, elles minimisent les risques de brûlure accidentelle.

c) Minimiser ses consommations en eau

La production d'eau potable nécessite de l'énergie pour son captage, son épuration, sa distribution et son traitement. Par conséquent, indirectement, une consommation excessive en eau aggrave l'effet de serre.

⁸⁴ « Climat : chaud, chaud le XXI^{ème} siècle », *Le Nouvel Observateur*, 23-29 novembre 2000.

- Privilégier l'usage de la douche au bain. Ce dernier consomme 4 à 6 fois plus d'eau chaude.

d) Mieux choisir et utiliser ses appareils électroménagers

- En optimisant l'utilisation de ses équipements ménagers par le respect de quelques règles de bases.

- En remplaçant ses équipements par des appareils performants, économes en énergie.

Sur les appareils comme les lave-linge, les sèche-linge, une étiquette "Energie" indique leurs niveaux de performances. Par exemple, un réfrigérateur de "classe A" consomme trois fois moins que la moyenne actuelle de ces appareils !

Il sera rapidement amorti grâce aux économies d'énergies réalisées.

3. Les déchets

Le tri des déchets permet de favoriser le recyclage (moins de consommation d'énergie pour la production) et d'économiser les émissions de gaz carbonique. Non trié, le kilo de déchet, incinéré ou mis en décharge, dégage 640 grammes de CO₂ ou l'équivalent en méthane.

Aujourd'hui dans la plupart des communes, les collectes sélectives concernent le verre, le papier, les cartons, les métaux et certains plastiques. Tous ces matériaux sont recyclables et représentent 25 à 30 % des déchets ménagers.

4. Bien choisir ses produits

- En effectuant ses achats au plus près de son domicile : maintenir des commerces de proximité permet de limiter l'utilisation de la voiture. Les citoyens peuvent aider à cette évolution de la conception de l'urbanisme commercial en agissant auprès de leurs élus.

- En consommant de préférence des produits transportés sur les plus courtes distances

Choisir des produits de proximité permet de minimiser considérablement les émissions de gaz à effet de serre engendrées par les moyens de transports utilisés, qui sont souvent les plus polluants (camions, avions).

Par exemple, le transport de kiwis provenant du maraîcher local (dans un rayon de 25 km) rejette un millier de fois moins de gaz à effet de serre que ceux transportés par avion de Nouvelle- Zélande !

- En privilégiant les produits de saison.

Outre des transports plus longs, les exigences de production et de conservation de produits consommés hors saison (cultures sous serre chauffée, réfrigération, emballages) multiplient les consommations énergétiques nécessaires et le niveau global d'émission de gaz.

- En donnant la priorité aux produits à usages multiples, réutilisables, recyclables et recyclés au détriment des produits jetables.

Le papier recyclé utilise 5 fois moins d'énergie que du papier neuf pour être fabriqué. L'utiliser en recto - verso ou le réutiliser en brouillon multipliera encore les économies réalisées.

Figure 14

Economies d'énergie potentielles liées à la technologie en France

Usage	Kilo équivalent pétrole/habitant (moy en 1995)	Kilo équivalent pétrole/habitant (meilleure technologie possible)	Commentaires	Emissions de gaz à effet de serre (meilleure technologie possible)
Habitat	845	360		170
Confort thermique (chauffage, eau chaude)	740	300	Concerne surtout l'isolation des bâtiments	170
Electroménager	35	25	Meilleurs équipements 1995	—
Produits bruns (TV, radio)	70	35	Optimisation des systèmes de veille	—
Tertiaire (bureaux...)	505	250		100
Confort thermique	415	200	Surtout l'isolation des bâtiments	100
Autres	90	50	Optimisation des systèmes de veille	—
Industrie	775	580		270
Bien intermédiaires (matériaux)	625	450	Eco-procédés et recyclages	190
Autres activités	150	130		80
Alimentation	360	250	50% de gains sur froid et cuisson	130
Transports	805	450		400
Personnes	490	250	Pour les voitures : 4l /100 et 13 000 km	230
Marchandises	315	200	Réduction de puissance des camions, transport combiné	180
TOTAL	3290	1890		1070

Source : Commissariat général au plan

CONCLUSION

Concernant les changements climatiques futurs, certitudes et incertitudes scientifiques posent des questions éthiques et politiques difficiles. Quelle priorité donner au dérèglement climatique ? L'homme n'est-il pas en train de sacrifier l'humanité à des intérêts de très court terme en faisant risquer à la planète des modifications aussi brutales ? Comment parvenir suffisamment rapidement à une solidarité internationale et responsable sur ce dossier ?

