

Politique énergétique nationale et lutte contre l'effet de serre

par Henri PREVOT
ingénieur général des mines

La lutte contre le changement climatique ne sera efficace que si elle conduit à diviser par deux les émissions mondiales de gaz à effet de serre, alors même que les émissions depuis les pays en voie d'industrialisation augmenteront beaucoup. C'est dire combien les émissions des pays développés devront diminuer. Cet article présente un scénario de division par trois en trente ans des émissions françaises de gaz carbonique.

*L'objectif de division par trois pourrait être atteint sans modification rédhitoire de comportement : au lieu d'augmenter de 1 ou 2 % par an, la consommation finale d'énergie devrait être stabilisée, un changement historique sans doute, mais qui, grâce au progrès technique, n'interdirait pas une amélioration du confort thermique ni une augmentation de 30 ou 40 % des distances parcourues sur route ou par avion. Par contre, l'appareil de production et de consommation d'énergie serait profondément modifié, ce qui générerait un important volume d'activité dans tous les secteurs d'économie ; ce serait une activité **attachée au territoire national** donc non susceptible d'être délocalisée. Par ailleurs, la sécurité d'approvisionnement serait considérablement améliorée puisque notre économie, même privée de tout approvisionnement en gaz et en pétrole, pourrait continuer à fonctionner.*

Il serait évidemment préférable que la France ne soit pas seule à s'engager dans une telle politique, mais le scénario montre qu'elle pourrait réduire fortement ses émissions même si elle était seule car, pour la plupart, les mesures à prendre relèvent de sa responsabilité et, comparées au PIB, sont d'un coût modéré. Notre pays pourrait donc à tout le moins prendre une position en pointe susceptible d'entraîner d'autres pays.

Ces réflexions affinent et prolongent celles qui ont été présentées dans un article paru dans la revue Esprit (N° d'août-septembre 2003) et dans Réalités industrielles (numéro daté d'août 2003).

1- Lutte contre l'effet de serre éclipse et sécurité d'approvisionnement

Comme la consommation d'énergie est responsable des trois quarts du total des émissions de gaz à effet de serre, la lutte contre le changement climatique devient un des objectifs de toute politique énergétique.

Quant à l'objectif de sécurité d'approvisionnement, il présente deux volets : à court terme, pouvoir réagir à des crises d'approvisionnements dues à des accidents, des attentats, des troubles ou des difficultés politiques ; à long terme, préparer notre organisation économique à une raréfaction des sources d'énergie ou en tous cas à une augmentation des coûts de production donc des prix mondiaux.

Or si l'on veut limiter les émissions de gaz carbonique de sorte que la température moyenne n'augmente pas de façon démesurée, il faut savoir laisser sous terre **les deux tiers** ou au moins la moitié du carbone fossile accessible. Les éventuelles possibilités de séquestration de gaz carbonique ne modifient guère ce constat.

De la sorte, **quiconque se préoccupe de l'épuisement des ressources fossiles suppose, même s'il ne s'en rend pas compte, qu'il a complètement perdu la bataille contre le changement climatique.**

Cela mérite quelques mots d'explication.

Le GIEC, groupe intergouvernemental d'étude du climat, a établi des courbes d'émissions de gaz à effet de serre conduisant à différentes valeurs de concentrations, exprimées en équivalent gaz

carbonique. A chaque niveau de concentration correspond une augmentation de la température moyenne par rapport à la période préindustrielle. La complexité des phénomènes en cause a pour conséquence que l'augmentation de température imputable à l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre est entachée d'une incertitude assez large. Quoi qu'il en soit, si la concentration atteint 450 ppm, l'augmentation de température par rapport à 1990 sera de 1,5 à 4 °C ; si elle atteint 1000 ppm, l'augmentation de température sera de 3,5 à 8,7 °C (voir le Synthesis report 2001 p. 99). Tous les modèles prévoient que la hausse de température sur les continents sera très variable d'une région à l'autre et en moyenne sensiblement supérieure à celle des océans.

Si l'on regarde les graphiques du GIEC, la surface située sous les courbes d'émissions donne une indication - ne serait-ce qu'en ordre de grandeur - des quantités émises, en tenant compte du fait que le globe absorbe chaque année une quantité à peu près constante et largement inférieure aux émissions de gaz carbonique. Il apparaît que les quantités émises au total selon le scénario WRE 1000 (pour une teneur finale de 1000 ppm) sont du même ordre que les réserves totales de gaz, de pétrole et de charbon soit en chiffres ronds 3000 milliards de tonnes de carbone (ici il y a peu de différence entre tep et tonnes de carbone car l'essentiel est fait de charbon), ce qui laisse entendre que la consommation des réserves accessibles conduirait à une concentration de 1000 ppm. Par contre, la surface située sous la courbe WRE 450 correspond à des émissions à peu près égales à 1000 milliards de tonnes de carbone, soit *le tiers* des réserves accessibles. Si les émissions sont la moitié de ces réserves, la concentration dans l'atmosphère serait de 550 ppm correspondant tout de même à une hausse de température comprise entre 2 et 5 °C.

Ces indications suffisent à montrer que la perspective d'épuisement des ressources fossiles disparaît dès lors que l'on prend au sérieux la lutte contre le changement climatique. *A contrario*, vouloir justifier la seconde par la première aurait comme résultat assuré de perdre la lutte contre le changement climatique. Autre formulation équivalente : toute action qui ne serait justifiée que par la préservation des ressources paraîtra vaine à celui qui veut lutter contre l'effet de serre.

Naturellement, cela ne facilite pas l'argumentation en faveur de la lutte contre l'effet de serre. On entend les sceptiques : comment convaincre des peuples qui disposent de ressources en charbon abondantes et peu onéreuses de s'en priver ou de faire des dépenses supplémentaires pour séquestrer le gaz carbonique, à supposer encore que cette technique soit viable ? Quelle force de conviction internationale faudra-t-il déployer pour obtenir cet effort collectif qui, seul, pourrait être efficace ? Et à quoi cela servirait-il de diminuer nos émissions si les autres n'agissent pas de même ?

