

OFFICE PARLEMENTAIRE D'ÉVALUATION DES CHOIX SCIENTIFIQUES ET TECHNOLOGIQUES

RAPPORT Sur l'Évaluation de la stratégie nationale de recherche en matière d'énergie

Par MM. Christian BATAILLE et Claude BIRRAUX, Députés

Déposé sur le Bureau de l'Assemblée nationale
par M. Claude BIRRAUX, *Président de l'Office*

Le CSC est d'ailleurs présentée comme une technologie de l'énergie, alors qu'en soi, il ne procure aucun apport nouveau d'énergie ; sauf à le coupler avec un effort distinct d'efficacité énergétique, **il induit au contraire une consommation supplémentaire d'énergie**, celle devant permettre le fonctionnement de tout le dispositif, depuis la capture jusqu'à l'injection souterraine, en passant par le transport.

Il permet certes l'évacuation souterraine du gaz carbonique dans les pays qui exploitent toujours des réserves d'énergies fossiles, et dont l'économie repose encore crucialement sur cette forme d'énergie carbonée, les États-Unis au premier chef ; mais **il conforte aussi l'utilisation des énergies carbonées dans les pays qui les importent, avec même le risque d'accroître leur dépendance énergétique, puisque l'implantation d'un dispositif de CSC impose un supplément de consommation d'énergie. La France, dans la mesure où elle tire 90% de son électricité de l'énergie nucléaire et des barrages hydrauliques, n'est pas directement concernée.**

Le captage suppose encore des recherches pour en optimiser le rendement et le coût, ce qui justifie notamment l'expérimentation du procédé de « l'oxycombustion » sur le site de Lacq, décrite par M. Didier Mosconi, directeur de la stratégie de Total, lors de son audition du 5 juin 2008 ; et **il faut étudier les conditions de la résistance des réservoirs dans la durée, au niveau des parois géologiques, des conduits métalliques, et des scellements en ciment.**

a) Quelques ordres de grandeur

Les émissions excédentaires de gaz carbonique du fait de l'activité industrielle sont évaluées par le GIEC à 29 milliards de tonnes de CO₂. Or, les dispositifs déjà en service à Weyburn au Canada, Sleipner en Norvège, In-Salah en Algérie, et les projets en cours (*FutureGen* aux États-Unis), sont calés sur une capacité d'injection en sous-sol de l'ordre du million de tonnes de CO₂ par an.

L'écart est donc d'un facteur mille, ce qui signifie qu'un recours non marginal à cette technologie suppose des milliers d'installations à l'échelle de la planète.

L'identification des milliers de caches géologiques nécessaires au stockage, ce qui requiert non seulement de trouver les sous-sols adéquats, mais en plus, **d'obtenir l'accord des populations avoisinantes.**

M. Alain Bucaille, s'appuyant sur son expérience dans divers postes à l'étranger au sein du corps des mines, a fait part à vos rapporteurs de son scepticisme quant à la disponibilité de caches géologiques dans de nombreuses parties du monde fortement émettrices de CO₂ : Afrique du Sud, Chine, Japon, Asie du Sud-Est.

En tout état de cause, M. Olivier Appert, président de l'IFP, a rappelé que le captage et stockage du gaz carbonique n'étaient qu'une voie technologique parmi d'autres pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, et que cette contribution, même partielle, estimée par le GIEC comme pouvant traiter, en 2050, « de 20% à 40% environ des émissions mondiales de CO₂ émanant de combustibles fossiles », sera précieuse pour lutter contre le changement climatique. Cela représente tout de même l'équivalent d'au

moins 5 à 6 mille installations avec une capacité d'injection d'un million de tonnes par an à implanter dans le paysage géographique et surtout, dans l'environnement humain.

b) Les opinions recueillies à l'étranger

Les auditions ont montré que cette technologie bénéficie en France d'un appui fort, par l'effet d'une mobilisation très active du milieu industriel directement concerné ; pourtant cette mobilisation paraît très étrange lorsqu'on constate le recul avec lequel cette technologie est considérée dans les pays visités par vos rapporteurs (Cf. les comptes rendus des visites à l'étranger, en annexe) :