Certains constats peuvent d'ores et déjà être affirmés :

- les activités humaines en produisant des gaz à effet de serre à une échelle inégalée depuis des millions d'années, ont acquis la capacité de modifier la composition chimique de l'atmosphère dont les effets potentiels sont vraisemblablement graves et difficilement réversibles sur le climat.
- les risques et dangers sont d'une ampleur telle qu'ils menacent la régulation climatique planétaire et donc l'humanité.
- les incertitudes scientifiques qui demeurent ne sont pas d'une nature telle, par rapport aux certitudes, qu'elles doivent constituer un frein à l'action.
- la prévention des risques et la prise de décision passe par une réelle information scientifiquement fondée . Il faut éviter le pessimisme et l'angoisse permanents qui risqueraient de « banaliser » le phénomène du réchauffement planétaire et de paralyser les réactions. Il est nécessaire de montrer au contraire que les phénomènes liés au dérèglement climatique font l'objet d'études, d'évaluation et de solutions possibles.

Si la préservation d'un climat stable est reconnu comme un objectif essentiel, il est nécessaire d'agir rapidement. Nous sommes tenus par une contrainte de délai : passé un certain seuil, la nature aura pris notre relais (les « puits de carbone », marais, forêts, océans, devenant des « sources ») et nous ne pourrons alors plus du tout empêcher l'augmentation de la concentration de l'atmosphère en gaz à effet de serre, jusqu'à un niveau que personne ne connaît.

Les mesures techniques ne suffiront pas : les ordres de grandeur que nous avons évoqués précédemment, tant en rythme qu'en ampleur, ne peuvent s'en satisfaire. L'homme se doit donc de s'interroger sur sa volonté de préserver, certes la planète, mais surtout l'humanité elle-même, de chocs catastrophiques scientifiquement vraisemblables. Pourtant, de nombreuses actions favorables à une certaine maîtrise du dérèglement climatique en cours ont aussi d'autres vertus, telles qu'une moindre vulnérabilité des organisations sociales et économiques ou la prévention de conflits internationaux.

Quel effort représenterait l'action ? Diviser par deux la consommation d'énergie en 20 ans, par exemple, signifie la réduire de 3,5% par an : cela reste à notre portée si nous optons pour une société énergétiquement efficace, qui réponde rationnellement aux connaissances actuelles de nos moyens et de nos contraintes. Ce choix n'est, clairement, pas compatible avec le « droit à tout sans limitation pour tout le monde » ; c'est un choix de sobriété. Son acceptabilité dépendra d'abord de la conviction de tous que les efforts seront équitablement partagés. Et c'est sans doute là que réside aujourd'hui la principale difficulté à lever. Le premier déterminant de notre avenir n'est donc pas technique, mais culturel.

En pratique, les entreprises qui réduisent aujourd'hui leurs émissions peuvent contribuer à faire progresser l'ensemble du secteur et de ses partenaires en échangeant et diffusant leurs réalisations, difficultés et solutions. Elles y gagnent en robustesse, en marges de manœuvre et souvent même en finances. Au cours de l'année 2001, l'Institut Montaigne a commencé à explorer les actions des entreprises en matière de transports et d'approvisionnements énergétiques. Beaucoup reste à examiner et à inventer, dans ces domaines et dans d'autres, pour que les entreprises contribuent activement à répondre au défi climatique, pour elles-mêmes et pour la planète.

BIBLIOGRAPHIE

OUVRAGES

Robert Kandel, « L'incertitude des climats », Hachette, Collection Pluriel, 1998.

Jacques Labeyrie, « L'Homme et le Climat », Nouvelle édition Sciences, Denoël, 1985.

François Ploye, « L'effet de serre : science ou religion du XXI^{ème} siècle ? », préface de Hervé le Treut, éditions Naturellement, 2000.

Philippe Roqueplo, « Climats sous surveillance : limites et conditions de l'expertise scientifique », Economica, 1987.

« Coup de chaud sur la planète : les dérèglements climatiques » ; articles de presse regroupés du journal *Le Monde*, 2001.

« Conséquences scientifiques, juridiques, et économiques du Protocole de Kyoto », Académie des Sciences, novembre 2000.

Hervé Le Treut et Jean-Marc Jancovici, « L'effet de serre : allons nous changer le climat ? », *Domino* 233, Flammarion, 2001.

RAPPORTS

Changement climatique :

« Summary for Policymakers : a report for working Group I of the Intergovernmental Panel on Climate Change », 2001.

« Rapport spécial du GIEC – groupe 3 : Scénarios d'émissions : résumé à l'intention des décideurs », 2000.

Mémento des décideurs, « Maîtriser le risque de changement climatique », Premier Ministre, Mission interministérielle de l'effet de serre, juin 1999.

« Impacts potentiels du changement climatique en France au XXI^{ème} siècle », Premier Ministre, Mission interministérielle de l'effet de serre 2^{nde} édition, 2000.

Programme national de lutte contre le changement climatique, République Française, 2000/2010.

« Assessment of potential effects and adaptations for climate change in Europe », The Europe Acacia Project, 2000.