Ces questions ne doivent pas être éludées bien sûr. Mais, paradoxalement peut-être, il nous paraît raisonnable de défendre la thèse que la France a intérêt à s'engager dans une politique de réduction profonde de ses émissions de gaz à effet de serre dues à la consommation d'énergie, *même si elle devait être le seul pays à s'y engager*.

L'argumentaire est le suivant : les politiques ne peuvent être que nationales ou, pour l'Union européenne, communautaires puisque seules les nations ou la Communauté européenne peuvent prendre des décisions qui s'imposent aux habitants ; il est évidemment préférable que ces politiques soient coordonnées mais *si chaque pays attend les autres, il ne se passera rien* ; une politique nationale, même isolée, est possible ; dans le cas de la France il apparaît en première approche que son coût est modéré (de l'ordre de 0,5 % du PIB) ; elle est la source de bénéfices indépendants de la lutte contre l'effet de serre qui peuvent être jugés beaucoup plus avantageux que son coût.

Or, parmi les avantages que présente une telle politique de réduction des émissions de gaz à effet de serre, on trouvera l'indépendance énergétique de la France même à l'égard de crises conjoncturelles.

Ainsi, la sécurité d'approvisionnement ne conduit pas à lutter contre le changement climatique mais la lutte contre le changement climatique génère la sécurité d'approvisionnement : l'objectif de forte réduction des émissions de gaz à effet de serre éclipse l'objectif de sécurité d'approvisionnement.

Il appartient évidemment aux autorités politiques de prendre les décisions.

Le premier ministre a fixé comme perspective de diviser par quatre les émissions de gaz à effet de serre en cinquante ans. Cette perspective est cohérente avec un objectif mondial de maîtrise de l'augmentation de la hausse de température.

Pour explorer les conséquences pratiques d'une telle orientations stratégique et voir quelles décisions devraient être prises dès maintenant, avec le concours d'un groupe de travail associant des fonctionnaires et des spécialistes de plusieurs ministères j'ai réfléchi à un scénario de très forte réduction des émissions de gaz carbonique dues à l'énergie. L'échéance de trente ans a été choisie car des résultats ne seront atteints à cette échéance que si certaines décisions importantes sont prises sans délai.

2- Un scénario de division par trois en trente ans des émissions de gaz carbonique

Nous appelons ici « scénario » un ensemble de données cohérentes entre elles et cohérentes avec les contraintes physiques et économiques, de façon à indiquer quelles sont les conditions à réunir pour une forte diminution des émissions.

Nous allons donc décrire *un scénario de division par trois en trente ans*¹ des émissions françaises de gaz carbonique dues à la consommation énergétique.

Ce scénario a pour objet non pas de dire ce qu'il faut faire mais de proposer un ensemble cohérent qui pourrait servir de référence commode pour construire d'autres scénarios.

Voici comment nous l'avons bâti : nous avons d'abord exploré les limites de production d'énergie « sans carbone » en tenant compte des coûts de production et d'utilisation selon les techniques aujourd'hui connues et des limites physiques telles les surfaces disponibles, le rythme de renouvellement des voitures ou des logements, bien sûr les caractéristiques techniques de toutes les formes d'énergie. Nous avons également limité l'augmentation de production d'énergie « sans carbone » - de l'électricité nucléaire et, peut-être, de l'électricité sur énergie fossile avec séquestration du gaz carbonique - à un doublement de la puissance installée.

Un premier calcul simple montre qu'il est possible de trouver un équilibre global entre ressources et emplois *si la consommation d'énergie reste à peu près constante*. Ensuite, il faut entrer dans plus de détails pour affecter les formes d'énergie aux différentes utilisations. On peut alors avoir une première idée du prix de l'énergie compatible avec ce scénario puis calculer le surcoût imputable à cette politique de forte réduction des émissions de gaz à effet de serre : il est très faible. On peut également décrire comment l'appareil industriel de production d'énergie serait modifié - de profondes modifications -, on peut calculer l'impact très favorable sur la « facture énergétique » et la sécurité d'approvisionnement mais, faute d'outils de modélisation adaptés, nous ne pouvons pas dire quel serait l'effet sur l'économie, sur le PIB et sur l'emploi de la mise en oeuvre d'un tel scénario.

Une consommation stabilisée

Cette perspective de stabilisation de la consommation est donc le résultat des contraintes physiques et techniques d'une part, de la contrainte choisie de division par trois des émissions d'autre part. Quelles en sont les implications, sont-elles vraisemblables ?

On peut avoir des points de vue très contrastés. Les uns, constatant que cette hypothèse revient à supposer qu'avec une croissance du PIB de 2,3 % par an l'intensité énergétique² de notre économie diminuerait au même rythme, feront valoir que cela ne s'est jamais vu, même après les chocs pétroliers et le jugeront donc tout à fait invraisemblable. Les autres diront que ce niveau de consommation est largement supérieur à celui que nous connaissions il y a peu, à une époque où nous n'étions sans doute pas plus malheureux pour autant. Voyons donc ce que pourrait signifier concrètement une stabilisation de la consommation.

Dans l'hypothèse où la France agirait seule, sa politique ne devrait pas gêner les entreprises qui sont en compétition directe avec l'extérieur et qui consomment beaucoup d'énergie. Nous avons donc supposé que l'industrie, comme dans les dernières années, aurait une consommation constante et que, pour elle, le prix de l'énergie serait le prix international.

¹ exprimée par habitant ; la population est supposée augmenter de 7,5 % en trente ans.

² Rapport entre la consommation d'énergie et le PIB en monnaie constante

Pour le résidentiel, le tertiaire et le transport, les prix seront ajustés en fonction du coût de production de l'énergie sauf le prix du carburant pour les transports de marchandises, qui sera égal au prix international.

