

La prévention de l'effet de serre

Yves MARTIN

On connaît encore très mal l'ampleur des conséquences d'un changement de climat qui serait du à l'effet de serre et la rapidité de leur manifestation.

Face à ces incertitudes faut-il organiser dès à présent une prévention coûteuse ? Je vais vous dire pourquoi la réponse à cette question est positive puis je vous présenterai qui est responsable de l'effet de serre et ce que l'on peut faire pour limiter le changement de climat.

POURQUOI AGIR ?

Cinq points justifient une action immédiate.

1er point

La pollution de notre atmosphère par les gaz à effet de serre est un phénomène cumulatif, c'est-à-dire que si l'on stabilisait les émissions de ces gaz, leur concentration continuerait à croître. Pour stabiliser par exemple la concentration de CO₂ dans l'atmosphère, il faudrait réduire nos émissions de 60% au moins, c'est-à-dire diviser nos consommations d'énergie fossile par 2,5 ; et tout retard dans le déclenchement de la prévention a des effets importants sur les concentrations futures et sur l'ampleur des actions à mener plus tard.

2ème point

Les scientifiques estiment à juste titre qu'il n'est pas possible qu'il n'y ait pas, à très long terme, un phénomène stabilisateur qui intervienne lorsque les concentrations de gaz à effet de serre auront fortement augmenté ; mais les rétroactions identifiées jusqu'ici ont au contraire globalement un effet amplificateur, c'est-à-dire que les réactions du «système terre» à une élévation de température, conséquence de nos pollutions, sont, dans un premier temps, d'amplifier ce réchauffement.

3ème point

Deux effets retardateurs, de nature très différente, nous masquent les conséquences futures de nos habitudes actuelles de pays industrialisés ; ces deux effets sont dûs l'un à l'océan et l'autre à la démographie des pays du Sud : d'une part la très grande inertie thermique de l'océan et son rôle dans le cycle du CO₂ retardent le réchauffement de l'atmosphère et d'autre part les 3/4 de la population terrestre, dans les pays du Sud, ne contribuent encore qu'au quart des émissions de gaz à effet de serre. Le développement de ces pays est à la fois trop lent pour eux et très menaçant pour l'atmosphère. Ce dernier point montre que tout effort de réduction des émissions des pays du Nord sera doublement efficace en diminuant leur propre contribution (aujourd'hui dominante) mais aussi en modifiant le modèle que les pays du Sud s'efforcent d'imiter.

4ème point

Deux chiffres enfin méritent d'être rapprochés : d'une part les scientifiques es-

timent qu'une différence d'énergie incidente provenant du soleil de $0,7 \text{ W/m}^2$ (en valeur moyenne annuelle) a suffit pour nous faire passer d'une glaciation au climat actuel et, d'autre part, l'augmentation des gaz à effet de serre présents dans l'atmosphère provoque déjà un apport énergétique de 2 W/m^2 supplémentaires.

5ème point

Si les avis des scientifiques divergent sur la vitesse du réchauffement et plus encore sur les conséquences régionalisées de ce réchauffement, il y a une certitude qui est que le jour où les premières manifestations du changement de climat seront évidentes, il sera trop tard pour freiner son évolution.

Lorsque des ingénieurs construisent une installation potentiellement dangereuse qu'ils ne savent pas calculer avec précision, ils prennent un coefficient de sécurité. Chacun d'entre nous s'assure contre les risques dont il ne pourrait assumer seul les conséquences.

La démarche à adopter ici consiste au minimum à s'assurer en choisissant si possible une assurance dont la prime ne soit pas perdue en cas de non sinistre. C'est-à-dire que l'on doit engager à coup sûr les actions de prévention qui sont utiles par ailleurs.

Or vous allez voir que beaucoup d'actions légitimes pour d'autres raisons trouvent un surcroît d'utilité, au nom de la prévention de l'effet de serre.

QUI EST RESPONSABLE DE L'EFFET DE SERRE ?

La réponse est simple : toutes les activités de production et la plupart de nos actes de consommateurs contribuent plus ou moins à l'effet de serre en émettant des gaz divers.