↳ en Finlande, petit pays couvert à 80% de forêts et peu densément peuplé, c'est une question qui n'est pas à l'ordre du jour ; le réflexe, lorsque la question est soulevée, y est plutôt de constater que le socle granitique du pays ne permet pas, de toute façon, le stockage en sous-sol d'un gaz ; il faudrait à tout le moins avoir recours à des puits situés en territoire limitrophe (Norvège, Russie) ;

↳ Au Japon, où l'électricité dépend à 60% des énergies fossiles, une très grande attention est portée depuis le premier choc pétrolier à l'efficacité énergétique, dans la vie quotidienne comme dans les processus industriels, et c'est cet angle qui est systématiquement privilégié pour la réduction des émissions de CO₂. Certains projets de développement technologique, notamment ceux relatifs au « charbon propre », intègrent certes la dimension du captage du gaz carbonique ; mais le stockage n'y semble pas une préoccupation pressante, ce qui n'est guère étonnant sur cet archipel étroit, très densément peuplé, où l'activité sismique, propre à ouvrir des failles, constitue une donnée prégnante de l'environnement naturel ; en outre, le pays gère déjà une expérience difficile de blocage social sur le stockage en couche géologique profonde des déchets nucléaires ;

↳ Aux États-Unis, pays produisant la moitié de son électricité à partir du charbon, et où, malgré les réticences à s'engager formellement dans le respect des accords de Kyoto, des recherches très importantes sont conduites en faveur du « charbon propre », il existe certes un programme d'identification des zones géologiques possibles pour le stockage du gaz carbonique. Cependant, parallèlement, la conscience du surcoût économique que représente la mise en oeuvre d'un système de captage et stockage est très forte, et le réflexe de la communauté scientifique consiste à souligner la nécessité de trouver un moyen de recycler le gaz carbonique, plutôt que de le stocker passivement.

Les interlocuteurs de ces trois pays s'étonnaient qu'un pays comme la France, bien connu dans le monde pour sa capacité à produire 80% de son électricité à partir de l'énergie nucléaire, manifestaient, à travers les questions de vos rapporteurs, un intérêt pour une technologie qui, de fait, la concerne très peu.

Les députés Bernard Duflesselles et Jérôme Lambert, qui se sont rendus au Japon quelques semaines avant vos rapporteurs (en septembre 2008), en sont revenus avec l'impression similaire que ce pays, bien que lieu d'accueil, à Kyoto, pour la signature du protocole sur le changement climatique, et l'ayant ratifié, « fait preuve de modération (...) dans ses objectifs nationaux de réduction des émissions de GES » ; qu'en outre, la technologie du captage et stockage du CO₂ « semble elle aussi difficile à mettre en oeuvre à une grande échelle dans ce pays, à cause de la rareté des cavités géologiques et du risque sismique. »^[1]

Par ailleurs, après une visite en juillet 2008, ils font également état d'« un certain scepticisme (...) sur la possibilité de voir les États-Unis s'engager rapidement dans un accord mondial contraignant. », estiment en outre que « la question du financement du CSC est encore loin d'être réglée : l'industrie souhaite que des financements publics soient utilisés pour ne pas pénaliser les entreprises novatrices ; les autorités publiques, après avoir envisagé un projet important à Mattoon dans l'Illinois, sont revenues sur leur décision. » Ces lignes visent le projet de « charbon propre », FutureGen, prévu pour comporter un volet de démonstration de captage et stockage du CO₂, dont le Département de l'énergie

^[1]Rapport d'information au nom de la Commission chargée des affaires européennes sur le paquet "Energie-Climat", novembre 2008.¹

s'est retiré en janvier 2008, après une prise de conscience du surcoût important de l'opération par rapport aux estimations initiales.