Pour le transport, le scénario suppose que l'efficacité des véhicules à moteur thermiques, véhicules personnels et transports de marchandises, exprimée en distance parcourue par litre consommé, augmenterait en trente ans de 25 %, que les transports sur rail doubleraient et que les distances parcourues autrement augmenteraient de 35 % en trente ans. Cette croissance laisse donc la place à une augmentation importante de la mobilité mais elle est beaucoup moins rapide que celle qui a été observée dans les dernières années. Nous n'avons pas étudié tout ce que cela implique : en particulier ce résultat ne pourrait pas être atteint si le transport de marchandises sur route d'une part, le transport par avion d'autre part poursuivaient leur progression au même rythme que dans les dernières années.

Quant au chauffage, s'il y a peu à attendre d'un renforcement des spécifications réglementaires l'amélioration des bâtiments existants et l'application des normes actuelles dans les nouveaux bâtiments permettront de faire d'importantes économies d'énergie, au rythme des grosses restaurations et du renouvellement du parc. De même les chaudières seront remplacées par d'autres beaucoup plus efficaces. Il est également possible d'être plus économe en ne chauffant que les locaux ou les pièces effectivement habités. Globalement, selon ce scénario, tout cela se traduira par une légère baisse de la consommation.

Les besoins d'électricité spécifique dans l'habitat et le tertiaire augmenteront, notamment du fait de la climatisation.

Les productions d'énergie qui ne génèrent pas d'effet de serre

Nous avons exploré les limites des capacités de production d'énergie qui n'émettent pas de gaz carbonique.

Les possibilités de production d'électricité hydraulique ne peuvent guère être augmentées.

Le cas des éoliennes mérite qu'on s'y arrête. Comme on attend d'un moyen de production qu'il produise quand on en a besoin, il est difficile de considérer qu'une éolienne seule est un moyen de production, puisque son taux de disponibilité en France métropolitaine est faible, 35 %, et, de plus, aléatoire : si l'on avait déjà construit pour 5 GW d'éoliennes, cet été combien de climatiseurs auraient-ils pu être alimentés par de l'électricité éolienne ? Les éoliennes doivent donc être adossées à une capacité de production assez souple pour suppléer leurs défaillances. Cette capacité ne sera évidemment pas du nucléaire. Par contre une capacité d'éoliennes adossée à une centrale à énergie fossile forme un ensemble qui, au total, émet moins que la centrale seule. Les éoliennes françaises permettent donc de diminuer les émissions de gaz à effet de serre depuis le territoire de pays qui produisent de l'électricité de base à partir de fossile. Cela présente sans doute de l'intérêt mais on peut se demander si le surcoût, qui est fort important³, doit être imputé au consommateur français.

En tous cas le scénario de division par trois ne tient pas compte d'une éventuelle production d'électricité éolienne.

L'électricité à partir du soleil souffre aussi du fait que la source n'est pas constante. Même si le coût de production vient à baisser considérablement, ce qui n'est certes pas exclu, cette forme d'électricité demandera toujours de gros flux de stockage et déstockage qui, eux, coûteront très cher (par exemple sous forme d'hydrogène). Ce scénario n'en tient pas compte.

Quant à la chaleur solaire, nous l'utilisons tous massivement sans même nous en rendre compte. Pourtant son utilisation par des capteurs solaires ou des pompes géothermales pour le chauffage ne peut se diffuser que très progressivement, au fur et à mesure de nouvelles constructions conçues à cette fin. L'utilisation de la chaleur solaire pour les chauffe-eau pourrait être plus rapide. Le scénario retient 3 Mtep.

Les possibilités de la géothermie sont réelles sans doute. Elles n'apparaissent pas dans ce scénario mais pourraient y être introduites, ce qui lui apporterait une souplesse appréciable.

³ puisque une capacité de 1 GW d'éoliennes et une autre de 1 GW de centrale classique forment en tout une capacité de 1 GW seulement.

Il en est de même de la cogénération, dont nous n'avons pas étudié quelle extension elle pourrait prendre : par exemple, si l'on pouvait utiliser une partie de l'énergie qui sort sous forme de chaleur des centrales de production d'électricité, on aurait là une source d'énergie abondante.⁴

Avant de parler d'électricité nucléaire, la ressource potentielle non émettrice de gaz carbonique la plus abondante est la biomasse sous différentes formes.

On y trouve l'énergie récupérable à partir des déchets, qu'il vaut beaucoup mieux utiliser sous forme de chaleur ou de biogaz que sous forme d'électricité. Outre la chaleur d'incinération, le scénario suppose 3 Mtep de biogaz. Il y a aussi des possibilités considérables *en bois*. Supposant une hausse progressive du prix de l'énergie, dans un premier temps seront utilisés le bois qui est aujourd'hui laissé sur coupe et les déchets de scierie aujourd'hui partiellement abandonnés. La hausse du prix du bois permettra aussi de mieux financer des coupes utiles à une bonne sylviculture (éclaircies, balivages etc.) puis enfin, lorsqu'elle sera suffisante, les plantations dédiées à la production de bois énergie. Au total on peut viser une augmentation de consommation de bois de 100 millions de mètres cubes. La biomasse viendra aussi de cultures industrielles. Si une partie des terres aujourd'hui dédiées aux grandes cultures exportées est affectée à des cultures destinées à la production de biocarburant, soit 6 millions d'hectares, et si l'on ajoute des terres aujourd'hui en friches, il s'agira de plusieurs millions d'hectares. Le scénario compte 5 millions d'hectares.

Cette biomasse permettra de produire de la chaleur ou du biocarburant.