Ces divers gaz à effet de serre ont des efficacités très différentes, dont il faut tenir compte pour apprécier les responsabilités de chacun.

Figure 1. Ce tableau compare les contributions au réchauffement, intégrées sur 20 ou 100 ans, de 1 kg de divers gaz émis au même moment.

Nous avons retenu dans nos travaux l'efficacité à 20 ans et dans tout ce qui suit, j'adopterai, comme unité de contribution à l'effet de serre, l'effet d'une tonne de carbone émise sous forme de CO₂ et exprimerai toutes les émissions en tonne d'équivalent carbone.

EFFICACITÉ RELATIVE DES DIVERS GAZ A EFFET DE SERRE		
EFFET DE 1 KG DE GAZ COMPARÉ A 1 KG DE CO ₂ CUMULÉ SUR :		
	20 ANS	100 ANS
CO ₂	1	1
CH ₄	63	21
N ₂ O	270	290
CFC-12	7100	7300
HCFC-22	4100	1500

Figure 1

Un atome de carbone a un effet 23 fois plus fort (sur 20 ans) ou 8 fois plus fort (sur 100 ans) lorsqu'il donne naissance à une molécule de CH₄, que lorsqu'il brûle pour donner du CO₂

Tout ce qui suit concerne les émissions de notre pays.

Figure 2. Face à une responsabilité aussi générale, chacun a tendance à penser que son voisin est plus pollueur que lui, qu'il pourrait en tout cas réduire sa pollution à moindre coût, et que c'est donc lui qui devrait commencer. Par ailleurs il est clair que les innombrables actions possibles pour réduire les émissions de gaz à effet de serre ont des coûts très différents rapportés à la tonne d'équivalent carbone que l'on évite d'émettre.

Nous sommes ainsi confrontés à deux difficultés :

- mobiliser malgré la dilution des responsabilités ;
- sélectionner les actions qui ont le meilleur rapport coût-efficacité pour que la prévention ne soit pas ruineuse.

EMISSIONS FRANCAISES DE GAZ A EFFET DE SERRE (EN MILLIONS DE TONNES D'EQUIVALENT CARBONE)		
PAR GAZ		
CO ₂	105	
CH ₄	95	
CFC	123	
N ₂ O	14	
GAZ DES COMBUSTIONS (AUTRES QUE CO ₂)	120	
PAR ACTIVITE		
ENERGIE	234	51 %
AGRICULTURE	40	9 %
DECHETS PUTRESCIBLES	60	13 %
CFC	123	27 %
TOTAL	457	100 %
FORETS	- 7	

Figure 2

Nous avons donc commencé à inventorier les actions les moins coûteuses dans tous les domaines et à les classer par coût croissant pour bien situer qui était concerné par les actions les plus urgentes.

Pour délimiter notre champ d'investigation, c'est-à-dire pour ne pas nous intéresser à des actions d'un coût excessif, nous sommes partis de l'objectif suggéré au colloque de Toronto en juin 1988 qui consistait à réduire les émissions de CO₂, c'est-à-dire les consommations d'énergie fossile, de 20% en 15 ans.

**REDUCTION DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE
PAR RECOURS AUX TECHNOLOGIES DISPONIBLES**

COUT (en F/t de C)	TECHNIQUE	GISEMENT en M de t de C
NUL	Certaines économies d'énergie fossile	22
<50 F	Substitution de nouveaux produits aux CFC et récupération des CFC	90
60 F	Abandon de la mise en décharge des déchets putrescibles	50
200 F	Epuration des fumées dans l'industrie	10
350 F	Boisement	6
600 F	Pot catalytique sur les automobiles	40
0 à 1000 F	Autres économies d'énergie fossile	12
0 à 1000 F	Substitution d'électricité nucléaire à de l'énergie fossile	10
< 1000 F	Développement de l'hydroélectricité	1
< 1000 F	Autres energies renouvelables	6

**Au total nos émissions actuelles de 460 Mt peuvent être réduites de 250 Mt
pour un coût de l'ordre de 50 GF**

Figure 3

Mt : millions de tonnes GF : milliards de francs

En nous inspirant des enseignements tirés des économies d'énergie qui ont été faites lors des chocs pétroliers, nous avons estimé que, pour obtenir cette réduction, il fallait mettre en oeuvre toutes les économies d'énergie fossiles dont le coût est inférieur à 1.000 F ou 2.000 F par tonne de carbone que l'on évite d'émettre sous forme de CO₂.