Pour ce qui concerne les États-Unis et le Japon, en tout cas, il est clair qu'il existe un écart entre l'affichage politique de cette « grande priorité nationale » et le scepticisme des membres de la Communauté scientifique et technologique rencontrés.

c) *L'avis de Greenpeace International*

La référence dans ce rapport à une position de Greenpeace ne vaut bien sûr pas ralliement à l'ensemble des thèses de cette organisation, puisqu'il est clair, point de désaccord majeur, que vos rapporteurs restent attachés à l'énergie nucléaire en France, dans des conditions de sûreté qu'ils ont d'ailleurs directement contribué à faire progresser en s'investissant tous deux sur cette question depuis presque deux décennies maintenant. Cependant, la prise en compte, s'agissant du captage et stockage du CO₂, d'une position structurée et argumentée, de quelque horizon intellectuel qu'elle vienne, fait partie de tout effort d'analyse objective.

L'organisation Greenpeace, longtemps silencieuse à propos de la technologie de la capture et du stockage du CO₂, a pris une position hostile dans une note publiée en mai 2008, intitulée « *Faux espoirs : pourquoi le captage et la séquestration du carbone ne sauveront pas le climat.* »

«*Les véritables solutions pour limiter les impacts des changements climatiques sont l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables*» ; l'investissement réalisé en faveur du captage et stockage du CO₂ est considéré dès lors comme ayant un effet d'éviction financière au détriment de ces deux solutions ;

• d'autre part, elle met l'accent sur le délai de la disponibilité de la technologie, eu égard aux prévisions concernant l'évolution du changement climatique : «*Le CSC ne sera pas disponible à grande échelle avant 2030. Or, pour éviter les pires retombées des changements climatiques, les émissions mondiales de gaz à effet de serre doivent diminuer à partir de 2015, soit dans à peine sept ans.*»

d) *Un « marché potentiel à l'export » ?*

Le coeur du débat français sur l'intérêt d'investir dans cette technologie tient dans cette formule : un « marché potentiel à l'export ». C'est cette formule qui sert d'argument unique dans le rapport du Comité opérationnel sur la recherche du Grenelle de l'environnement (p.10) ; elle fait écho à la position prise par la Commission « Energie » du Centre d'analyse stratégique .

L'accessibilité des marchés cibles

L'approche mercantiliste du « marché potentiel à l'export » n'est étayée par aucune analyse de marché¹, et les informations recueillies à l'étranger par vos rapporteurs conduisent à la considérer avec circonspection.

En effet, le DOE américain, au delà des aléas financiers du projet *FutureGen*, et le METI japonais développent d'ores et déjà des programmes de R&D conséquents pour mettre au point la technologie du "charbon propre", en intégrant la préoccupation du captage du CO₂. On voit mal comment il serait possible pour des acteurs français de prendre pied sur ces marchés traditionnellement fermés, sauf éventuellement à coopérer dès l'amont aux programmes de recherche ; d'autant que tout projet de CSC comporte par nature une forte dimension nationale, puisqu'il s'agit *in fine* de construire des installations dans le sous-sol.

Le champ d'une démarche commerciale conquérante se réduit donc singulièrement lorsqu'on prend en compte l'effort déjà engagé par les acteurs nationaux concernés.

La robustesse de l'avantage stratégique

Si la Chine et l'Inde en viennent effectivement, en plus de leurs efforts d'efficacité énergétique, à réduire les émissions de CO₂ par captage et stockage, il leur suffira d'acheter un seul équipement pour développer ensuite leur technologie nationale. Et le "marché potentiel à l'export" risque ainsi de se réduire à quelques ventes unitaires.

La voie de la coopération internationale

De toute façon, avec l'internationalisation des entreprises, et la division internationale des processus productifs, qui répartit les étapes d'une chaîne de fabrication entre plusieurs pays, **il est peu probable que le taux de retour pour la France d'une aide publique française particulièrement appuyée soit vraiment conséquent.**

L'équilibre de l'approche communautaire

La **proposition de directive relative « au stockage géologique du dioxyde de carbone »** se donne essentiellement comme objectif d'assurer la « *sécurité pour l'environnement* ». Elle prévoit un régime de permis de stockage, fixe des obligations de surveillance et de transmission d'informations, établit des modalités d'inspection, précise les règles d'intervention publique en cas de fuite, et les conditions d'un éventuel transfert de responsabilité à l'État.