Aujourd'hui le biocarburant est produit soit par distillation pour donner de l'alcool soit par transformation des huiles de plantes oléagineuses. Dans l'un et l'autre cas, seule une partie du carbone est utilisée dans le biocarburant. Une technique permettant d'utiliser une plus grande proportion du carbone est bien connue : la gazéification à haute température donne un mélange d'oxyde de carbone, de gaz carbonique et d'hydrogène, un gaz de synthèse à partir duquel il est possible de former un hydrocarbure liquide par des réactions chimiques. L'énergie dont ont besoin ces réactions peut provenir de la biomasse elle-même (procédés autothermiques) ou d'une source externe qui, elle-même, n'émet pas de gaz à effet de serre, énergie nucléaire ou énergie fossile avec séquestration de gaz carbonique. Le scénario suppose que les rendements de production de carburant par hectare, nets de toute consommation d'énergie fossile, seront de 2,5 tep/ha, valeur qui sera probablement atteinte sans apport de chaleur extérieure et qui sera sûrement dépassée avec un apport extérieur. Les émissions de gaz à effet de serre attachées à cette production se limitent au transport et aux engrais, peu de chose pour les plantes pluriannuelles et le bois qui seront utilisés pour la gazéification. Nous n'en avons pas tenu compte.

Quant à l'électricité, le scénario suppose que la consommation augmente de 80 %, passant de 35 à 62 Mtep, et que le commerce international est équilibré alors qu'aujourd'hui il est excédentaire de 6 Mtep. La production augmenterait donc seulement de 50 %.

Accorder modes de production et types de consommation

Il ne suffit pas de vérifier que les ressources totales sont égales aux consommations totales ; encore faut-il que les modes de production d'énergie et les types de consommations se correspondent. En effet, chaque forme d'énergie d'une part, chaque type de consommation d'autre part ont des caractéristiques très particulières. Ainsi l'électricité se transporte bien jusqu'à un lieu fixe mais ne se stocke pas aisément ; le gaz se stocke et se transporte par canalisation jusqu'à un lieu fixe. Le carburant se stocke et se transporte et il a une concentration en énergie inégalée : à échéance de trente ans, il est donc irremplaçable pour le transport sur route sur longues distances. Le bois peut se transporter, notamment par fer et par voie maritime ; mais il ne se transporte pas en ville etc. Par ailleurs l'électricité de base est un produit tout à fait différent de l'électricité de pointe, dont la valeur peut être vingt fois supérieure, de sorte que cela n'a guère de sens de parler de l'électricité de façon indifférenciée.

Voici le raisonnement que nous avons suivi.

⁴ une méthode pourrait être d'utiliser les eaux de refroidissement comme source froide de pompes à chaleur géantes comme il en existe dans d'autres pays, pour alimenter en chaleur de base des réseaux de chaleur.

Quant à l'industrie, nous avons supposé qu'elle utiliserait beaucoup plus d'électricité et de biomasse et peu d'énergie fossile. Nous avons conservé néanmoins une consommation de charbon non substituable. Ces hypothèses n'ont pas fait l'objet d'études spécifiques.

Il faudra aussi de l'énergie fossile pour produire de l'électricité de pointe. Par différence, une première estimation des besoins permet alors de calculer les quantités d'énergie fossile disponibles pour le transport et pour la production de chaleur, environ 26 Mtep dépendant de la proportion de gaz et de produits pétroliers.

Pour les transports sur route, avec les techniques actuelles il est possible d'utiliser l'électricité pour les trajets courts⁵ d'où l'idée retenue dans le scénario de *véhicules biénergie* alimentés et avec de l'électricité et avec du carburant. Or les trajets de moins de 50 km et les 50 premiers kilomètres des trajets plus longs représentent 70 % des distances parcourues par les voitures particulières et les utilitaires légers. Nous avons supposé que l'énergie de propulsion sur 50 % des distances parcourues par ces véhicules serait de l'électricité. Pour comparer les consommations d'énergie sous forme d'électricité ou de carburant, on retiendra que 1 tep d'électricité équivaut à 3 tep de carburant. On a de plus supposé une faible consommation de gaz par les transports (1 Mtep).

Avec les hypothèses de consommation présentées plus haut, cela conduit à une consommation d'électricité pour les transports autres que le rail de 6 Mtep et une consommation de carburant de 37 Mtep.

Or la quantité d'énergie fossile disponible pour le transport et le chauffage n'est que de 26 Mtep. ***Il faut donc utiliser du biocarburant.***

La place du biocarburant dans une politique de réduction des émissions de gaz carbonique est singulière. Si l'objectif fixé par la politique énergétique est une réduction de 20 ou 30 % des émissions par rapport à la tendance, il ne faut surtout pas produire de biocarburant car il est bien plus efficace et moins onéreux de brûler la biomasse, bois betterave ou blé, et d'utiliser la chaleur en remplacement de fioul ou de gaz. Par contre, si l'objectif est de diviser les émissions de gaz carbonique par deux ou trois, alors, même en utilisant autant que possible l'électricité pour la propulsion des automobiles, le recours à du biocarburant est inévitable. Et son prix, comme nous le verrons plus loin, servira de référence au prix de l'énergie. Il est donc tout aussi exact de dire que le biocarburant est inutilement coûteux ou tout à fait indispensable : cela dépend de l'objectif fixé par l'autorité politique.

On a vu que l'utilisation la plus économe de la biomasse est de produire de la chaleur, dans la limite toutefois des possibilités d'acheminement de la biomasse ou de la chaleur jusqu'au lieu d'utilisation. Le scénario suppose que l'utilisation de la biomasse pour la chaleur pourra doubler. La biomasse non brûlée sera utilisée pour faire 22 Mtep de biocarburant. Par différence, on calcule donc la quantité de carburant fossile : 15 Mtep.

Ensuite, en tenant compte du plafond d'émission de gaz carbonique, il est possible de calculer la quantité de gaz pouvant être utilisée pour le chauffage : 9 Mtep hors industrie.

Ainsi, les sources d'énergie pour le chauffage sont le solaire, le bois dans la limite des possibilités pratiques, le gaz en quantités calculées comme il vient d'être dit ; on peut y ajouter, éventuellement, la chaleur de cogénération avec pompe à chaleur (qui consomme de l'électricité) et la chaleur de géothermie et l'on calcule, par différence la consommation d'électricité utilisée directement pour le chauffage. Une partie de cette électricité passera par un chauffage par accumulation, pour lisser les pointes de consommation. Sans cogénération ni géothermie, la consommation d'électricité pour le chauffage sera de 21 Mtep, contre 9 aujourd'hui.