Nous nous sommes intéressés, dans un premier temps, à toutes les actions de prévention, dans tous les domaines, dont le coût est inférieur à 1.000 F/t de carbone.

Concept de coût externe

Les économistes appellent «coûts externes d'une activité», des coûts engendrés par cette activité, qui sont subis par la collectivité mais qui ne sont pas supportés financièrement par celui qui les engendre, dans le cadre du fonctionnement habituel du marché.

Si l'objectif de Toronto est pertinent, c'est-à-dire si l'on peut admettre que le coût de l'obtention de cette réduction de 20% est compensé par les avantages à en attendre, au plan du changement de climat, cela signifie que les coûts externes liés à l'effet de serre occasionnés par l'émission de 1 tonne de carbone sous forme de CO₂ seraient de l'ordre de 1.000 à 2.000 F.

Le résultat de cette approche est présenté dans le tableau suivant (**figure 3**). Ce tableau ne reprend que des actions de prévention fondées sur des technologies disponibles dès à présent et présente l'impact qu'aurait leur mise en oeuvre sur notre niveau d'émission actuel. Cet impact est très important mais, s'il faut 15 ans pour les mettre en oeuvre, notre activité aura entre temps augmenté de 30%.

QUELLES ACTIONS ENGAGER :

Je vais vous les commenter par domaine d'activité et non par coût croissant comme dans le tableau.

La forêt

La **figure 4** montre que la forêt française a déjà une contribution positive à la prévention de l'effet de serre :

- son extension progressive conduit à un accroissement annuel du stock de carbone de près de 7 Mt qui pourrait être accru de 50% ;
- 3 Mt/an sont durablement stockés sous forme de bois d'oeuvre, chiffre qui

pourrait être doublé ou triplé si nous utilisions autant de bois dans la construction que les USA, le Japon ou la Scandinavie ;

- l'utilisation du bois comme source d'énergie nous évite de déstocker 7 Mt/an de carbone fossile, chiffre qui pourrait être augmenté de 50 à 100% ;

- le stock de carbone dans l'humus du sol forestier est important. Nous connaissons très mal les possibilités d'accroissement de ces stocks de carbone dans le sol et les risques de réduction de ce stock sous l'effet du réchauffement.

Au total notre forêt nous évite de contribuer à l'effet de serre pour 18 Mt d'équivalent carbone par an et son extension rejoint l'objectif que notre pays a, par ailleurs, d'utiliser les friches rendues disponibles par l'accroissement des rendements agricoles.

STOCKS ET FLUX DE CARBONE DE LA FORET FRANÇAISE (en millions de tonnes)