Dans son quatrième considérant, elle précise bien que : « *cette technologie ne devrait pas être utilisée comme une incitation en faveur d'un accroissement des centrales électriques fonctionnant avec des combustibles fossiles* ».

L'apport du marché des droits d'émission

La mise en place de ce mécanisme appelle cependant deux remarques :

- **d'une part, il paraît peu cohérent d'assurer un soutien public important aux recherches sur le captage et stockage,** alors même que la mise en place du marché des droits d'émission vise justement à reporter la charge financière de l'adaptation des équipements industriels sur les propriétaires d'usines; l'effort public incite en soi à un certain attentisme de la part des acteurs privés, puisqu'il ouvre à ceux-ci la perspective de pouvoir, à terme, sans contribution de leur part, acheter les dispositifs de captage et stockage mis au point grâce au financement public ;
- d'autre part, l'incitation des acteurs privés à investir dans un système de captage et stockage est freinée par la dépréciation inexorable, à terme, des droits d'émission. En effet, le lancement d'une politique publique de réduction des émissions de gaz carbonique devrait conduire à ce que la tendance dominante sur le marché des droits d'émission soit à la vente, puisqu'un nombre croissant d'émetteurs de gaz carbonique vont valoriser sur ce marché leurs efforts de réduction d'émission; il sera donc de plus en plus difficile de trouver une contrepartie désireuse d'acheter des droits d'émission, et la valeur boursière de ces droits, par conséquent, aura tendance à baisser. **Dans cette perspective, lancer un projet d'investissement dans une technologie de capture et stockage, avec l'idée de retrouver au moins sa mise de fond initiale grâce à la revente des droits d'émission correspondant au volume de gaz carbonique ainsi évité, relèvera d'un pari très aléatoire.**

La répartition de la charge

Aux États-Unis, selon les informations fournies à vos rapporteurs, le DOE estime qu'en l'état de l'art, le prix de l'électricité produit par les centrales au charbon serait doublé. En fait, l'arbitrage concernera le partage de la charge entre les contribuables et les consommateurs.

Que ce soit sous la forme d'une hausse des prix ou d'une hausse des prélèvements obligatoires, le financement de la recherche, puis de l'implantation, des systèmes de captage et stockage aura donc un effet de restriction du pouvoir d'achat freinant la demande.

L'accident du lac Nyos au Cameroun en 1986, qui a tué 1700 personnes et des milliers de têtes de bétail sur un rayon dépassant 25 km, suite à la remontée brutale d'une eau saturée en gaz carbonique jusque là piégée naturellement en profondeur, **illustre dramatiquement les limites d'une stratégie d'élimination du gaz carbonique par le seul stockage.**

Le soutien public accordé à l'effort technologique correspondant doit s'accompagner d'un programme de recherche exploratoire sur la valorisation du gaz carbonique.

Cependant, ce soutien doit être ajusté pour éviter d'encourager par contrecoup une nouvelle expansion des énergies carbonées en France. **En particulier, l'installation des équipements de CSC ne doit pas être subventionnée.**

Personnalités auditionnées :