Nous verrons plus loin que, dans ce scénario, le prix de l'électricité de base ou de semi base sera inférieur au prix du gaz. Donc, les quantités de gaz prévues seront largement utilisées pendant les périodes de pointe, ce qui atténuera la pointe de consommation d'électricité

⁵ Comme ordre de grandeur, les techniques actuelles permettent de parcourir une cinquantaine de kilomètres avec cent kilos de batteries, performances qui seront évidemment améliorées.

Les tableaux qui suivent présentent la situation actuelle et un ensemble cohérent de ressources et de consommation d'énergie dans trente ans.

Il s'agit d'énergie finale, c'est à dire d'énergie achetée par le consommateur final.

On a compté à part, dans une ligne en dessous du tableau, les émissions de gaz carbonique nécessaires pour la production d'électricité de pointe de sorte que l'on peut considérer, dans le tableau, que la production d'électricité n'émet pas de gaz carbonique.

Aujourd'hui	Char bon	électricité	biomasse chauffage	chaleur solaire	gaz	biogaz	biocarb,	prod pétrol,	Total
En M tep									
Industrie, agriculture	6,3	11,8	1,2		12,3			9,4	41,0
transport résidentiel tertiaire		1					0,3	49,7	51,0
chauffage	0,6	9	9		21			17	56,6
électricité spécifique		13							13,0
Total énergie finale	6,9	34,8	10,2	0	33,3	0	0,3	76,1	161,6

Calcul des émissions de gaz carbonique

Mtep Cons de fossiles 5 pour product d'électricité					4			1	10
Total cons. fossiles	11,9				37,3			77,1	
En MT de Carbone émissions de CO2	12				24			70	106

Dans 30 ans

En Mtep

Sans séquestration

	Char bon	électricité	biomasse chauffage	chaleur solaire	gaz	biogaz	biocarb,	pétr/gaz séquest	prod pétrol,	Total
Ind, agricult	3	18	6		11	2		0	1	41
transport résidentiel tertiaire		8			1	0	22		15	46
chauffage		21	15	3	9	1			1	50
électricité spécifique		15								15
Total énergie finale	3	62	21	3	21	3	22	0	17	152

Calcul des émissions de gaz carbonique

Mtep Cons de fossiles 1 pour product d'électricité					7			0	8
Total cons. fossiles	4				28			17	
En MT de Carbone émissions de CO2	4				19			15	38

Rappelons que ce tableau ne prévoit pas d'utilisation de chaleur de cogénération ni de géothermie. Comme un ménage consomme de l'ordre de 1 à 2 tep par an, ces sources de chaleur permettraient de diminuer la consommation d'électricité de chauffage de quelques millions de tep en fonction du nombre de logements reliés à des réseaux de chaleur.

On aura remarqué que l'on ne parle pas d'hydrogène. A vrai dire, l'hydrogène n'est pas une forme d'énergie ; c'est un moyen de stockage, d'une part, de transport de l'autre. Il ne peut être produit sans émission de gaz carbonique que par de l'énergie nucléaire ou par de l'électricité produite avec du charbon et séquestration du gaz carbonique. Comme moyen de stockage ou comme vecteur d'énergie, l'hydrogène est donc extrêmement cher. Un pays comme la France, qui a des possibilités de

production de biomasse importantes, n'a pas besoin de l'hydrogène pour réduire ses émissions de gaz à effet de serre.

Pour calculer la capacité des différents modes de production d'électricité, il ne faudrait pas raisonner seulement à partir de la consommation d'électricité mais à partir la consommation d'*énergie des ménages et du tertiaire* - électricité et chaleur -, en faire une « monotone » et classer les différents modes de production d'énergie en fonction de leurs coûts fixes et variables. Dans les coûts fixes, figurerait le coût des réseaux de chaleur, dans les coûts variables, un impôt spécifique sur les énergies fossiles. Nous verrons plus loin que cet impôt pourrait être de 300 ou 400 euros par tep de sorte que l'électricité de base coûtera moins cher que le gaz.

On pourra alors calculer une durée critique d'utilisation des équipements de production et de transport telle que le coût de l'électricité est égal au coût du gaz. Cette durée dépendra beaucoup du taux d'actualisation choisi ⁶. A partir de là, il sera possible de calculer la capacité de production d'électricité nécessaire à une augmentation de production de 50 %.

3- Comment expliquer l'écart entre la tendance et le scénario

Une hypothèse d'évolution tendancielle

Aujourd'hui les émissions dues à l'énergie sont de 106 MTC, millions de tonnes d'équivalent carbone, pour une consommation finale d'énergie de 162 Mtep. Tendanciellement, en supposant un taux de croissance du PIB de 2,3 % et une diminution de l'intensité énergétique de 1% par an, la consommation finale augmenterait de 47 %, soit une augmentation de 77 Mtep. Si l'on prend comme hypothèse, dans ce scénario tendanciel, que la production d'électricité nucléaire ne changera pas et que la consommation d'électricité augmente de 2,5 %, soit un doublement en trente ans (35 Mtep de plus), comme il faut 2 ou 3 tep fossiles pour produire 1 tep d'électricité, la consommation d'énergie primaire augmentera d'environ 130 Mtep. Supposons que, dans ce scénario tendanciel, l'augmentation de la biomasse soit de 10 Mtep. Alors la consommation de fossile augmentera d'au moins 120 Mtep, partie en gaz, partie en fioul ; les émissions augmenteront de 100 MTC, jusqu'à 206 MTC - un peu moins en cas de production d'électricité éolienne couplée à des productions à partir de fossiles.

Un gros écart entre la tendance et le scénario

Or le scénario fait passer ces émissions de 106 MTC à 38 MTC. **L'écart à la tendance est donc 170 MTC.** Comment s'explique-t-il, en grandes masses ?