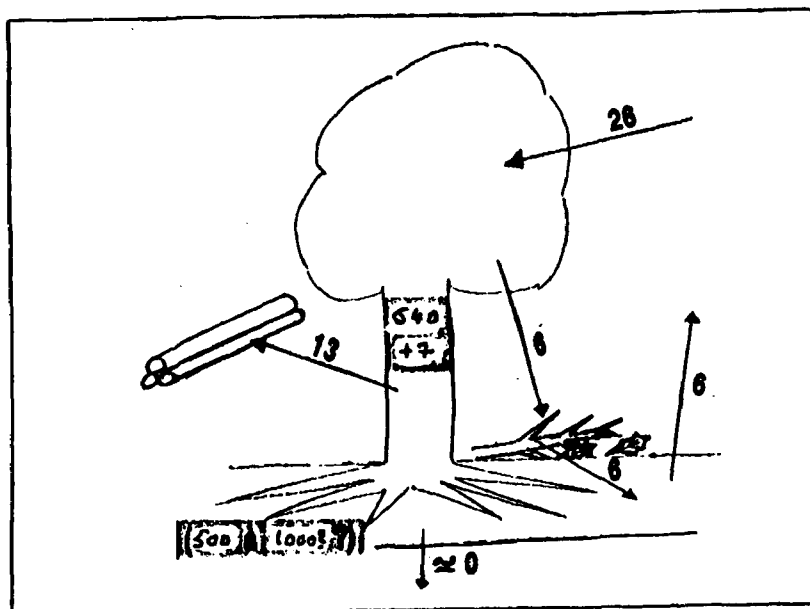


Figure 4

L'agriculture contribue à l'effet de serre par trois voies principales :

- les bovins,
- le riz,
- les engrais azotés,

- **les bovins** par leurs fermentations intestinales sont une source très importante de méthane, équivalent au quart de nos émissions de CO₂ liées à l'énergie fossile. Si l'on imputait des coûts externes d'effet de serre de 1.000 F par tonne d'équivalent carbone aux élevages de bovins, le coût à la production de la viande bovine serait accru de 50% ce qui pourrait susciter un déplacement de nos consommations vers les viandes blanches produites par les porcs ou les volailles qui n'ont pas le même inconvénient (déplacement déjà amorcé d'ailleurs) ;

- **la culture du riz** est peu développée chez nous, mais chaque ha dégage des quantités importantes de méthane si bien que le coût externe d'effet de serre est supérieur au coût actuel de production du riz. Si l'on ne parvient pas à réduire les émissions de méthane, il y aurait un intérêt certain à déplacer l'offre vers d'autres céréales ;

- **les engrais azotés**, principalement lorsqu'ils sont en excès dans le sol, peuvent donner naissance à des dégagements de N₂O. On sait quels inconvénients présente pour la pollution des eaux un excès d'engrais azotés ; la prévention de l'effet de serre ajoute un intérêt supplémentaire à une bonne maîtrise des apports d'engrais.

- le stock de carbone des sols cultivés est très important (2,5 Gt) ; nous ne savons pas dans quel sens il évolue actuellement et si les pratiques agricoles pourraient être modifiées utilement pour l'accroître.

Les déchets putrescibles

La fermentation anaérobie qui se produit lors de la mise en décharge des déchets organiques putrescibles, dégage du méthane qui pourrait représenter une contribution à l'effet de serre égale à la moitié de celle du CO₂ liés à nos consommations d'énergie fossile. La suppression de cette source de méthane en remplaçant les décharges par des usines d'incinération ou de compostage est peu coûteuse (60 F/t de C) et doit être réalisée en priorité.

Les chlorofluorocarbones (CFC)

Outre leur effet sur la couche d'ozone, nos émissions de CFC contribuent aujourd'hui au réchauffement plus que nos émissions de CO₂ liées à l'énergie fossile. Les récentes décisions internationales de Montréal et de Londres ont prononcé l'interdiction de produire des CFC au-delà de l'an 2000, pour protéger la couche d'ozone, mais le problème n'est pas réglé pour autant :

- d'une part les stocks de CFC contenus dans les équipements et les installations qui l'utilisent représentent deux ans et demi de nos émissions de CO₂. Il faut s'attacher à récupérer ces produits après usage partout où c'est pratiquement possible ;

- d'autre part si les substituts qu'on leur a trouvés sont satisfaisants du point de vue de la couche d'ozone, ils conservent une efficacité redoutable pour piéger les infrarouges (4.000 fois plus forte que pour les CO₂).

Il importe donc de limiter le plus possible l'usage de ces substituts eux-mêmes ce qui pose notamment le problème de la climatisation. Il semble que les pertes de fluides de réfrigération soient aujourd'hui telles que la climatisation d'un bâtiment pourrait contribuer à l'effet de serre beaucoup plus que le chauffage au fioul de ce même bâtiment (20 fois ?). Des progrès sont possibles pour limiter les fuites, mais une évolution de la conception architecturale de nos bâtiments est indispensable pour éviter une croissance forte de la demande de climatisation sous l'effet du réchauffement du climat, conjugué avec un effet de mode qu'EDF cherche à encourager pour écouler les Kwh d'été de ses centrales nucléaires.