30 janvier 2008

M. Thierry Chambolle, Membre de l'Académie des technologies

Mme Marion Guillou, Présidente de l'INRA

27 mars 2008

M. Dominique Goutte, Directeur du secteur « Energie » au ministère de la Recherche (DGRI)

M. Eric Lemaître, Chargé de mission sur les « nouvelles technologies de l'énergie » à la DGRI

10 avril 2008

M. Raymond Leban, Professeur au CNAM

M. François Perdrizet, Président du PREBAT

M. Jean-Paul Fideli, Secrétaire permanent du PREBAT

17 avril 2008

M. Pierre René Bauquis, Professeur associé à l'École nationale supérieure du pétrole et des moteurs

M. Bernard Duhem, Secrétaire général du PREDIT

15 mai 2008

M. Jean Marie Chevalier, Professeur d'économie à l'Université Paris Dauphine

M. Pierre-Marie Abadie, Directeur de l'énergie

M. Cyrille Vincent, Sous-directeur de l'industrie nucléaire

29 mai 2008

M. François Moisan, Directeur de la stratégie et de la recherche de l'ADEME

— 162 —

M. Yves Bamberger, Directeur de la R&D d'EDF

MM. Jean-Paul Tissot, Henri Sureau, Michel Boin, Bernard Salles, Experts de l'Institut «Energie et Développement »

5 juin 2008

M. Olivier Appert, Président de l'IFP

M. Georges Picard, Directeur général adjoint

M. Alain Bucaille, Directeur de la R&D d'Areva

M. Didier Beutier, Vice-président d'Areva en charge de la stratégie

M. Didier Mosconi, Directeur Stratégie & Développement de Total

M. Christophe CEVASCO, Chargé des relations publiques de Total

12 juin 2008

M. François Lempérière, Ancien Président du comité français des grands barrages

19 juin 2008

M. Alain Bugat, Administrateur général du CEA

M. Jean-Louis Beffa, Président de Saint-Gobain

9 juillet 2008

Mme Michèle Pappalardo, Commissaire générale au développement durable

10 juillet 2008

M. Dominique Maillard, Président de RTE

M. Bernard Bigot, Haut Commissaire à l'énergie atomique

M. Didier Roux, Directeur R&D de Saint-Gobain

18 septembre 2008

M. Paris Mouratoglou, Président d'EDF-Energies nouvelles

20 novembre 2008

Mme Anne de Guibert, Directeur de la recherche de Saft

16 décembre 2008

M. Jean Therme, Directeur du CEA-Grenoble

Compte rendu des auditions :

Mr Birraux, (député)

S'agissant de la capture du gaz carbonique, la DGRI constate qu'il s'agit d'une problématique intéressant peu la France, et beaucoup plus l'Allemagne, mais que la France dispose d'acteurs compétents dans ce domaine, pouvant intervenir dans une logique de coopération européenne.

M. Leban (Professeur au CNAM) a cité

L'exemple de la technologie de la capture du carbone, qui, à l'inverse de l'énergie photovoltaïque de troisième génération, toujours en phase de recherche pour une utilisation économique à grande échelle, n'engendre aucun doute quant à la possibilité de sa mise au point technique finale, indépendamment du fait qu'elle ne pourra avoir véritablement un impact sur l'effet de serre qu'en étant déployée massivement ; mais, en tout état de cause, il faut le temps de lever des difficultés techniques (réaliser une capture du CO₂ sûre et économique dans une centrale IGCC1 avec capture, qui mélange usine électrique et usine chimique n'est pas chose simple) et la technologie peut se trouver stoppée à une étape du cycle de développement par un refus social, lié aux inquiétudes suscitées par le stockage souterrain. Toute technologie peut ainsi être interrompue dans son développement, et ce risque peut entraîner une prudence des entreprises, que l'État doit prendre en compte dans sa stratégie de recherche.

S'agissant des choix stratégiques à préconiser, M. Leban a mentionné : en premier lieu, l'énergie nucléaire ; ensuite, la biomasse ; troisièmement, l'énergie photovoltaïque. Il lui semble que le niveau auquel la France s'est engagée dans les diverses structures de coopération internationale pour la capture du gaz carbonique (à travers les participations de l'IFP et du BRGM) est suffisant. On peut penser que des recherches directes sur la capture du gaz carbonique soient prises en charge par les entreprises françaises internationalisées qui y voient un marché mondial fructueux ; le territoire français a peu de chances d'être un lieu de développement massif du charbon propre.

M. Ngô a observé que les seuls acteurs directement intéressés en France sont les fournisseurs d'électricité concurrents d'EDF, qui ne peuvent mettre en place rapidement une capacité de production autonome autrement qu'en construisant des centrales à gaz.