Plus de la moitié s'explique par le contrôle de la consommation d'énergie. Le reste, à parts comparables, par un recours massif à la biomasse et par une augmentation de la consommation d'électricité nucléaire ou produite à partir de fossile avec séquestration de gaz carbonique, l'apport du solaire étant faible et l'apport des éoliennes étant nul.

Ce scénario est tendu, sans doute, mais des marges pourront être trouvées, entre autres choses, avec de la chaleur géothermique, la séquestration du gaz carbonique, l'apparition de nouveaux véhicules urbains extrêmement économes et, sous réserve d'un fort développement des réseaux de chaleur, l'utilisation de la chaleur qui s'échappe des centrales de production d'électricité

Pour conclure cette approche technique avant d'aborder la question des prix, rappelons que les conditions techniques requises par un tel scénario sont les réseaux de chaleur, les moteurs bi-énergie, la production de biocarburants par la gazéification avec, peut-être, un apport externe de chaleur « sans carbone », un fort développement de la sylviculture et de cultures industrielles, le doublement de la capacité de production nucléaire et, pour limiter la consommation, des travaux d'isolation et un

⁶ sujet qui pourrait utilement faire l'objet d'une réflexion interministérielle puisque les derniers rapports publics, rapport sur le coût des transports routiers, sur les coûts de référence de production d'électricité ou sur le coût de production de l'électricité nucléaire utilisent les valeurs de 12 %, 8%, 6%, 5% ou 3%.

urbanisme adapté qui favorise l'usage des transports en commun et du vélo d'une part, les économies de chaleur d'autre part.

4- Les implications économiques d'un scénario de division par trois des émissions

Un système de prix cohérent avec l'objectif de division par trois des émissions de gaz carbonique

Tout cela ne se mettra progressivement en place que si le système de prix s'y prête. Personne ne s'étonnera en effet qu'une hausse de prix soit nécessaire car si tel n'était pas le cas, une évolution dans ce sens se serait déjà faite.

Cependant, comme ce scénario suppose que la France agit seule, les activités soumises à la concurrence internationale pour qui le prix de l'énergie est un élément important de la compétitivité disposeront de leur énergie aux prix internationaux. Il en est ainsi de l'industrie et du transport routier de marchandises. Ce qui suit ne concerne donc que le résidentiel, le tertiaire et le transport de personnes, soit plus de 70 % de la consommation.

Le prix du baril de pétrole est aujourd'hui aux alentours de 25 \$ soit 160 \$/tep environ. Il ne pourra pas dépasser durablement le coût de production de carburant liquide à partir de charbon, puisque le charbon est abondant et largement distribué sur le globe. Ce coût est inférieur à 50 \$/bl. L'augmentation sera donc inférieure à 25 \$/bl soit 160 dollars par tep. Or le prix qui équilibrerait le coût de production du biocarburant devrait être supérieur de 300 ou 400 €/tep au prix actuel, soit 50 \$/bl, 25 \$/bl de plus que l'augmentation maximale des prix internationaux.

Le scénario implique donc que certaines formes d'énergie soient frappées d'un impôt spécifique. Pour un même type d'énergie, cet impôt sera différent selon les usages car il ne suffit pas de considérer les prix ou les coûts de l'énergie mais aussi les coûts induits pour son utilisation : réseau de chaleur, surcoût des véhicules à double énergie, capteurs solaires etc.

Pour chaque forme d'énergie et chaque type d'utilisation, c'est à dire pour chaque couple « forme d'énergie*type d'utilisation », nous distinguerons d'une part **un coût** et d'autre part une **dépense engagée par l'utilisateur**. Le coût représente tout ce qui est nécessaire pour livrer l'énergie au consommateur avec une structure d'impôt qui n'inclut pas l'impôt spécifique, la dépense engagée par l'utilisateur est la somme du coût et de l'impôt spécifique. Appelons **coût marginal** le plus élevé des coûts.

Si l'on veut éviter que soient subventionnées la production ou la consommation des formes d'énergie qui n'émettent pas de gaz carbonique, les impôts spécifiques devront être tels que, pour chaque couple « forme d'énergie*type d'utilisation », la dépense soit égale au coût marginal.

En simplifiant nous prendrons une autre hypothèse :

- 1- *par rapport à la situation actuelle*, les dépenses augmentent de la même façon pour toutes les utilisations d'énergie (chauffage, transport etc.) et toutes les formes d'énergie
- 2- l'impôt spécifique est nul pour le ou les couples « forme d'énergie*type d'utilisation » dont l'écart de coût, par rapport à la situation actuelle, est le plus élevé.

Cette fiscalité pourrait être compensée par des dotations ou par la diminution d'autres impôts.

On pourrait imaginer une autre option où l'augmentation des prix serait moindre, où des aides publiques seraient donc nécessaires et où les impôts spécifiques sur certains couples « forme d'énergie*type d'utilisation » équilibreraient les aides publiques accordées aux autres. Mais alors, le prix n'augmenterait sans doute pas assez pour contenir la consommation comme le prévoit ce scénario. Pour parvenir au résultat recherché, il faudrait donc ajouter à la fiscalité une réglementation, celle-ci générant des coûts à la charge des utilisateurs. On peut aussi considérer que les secteurs des transports et du chauffage sont disjoints de sorte que les prix peuvent être fixés indépendamment dans les deux secteurs.

Il nous a semblé que le couple « forme d'énergie*type d'utilisation » pour lequel la hausse du coût est la plus élevée est le couple « biocarburant-transport » mais cela reste à vérifier. Ici, l'augmentation du coût d'utilisation est égale à l'augmentation du coût du carburant car l'usage de biocarburant ne génère pas d'autres dépenses. Or le coût de production de biocarburant sera sans doute supérieur de 300 à 400 euros par tep au prix hors taxe du carburant pétrolier d'aujourd'hui. Si, pour certains usages, l'augmentation du coût par rapport à la situation actuelle est supérieure, l'augmentation du prix devra être plus grande.