« Gaz à effet de serre : conséquences pour l'industrie des accords internationaux », Price Waterhouse Coopers, août 1999.

Transports et Environnement :

Dominique Dron, Michel Cohen de Lara, « Pour une politique soutenable des transports », Cellule de prospective et de stratégie, collection des Rapports Officiels, Documentation française, 2000.

Alain Morcheoine, « Transports de marchandises, énergie et environnement : quels enjeux ? », ADEME, mai 2001.

Energie :

« EDF et les énergies renouvelables », septembre 2000.

REVUES & BROCHURES SPECIALISEES

« L'effet de serre », La Jaune et la Rouge, Revue mensuelle de la société amicale des anciens élèves de l'Ecole Polytechnique, mai 2000.

« La crise climatique », L'Ecologiste, hiver 2000.

« Gaz carbonique et effet de serre : L'automobile citoyenne », Comité des constructeurs Français d'Automobiles, 2001.

« Parc automobile et effet de serre », Les cahiers du CLIP : Club d'Ingénierie Prospective Energie et Environnement », mars 2001.

« Nouvelles technologies de l'Energie », Commissariat à l'Energie Atomique, Clefs, Hiver 2000-2001.

ARTICLES PARUS DANS DES REVUES SPECIALISEES

Pierre Godé, « Le Droit de l'avenir : un droit en devenir », Mélanges, L'esprit du Droit, (1999).

Philippe Domergue, « Réduire les effets externes des transports sur l'environnement », Responsabilité et Environnement, Annales des Mines, octobre 2000.

Dominique Dron, « Transports : le grand virage », Sociétal, n°31, 1^{er} trimestre 2001.

Alain Morcheoine et Jean-Pierre Orfeuil, « Pour une approche stratégique des questions transport et environnement », Responsabilité et Environnement, Annales des Mines, janvier 2001.

Olivier Godard, « L'expertise économique du changement climatique planétaire », Responsabilité et Environnement, Annales des Mines, janvier 2001.

CONFERENCES

Institut Montaigne : Groupe de travail « L'Homme et le Climat » (2001) :

- « Enjeux et problématiques des négociations internationales sur le climat », 6 mars 2001.
- « Les scénarios climatiques au XXI^{ème} siècle », 10 avril 2001.
- « Transports de voyageurs et réduction des gaz à effet de serre », 26 juin 2001.
- « Transports de marchandises et réduction des gaz à effet de serre », 12 juillet 2001.
- « Energie et climat : risques et marges de manœuvre », 16 octobre 2001.
- « Réalisations industrielles pour combattre le changement climatique », 11 décembre 2001.

Colloques 2000-2001 :

- « L'automobile du futur », rencontres internationales de prospective du Sénat, 11 octobre 2000.
- « Résultats et suite de la conférence de La Haye sur le changement climatique », Assemblée Nationale, 14 décembre 2000.
- « Tempêtes sur l'Avenir : pour une mobilisation contre le réchauffement climatique », rencontres internationales de prospective du Sénat, 21 février 2001.
- « L'effet de serre et la politique énergétique », cycle sur l'énergie, IFRI : Institut Français des relations internationales, 14 mars 2001.
- « Gaz à effet de serre : quelles stratégies pour les industriels ? Vers un marché des permis négociables », Matinée-débats, Hôtel Crillon, 6 mars 2001.

- « L'effet de serre : contributions françaises et perspectives d'action », Rencontres nationale de la recherche scientifique, Ministère de la Recherche, 21 mai 2001.
- « Bilan annuel du Programme national de lutte contre le changement climatique », Mission interministérielle de l'effet de serre, 19 et 20 juin 2001.

SITES INTERNET

<http://www.sosclimat.org> : site spécialement créé par le collectif « SOS Climat » propose de participer à la mobilisation contre l'effet de serre à travers l'élaboration d'outils et le développement d'actions citoyennes.

<http://www.effet-de-serre.gouv.fr> : site de l'organe officiel français de lutte contre le changement climatique : la Mission interministérielle de l'effet de serre. Propose un suivi complet de la situation française.

<http://www.ademe.fr> : site de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie. Propose au grand public dans sa rubrique particulière des plaquettes à consulter sur les thèmes de l'énergie, les transports, les déchets, etc.

<http://www.unfccc.de/portfranc> : portail du site officiel des Nations Unies. Le site présente l'actualité et les actions internationales et nationales de lutte contre le changement climatique.

<http://www.cnrs.fr/dossiers/dosclim/index.htm> : sites de Météo - France et du CNRS sur lesquels on retrouve de nombreuses informations pour comprendre les mécanismes météorologiques de notre climat.

<http://www.manicore.com> : Site de Jean-Marc Jancovici (Ingénieur-consultant) : très riche en informations et en ordres de grandeur éclairants sur les questions environnementales et énergétiques