Je terminerai par **le problème le plus aigu qui est celui de l'énergie fossile** :

Nous savons bien que l'utilisation d'une énergie fossile peu coûteuse a été un facteur clef du développement économique des nations industrielles et a très fortement modelé nos habitudes de vie.

Est-il dans ces conditions techniquement, économiquement et politiquement concevable d'organiser une réduction massive de nos consommations d'énergie

fossile (-20% en 15 ans nous a-t-on suggéré à Toronto, puis -60% pour stabiliser les concentrations en CO₂ de l'atmosphère) ? Ce dernier objectif pour une population qui aura doublé avant le milieu du siècle prochain, et où la part des pays du Sud aura fortement augmenté, suppose une division par 5 en moyenne des émissions de CO₂ par habitant dans les pays industrialisés.

Pour juger de l'accessibilité d'un tel objectif, regardons d'abord ce que sont aujourd'hui les émissions de CO₂ par habitant dans les divers pays industrialisés (figure 5) (le Japon est au même niveau que la France).

On voit que les pays comme la France et le Japon, qui n'ont pas eu la chance de disposer sur place de ressources abondantes en énergie fossile, ont développé des politiques énergétiques qui les ont conduits à des niveaux d'émission relativement faibles sans pour autant compromettre leur compétitivité : ils sont performants sur le plan de l'effet de serre sans l'avoir cherché.

U.S.A	5
EST	3,8
R.F.A	3,2
C.E.E.	2,3
FRANCE	1,9
ESPAGNE	1,4
Pays en voie de développement	0,4

Figure 5

Emissions de CO₂ (énergie fossile) par habitant et par an en tonnes de carbone

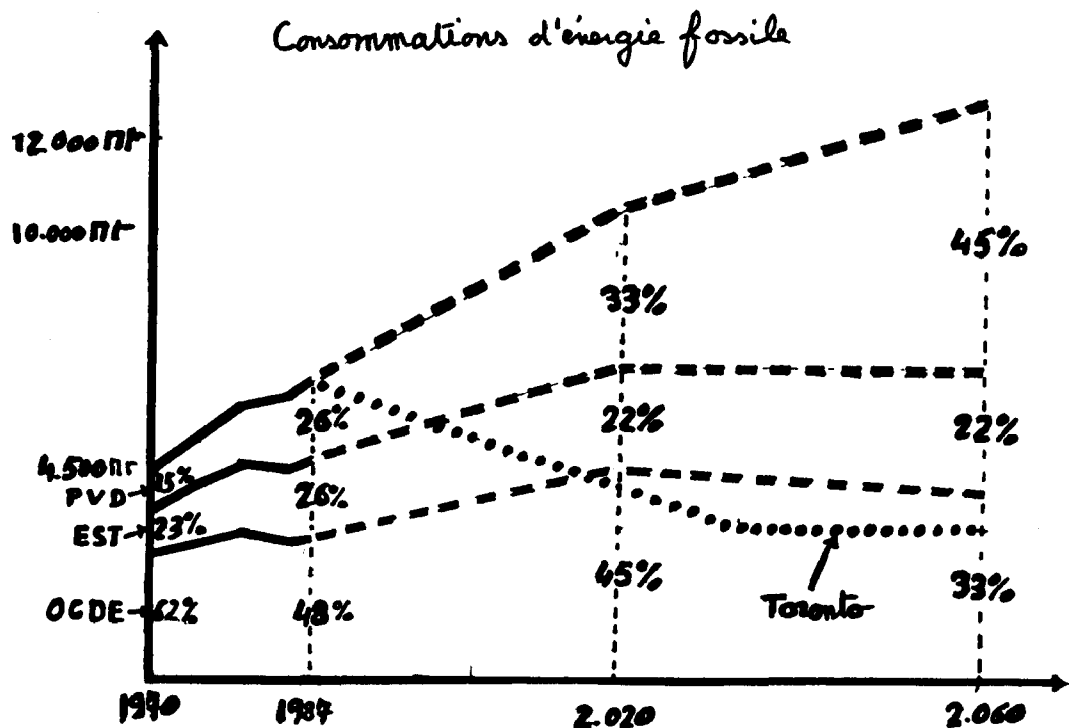
La voie retenue par ces pays a été la suivante : une politique d'économie d'énergie fondée sur une énergie chère, en particulier en matière de carburants fortement taxés, et développement nucléaire.