Ainsi, il suffirait que le prix du carburant pétrolier, celui du gaz et celui de fioul domestique soient progressivement augmentés par un impôt spécifique jusqu'à 300 ou 400 euros par tep pour que l'usage du bois devienne de plus en plus compétitif, pour que les réseaux de chaleur se développent, pour que les véhicules bi-énergie trouvent un marché, pour que les communes modifient leur urbanisme, pour que le chauffage de base se fasse à l'électricité – alors que le prix du chauffage de pointe serait très supérieur etc.

Dans ce cadre, faudrait-il un impôt spécifique sur l'électricité ? On distinguera l'usage chaleur et l'usage transport. L'usage chaleur générant peu de dépenses supplémentaires, l'électricité chaleur supporterait un impôt spécifique égal à celui qui s'appliquerait au gaz ou au pétrole, soit 300 ou 400 €/tep, 3 ou 4 cme d'euro par KWh, pour un prix de vente aujourd'hui de 7,5 cme d'€. Par contre, pour utiliser l'électricité dans le transport il faudra des véhicules bi-énergie qui coûtent plus cher. Le prix de l'électricité sera donc inférieur. S'il est proche du coût de production d'une électricité de base, on peut calculer que l'économie réalisée sur le « carburant » par un véhicule alimenté à l'électricité sur la moitié des distances parcourues est sans doute suffisante pour équilibrer le surcoût de la voiture bi-énergie.⁷

Tout cela doit évidemment faire l'objet d'études spécifiques. Quoi qu'il en soit, il est certain que la hausse du prix international du pétrole est très insuffisante pour conduire à une division par trois des émissions de gaz carbonique. L'augmentation de dépense à la charge des ménages générée par cette politique n'est certes pas anodine⁸ ; elle pourrait être atténuée pour les faibles revenus par la restitution, sous une forme ou sous une autre, du produit de l'impôt spécifique.

Globalement, une augmentation des dépenses assez modérée...

Si l'on prend pour référence une situation tendancielle où le prix du pétrole augmente de 15 €/bl soit 100 €/tep, le coût marginal de production et d'utilisation de l'énergie selon le scénario sera supérieur à ce qu'il serait selon la tendance, la différence étant de 250 €/tep. Pour les formes d'utilisation qui ne sont pas marginales, cet écart est moindre.

Pour le transport on supposera que le coût d'utilisation de l'électricité sera le même que le coût d'utilisation du biocarburant. Le coût supplémentaire (hors impôts spécifique) par rapport à la tendance est donc de 250 €/tep pour 6 Mtep électrique et 22 Mtep de biocarburant, soit 7,5 G€ Pour la chaleur, il faudra dépenser davantage que dans l'évolution tendancielle pour le solaire et le bois, soit 27 Mtep. On admettra que ce coût s'échelonne de zéro à 250 €/tep. Il s'élève donc 3,5 G€ En tout, les dépenses supplémentaires à engager, hors impôt spécifique, pour utiliser l'énergie seraient donc de **11 milliards d'euros**. Le PIB étant aujourd'hui de 1700 milliards et pouvant passer à 3000 milliards en monnaie constante dans 30 ans, le coût de cette politique serait donc, dans trente ans, de **0,4 % du PIB**.

Ce n'est pas beaucoup. Bien sûr, cela ne suffit pas à évaluer l'effet global sur l'économie car toute perturbation sur un secteur d'activité se traduit sur les autres, causant des effets retour, mais on ne dispose pas aujourd'hui d'outils pour étudier ces répercussions. Quoi qu'il en soit, on retrouve là des

⁷ Une consommation de 9 l/100km sur 10000 km est égale, en tout, à 0,9 tep. Si la tep, après augmentation du prix du carburant coûte 1400 euro, la consommation coûte 1260 €. Cette consommation peut être remplacée par 0,3 tep électrique ; si le prix est de 1000 €/tep, l'économie est de 1000 € par an, équivalent à un investissement de 8000 €, ce qui semble suffisant pour payer le surcoût de la voiture, y compris la batterie.

⁸ Si la hausse du prix international de l'énergie est de 15 \$/bl, on calcule que pour *un ménage* consommant 2,5 tep par an de carburant et de chauffage l'augmentation de la dépense énergétiques générée par cette politique serait dans trente ans de 650 euros par an, soit 2,5 % d'un SMIC qui aurait été porté à 25 000 €/an.

ordres de grandeur mentionnés dans d'autres études sur le même sujet faites dans d'autres pays de l'Union européenne (Grande-Bretagne et Pays-Bas notamment).

... mais des modifications importantes sur l'appareil de production d'énergie

Si, globalement, le coût de cette politique, comparé au PIB est très faible, les changements induits par ce scénario sur l'appareil de production et de distribution, eux, sont impressionnants.

En agriculture, on réoriente la culture sur 5 Mha. En sylviculture, c'est un coup de fouet considérable pour réellement exploiter une bonne partie des 15 millions d'hectares dont plusieurs sont aujourd'hui laissés à peu près à eux-mêmes et pour reboiser des terres délaissées par l'agriculture.

Pour la production de biocarburant, on pourrait voir une centaine d'usines de 220 000 tonnes recevant chacune 1,5 M tonnes de biomasse par an. Des transports de masse, par voie ferrée et voie fluviale, seront organisés ou réorientés. Il faudra aussi construire trois centrales nucléaires de 1,5 GW par an, retrouvant là le rythme des années 80 (on a atteint six groupes, certaines années !), et renforcer le réseau de transport d'électricité.

Les villes s'équiperont de réseaux de chaleur, réseaux urbains ou réseaux de petite dimension pour des ensembles de quelques dizaines d'habitations. La hausse du prix de l'énergie relancera les travaux d'isolation et incitera à équiper les logements de nouvelles chaudières, de chauffe-eau solaires ou de chauffage électrique par accumulation.

Enfin, les voitures particulières seront remplacées par des véhicules alimentés par carburant et par électricité.