M. Birraux a ajouté que la France avait d'autant moins intérêt à investir sur la capture du gaz carbonique qu'elle disposait, grâce essentiellement à l'énergie électronucléaire, d'une position relative très avantageuse en Europe du point de vue de l'émission de gaz carbonique par habitant.

M. Leban a abondé dans le même sens, en mentionnant que la Suède aussi était en bonne position à cet égard, grâce à son énergie hydroélectrique.

M. Bauquis a identifié deux champs de recherche critiques sur la capture du gaz carbonique : premièrement, la mise au point de dispositifs permettant, dans des conditions économiques viables, de concentrer les effluents de gaz carbonique pour faciliter leur capture ; deuxièmement, la résistance dans la durée des réservoirs permettant le stockage ; à l'inverse, le transport, et l'injection souterraine utilisent des technologies déjà bien maîtrisées. Il a insisté sur le besoin d'aborder ces recherches en prenant en compte les effets d'échelle, et pour en donner une idée, il a mentionné qu'un dispositif significatif en France, concernant de l'ordre de 20% des émissions, devrait conduire à dégager, annuellement, une capacité de stockage équivalente à celle mise en place par Gaz de France depuis quarante ans pour le méthane. Il a estimé que les efforts actuels, même à l'échelle internationale, ne prenaient pas encore sérieusement en compte ces effets d'échelle, et que le démonstrateur de stockage de Total à Lacq, bien que constituant en soi une avancée, était, à cet égard, d'un apport très relatif.

MM. Ngô et Leban ont convenu que, d'une façon générale, ces effets d'échelle étaient cruciaux pour la mise au point de vraies solutions technologiques, y compris par exemple en matière d'économies d'énergie.

Revenant sur la question de la capture du gaz carbonique, M. Bataille (député) a rappelé qu'un petit quart des émissions seulement était dû à l'activité industrielle, l'essentiel des émissions prenant une

forme diffuse, à travers l'utilisation, dans la vie quotidienne, des véhicules de transport ou des équipements du logement ; il a interrogé M. Bauquis sur la pertinence d'une réorientation des aides publiques à l'effort de recherche dans ce domaine vers la diminution des émissions diffuses, plutôt que le maintien d'une focalisation sur la diminution des émissions industrielles.

M. Bauquis a d'abord confirmé le constat sur l'origine des émissions.

M. Bataille a demandé à M. Bauquis (Professeur associé à l' Ecole nationale supérieure du pétrole et des moteurs) quelle place il voyait dans l'avenir pour les nouveaux vecteurs de l'énergie comme l'hydrogène.

M. Bauquis a estimé qu'en ce qui concernait les transports, il s'agissait d'une aberration, du fait des limites qui s'imposent à l'amont de la filière, aux trois niveaux de la production, du transport, et du stockage embarqué. Toutes les modalités de production, sauf celles envisagées en couplage avec les réacteurs nucléaires de quatrième génération, produisent d'emblée du gaz à effet de serre, puisqu'il s'agit de casser des molécules d'hydrocarbures pour en éliminer le carbone ; en outre, cette opération mobilise près de deux fois plus d'énergie qu'elle ne permet d'en récupérer sous forme d'hydrogène pur. Le transport de l'hydrogène par canalisation est très peu efficace en comparaison du transport des carburants liquides, du simple fait des lois de la thermodynamique : le coût de la logistique de transport rapporté au coût de l'unité d'énergie transportée est en effet dix fois supérieur, car, pour une même pression, la quantité d'énergie transportée est dix fois moindre. S'agissant du stockage embarqué, il s'effectuerait nécessairement dans des conditions inefficaces, car sa masse correspondrait pour 5% seulement à l'hydrogène, et pour 95% au système d'emballage ou de stockage de cet hydrogène, et ceci, quelle que soit la technologie utilisée (pression hyperbare, hydrures, nanotubes de carbone).