La France a su réduire ses émissions de 25% depuis 1980 tout en connaissant

une croissance de 20%, grâce à sa politique d'économie d'énergie (pour 1/3) et à sa politique nucléaire (pour 2/3).

Sans prétendre que le modèle français puisse être généralisé, il est intéressant de voir ce qui se passerait si l'ensemble des pays industrialisés avaient le même taux de nucléaire et la même efficacité énergétique que le France (c'est-à-dire le même rapport Produit Intérieur Brut sur consommation d'énergie) : les émissions totales de la planète seraient réduites de 40%.

Mais on ne doit jamais oublier l'émergence des besoins des pays en développement dont la consommation d'énergie fossile ne peut que croître fortement et nous obligera à réduire la nôtre plus encore (figure 6).



Le nucléaire, qui me paraît un mal nécessaire, n'est pas applicable bien entendu avant très longtemps dans les pays du Sud ; mais les pays qui en ont la capacité technologique, n'ont-ils pas le devoir d'adopter le nucléaire ?

Il est en tout cas indispensable d'intensifier la recherche sur les économies d'énergie fossile, qui sont applicables partout et sur les énergies renouvelables qui ont un rôle particulier à jouer dans les pays du Sud.

Le prix du pétrole a constamment diminué depuis 1950 sauf pendant la période 1974-1984 où il a augmenté sous l'effet des chocs pétroliers. Un tel contexte est très défavorable à l'innovation pour les économies d'énergie. Autant notre industrie a fait des prouesses étonnantes pour économiser la main d'oeuvre dont le coût a connu une croissance régulière parfaitement prévisible, autant elle a peu fait pour économiser une énergie dont le coût était soit décroissant soit imprévisible.

La mise en valeur des énergies renouvelables a subi jusqu'ici le même sort que le développement de technologies économes en énergie. Un gros effort et surtout une grande continuité dans les crédits publics consacrés aux deux thèmes de l'économie d'énergie et du développement des énergies renouvelables, sont indispensables, mais ils ne suffiront pas à développer et diffuser les technologies correspondantes si les prix des énergies fossiles restent bas ou imprévisibles.

Je veux faire un commentaire particulier sur les transports. Alors que nous avons réduit d'un quart nos émissions de CO₂ depuis 1980, celles qui résultent des transports augmentaient d'un tiers et représentent aujourd'hui près de 40% du total.

Les transports ont la particularité d'engendrer des coûts externes divers et globalement très importants : coûts d'infrastructures, de congestion, d'accidents, coûts d'environnement local (bruit et pollution locale) et coûts d'effet de serre enfin. Les péages et la fiscalité sur les carburants ont pour objet de répercuter ces coûts sur les usagers de la route, mais cette répercussion est tout-à-fait insuffisante dans deux cas :

- pour le transport routier de marchandises ;
- pour les voitures particulières en agglomération.

Cette sous-facturation du coût des déplacements induit un volume de déplacement qui excède leur utilité sociale et crée des distorsions de concurrence au détriment des transports collectifs qui ne présentent pas les mêmes inconvénients notamment vis-à-vis de l'effet de serre.

Examinons le cas de l'agglomération parisienne où les bouchons augmentent de 11% par an :

Y. MARTIN

- d'après les calculs effectués à l'occasion de l'élaboration du plan stratégique, à 30 ans, des déplacements, dans la région Ile-de-France, les automobilistes, qui disposent gratuitement de la voirie publique, paieraient moins du tiers du coût global de leurs déplacements ;

- pour éviter que les transports collectifs ne soient délaissés en faveur de l'automobile, ces transports sont subventionnés, si bien que l'utilisateur ne supporte là aussi que le tiers du coût.