Une décision qui relève, évidemment, du pouvoir politique.

Par choix de méthode, ce scénario de division par trois des émissions suppose que la France agit seule mais il serait évidemment préférable qu'il n'en soit pas ainsi.

On notera pourtant que les mesures à prendre relèvent de la décision nationale et peuvent être prises même si la France devait être seule sauf une, l'industrialisation de véhicules bi-énergie, car on ne voit pas qu'un des constructeurs français s'y engage pour le seul marché français. Mais il se pourrait que le mouvement soit déjà lancé, non pas en Europe mais en Chine, pays où se construisent d'immenses capacités de production de batteries performantes, un producteur de batteries ayant même acheté un constructeur d'automobiles.

S'il est possible à la France d'agir seule, la question posée plus haut demeure : est-ce raisonnable ? En quoi une telle action pourrait-elle être utile à la lutte contre le changement climatique ? Et pourquoi s'imposer un effort si les pays voisins ne s'y engagent semblablement ?

D'ailleurs, est-il seulement envisageable que le pouvoir politique décrète une hausse régulière et continue du prix de l'énergie ?

Tout se ramène à cette question en effet car ***la hausse du prix de l'énergie est le passage obligé de toute politique qui vise à diminuer les émissions de gaz à effet de serre***. Peut-on donc la justifier tant qu'un programme mondial ne sera pas effectivement mis en œuvre ?

Il se trouve qu'une politique nationale, même isolée, présente ***des avantages autres que la lutte contre l'effet de serre*** qui pourraient justifier qu'on y consacre des dépenses spécifiques.

Notre scénario conduit à une consommation de gaz et de pétrole, dans trente ans, de 45 Mtep contre 114 Mtep aujourd'hui et 200 Mtep selon un scénario tendanciel. Avec les mêmes stocks stratégiques, cela permettra de « tenir » quatre fois plus longtemps. Autre approche : même complètement privée de gaz et de pétrole et sans stocks, notre économie pourrait continuer à fonctionner, en « fonctionnement dégradé », se chauffant avec de l'électricité et de la biomasse et se déplaçant avec de l'électricité et du biocarburant. Dans un monde susceptible d'être passablement troublé, cette quasi indépendance

stratégique a son prix. En même temps, bien sûr, notre « facture énergétique » sera considérablement réduite.

D'autre part, les émissions de gaz à effet de serre seront sans doute une des pierres d'achoppement entre pays développés et pays en voie d'industrialisation, un argument invoqué dans les périodes de tension, le support allégué du ressentiment des uns contre les autres. Dans ce contexte, le fait d'avoir engagé une politique très volontaire pour diminuer les émissions pourra être perçu comme un effort pour atténuer les effets des émissions passées et une marque de considération envers les victimes des perturbations qui seront imputées à tort ou à raison au changement climatique.

Ajoutons que l'activité économique ainsi créée concerne tous les secteurs, agriculture, bâtiment et travaux publics, équipement industriels et que *cette activité est attachée au territoire de notre pays*, ce qui, dans ces périodes de mondialisation et de délocalisation, est extrêmement précieux.

La question se pose pourtant : l'économie française pourra-t-elle absorber tous ces changements ? Au prix où l'impôt spécifique portera l'énergie, ces investissements seront rentables donc pourront être financés par des emprunts émis sur le marché mondial, qui seront remboursés grâce à la diminution considérable de la facture énergétique. Mais il faudra une étude plus fine pour évaluer l'effet de la ponction en personnels qu'exerceront ces nouvelles activités sur les autres secteurs économiques, y compris ceux qui sont aujourd'hui tournés vers l'exportation. On peut également penser que ces nouvelles activités contribueront à diminuer le chômage puisque tous les secteurs économiques, toutes les formes de compétences seront sollicités.

Enfin, avec la biomasse, le biocarburant, les véhicules bi-énergie, l'électricité nucléaire, une conception de l'urbanisme et de bâtiments économes en énergie, les transports en commun, les réseaux de chaleur etc., nos entreprises acquerraient un savoir-faire et disposeraient de références utiles à tout pays désireux de diminuer ses émissions par économie d'énergie ou transfert vers des formes d'énergie qui n'émettent pas de gaz carbonique.

Même en l'absence de tout effet sur le changement climatique, ces avantages économiques et stratégiques ne valent-ils pas de consentir à l'énergie une dépense supplémentaire égale à 0,5 % du PIB ?

L'examen de ce scénario de division par trois en trente ans des émissions de gaz carbonique n'avait certes pas pour ambition de répondre à cette question, mais seulement de donner au pouvoir politique et à toutes les parties intéressées des éléments qui montrent à quelles conditions une telle politique est possible et quels en sont les effets.

Même sans viser une division par trois en trente ans, les éléments ainsi réunis permettent d'évaluer l'effet des différentes actions envisageables et de les situer dans un cadre cohérent car ce scénario est formé de modules qui peuvent être mis en œuvre à peu près indépendamment les uns des autres.

Ce scénario peut aussi servir de base commune pour élaborer d'autres jeux d'hypothèses cohérentes sachant que les quantités de biomasse et de solaire sont à leur maximum.

Il montre dans quels domaines prolonger utilement la réflexion : le coût de production et de livraison des différents modes de chaleur, les implications industrielles et économiques générales. Supposant que la France décide d'être en pointe, on se demandera aussi jusqu'où la France pourra agir seule.

Le scénario montre également quelles décisions prendre de suite sans grand risque de se tromper : la biomasse, les réseaux de chaleur, une organisation industrielle et commerciale adaptée à la fourniture *de chaleur* (et non de tel ou tel type d'énergie), la construction de centrales nucléaires, la recherche de sites de séquestration de gaz carbonique, l'industrialisation de nouveaux procédés de production de biocarburant, un urbanisme économe en énergie, les véhicules bi-énergie - étant entendu que cette politique n'a tout son sens que si elle est accompagnée d'une hausse du prix de l'énergie supérieure à la hausse du prix mondial.