La conséquence de cette situation est double :

- le déficit des transports collectifs est considérable et les collectivités qui le supportent hésitent à les développer autant qu'il le faudrait ;

- le coût de tous les déplacements étant artificiellement minoré et le prix des terrains décroissant très vite quand on s'éloigne de Paris, on a créé involontairement une incitation très forte à habiter loin ; cette incitation, couplée au goût de nos concitoyens pour le pavillon individuel, conduit à un urbanisme de moins en moins dense, générateur de besoins de déplacements toujours croissants, qu'il sera très difficile de satisfaire ultérieurement par des transports collectifs qui sont d'autant plus coûteux que le tissu urbain est peu dense.

Il est urgent d'instaurer un péage urbain comme le font déjà Singapour, Hong-Kong et comme l'envisagent les pays scandinaves et la Hollande.

Pour ne l'avoir pas déjà fait nous créons des structures urbaines peu réversibles qui sont très néfastes au plan de l'effet de serre.

D'une façon plus générale, si l'on veut organiser un effort planétaire de réduction des consommations d'énergie fossile : cet effort doit être à la fois équitablement réparti entre les divers pays, sinon il ne sera pas entrepris, et il doit susciter de façon décentralisée la mise en oeuvre de toutes les économies de CO₂ les moins coûteuses. La seule façon de remplir ces deux conditions est de mettre en place une fiscalité progressivement croissante sur l'énergie fossile qui impute aux utilisateurs de cette énergie les coûts externes d'effet de serre.

Pour commencer, cette fiscalité devrait être instaurée simultanément et au même rythme dans tous les pays de l'OCDE pour ne pas introduire de distorsion de concurrence entre leurs entreprises. (Elle serait étendue ultérieurement aux autres pays).

Cela ne signifie pas que les impôts doivent globalement augmenter : les charges sociales payées par les entreprises et la TVA payée par les ménages devraient être abaissées de façon à maintenir constante la recette fiscale dans chaque pays.

Le taux de cette fiscalité devrait atteindre en quelques années 1.000 F par tonne de carbone ce qui correspondrait à un doublement du coût de l'énergie brute que nous importons.

Ce que nous ferions ainsi pour prévenir l'effet de serre, ne ferait qu'anticiper sur l'évolution inéluctable des prix de l'énergie fossile qui n'est pas renouvelable et qui donc sera de plus en plus rare et coûteuse à produire. Prévenir l'effet de serre nous rendrait aussi moins tributaire du Moyen-Orient.

Au total, je suis convaincu que prévenir l'effet de serre est possible et n'est pas ruineux, pour ce qui concerne tout au moins les actions à engager dans les pays industrialisés : les mesures inventoriées dans le cas de la France permettraient de réduire ses émissions actuelles totales de 50% pour un coût de l'ordre de 8 pour mille du PIB soit moins d'une demi-année de croissance.

La prévention dans les pays du Sud peut par contre nous coûter beaucoup plus cher puisqu'ils ne sont pas capables d'assurer à la fois leur développement et la prévention de l'effet de serre, d'autant qu'ils risquent d'être affectés plus que les autres par le changement de climat. Nous nous sommes engagés à les aider, sans savoir encore ce que cela nous coûtera.

Au total :

pour engager cette prévention, il faut surmonter trois difficultés :

- le coût politique des actions évoquées est fort car il faut susciter des inflexions notables de nos modes de vie ;

Y. MARTIN

- aucun pays n'a intérêt à les entreprendre si les autres n'en font pas autant car un effort solitaire serait vain ;

- les pays du Sud ne feront rien si on ne les aide pas.

Tel est l'enjeu de la négociation internationale qui va s'ouvrir.

Réussirons-nous ? Je ne sais, mais souhaitons-le !

Yves MARTIN
Ingénieur Général des Mines
Président du Groupe interministériel sur l'effet de serre