M. Bauquis a rappelé que la filière GPL avait beaucoup souffert des accidents de Vénissieux en 1999 et de Mitry-Mory en 2002, et a observé que les accidents avaient un impact très variable selon l'énergie en jeu ; en particulier, la forte mortalité dans les mines de charbon n'émeut personne ; les décès causés par les barrages hydroélectriques sont proportionnellement bien moins médiatisés que les accidents nucléaires. M. Bataille a abondé en rappelant que la chute d'une échelle dans une centrale nucléaire était présentée comme un accident nucléaire.

S'agissant de la capture du CO₂, M. Bamberger (Directeur de la R&D d'EDF) a estimé indispensable de participer à l'effort européen, mais excessif de multiplier les expérimentations françaises sur fonds publics. Pour bien dimensionner la démarche française, il a préconisé de réaliser en préalable un bilan des sites de stockage disponibles dans notre pays, en évaluant les coûts afférents à leur mise en exploitation.

IFP

A une question de M. Claude Birraux sur la capacité des ciments à fermer les sites de stockage du CO₂ avec une étanchéité suffisante, M. Olivier Appert (Président de l'IFP) a répondu en distinguant le cas d'une récupération d'un ancien site d'extraction d'hydrocarbures de celui des aquifères. Dans le premier cas, des recherches sont poursuivies pour étudier dans quelles conditions les chemisages en acier, et les ciments utilisés dans les puits peuvent supporter l'acidité du gaz carbonique; une fois le site fermé en revanche, les risques de remontée du gaz carbonique vers la surface devraient être limités, puisqu'il s'agit de réservoirs ayant montré leur capacité à retenir des hydrocarbures pendant une ou deux centaines de millions d'années. Dans le cas des aquifères, la remontée vers la surface devrait être freinée par la densité relative des eaux chargées en gaz carbonique dissous, qui devraient donc rester au fond des structures géologiques, et même conduire à terme à une minéralisation; mais des études sont en cours pour examiner ces phénomènes. L'IFP perçoit le domaine du captage et du stockage du CO₂ comme un marché potentiel, et a créé, en liaison avec GéoStock et le BRGM, une société GéoGreen se donnant comme objectif de fournir du conseil sur les techniques concernées, notamment sous l'angle de la sécurité.

Christian Ngô (Agrégé de l'Université et Docteur es sciences) s'est interrogé sur l'échelle de mise en oeuvre du captage et stockage du CO₂, en constatant que la production annuelle de gaz carbonique représentait 6 milliards de tonnes de carbone, dont le cycle naturel du carbone ne pouvait absorber que la moitié, ce qui laisse un excédent annuel d'émission de 3 milliards de tonnes de carbone, soit 10 milliards de tonnes de CO₂; en imaginant qu'on puisse en stocker ne serait-ce que 10% chaque année, cela représente un effort de captage et stockage d'un milliard de tonnes. Or, les meilleures installations actuelles ne peuvent stocker qu'un million de tonnes de CO₂ par an, ce qui signifie qu'il faudrait en construire 1 000 nouvelles par an, soit deux ou trois par jour, ce qui supposerait non seulement un effort très important de mobilisation de ressources techniques et humaines, mais surtout l'absence de freins du côté de l'acceptation sociale pour ce genre d'ouvrages. Le constat de ce problème d'échelle amène à se demander si les recherches sur le captage et stockage du CO₂ ne sont finalement pas qu'un artefact intellectuel visant à redonner une légitimité écologique à la poursuite de la production d'électricité à partir d'énergies fossiles.

M. Olivier Appert a noté que ce genre de réflexions, au demeurant fondées dans leur principe si l'on prend en compte les probables arrière-pensées de certains producteurs d'électricité allemands et américains, rejoignaient les analyses de Greenpeace, qui a commencé à exprimer récemment, dans son rapport « *False Hope* » de mai 2008, des doutes quant à la pertinence du captage et stockage du CO₂, après avoir maintenu longtemps une attitude neutre sur le sujet. Il a insisté sur la nécessité de considérer cette technologie, non pas comme une panacée, mais comme un outil parmi d'autres de la panoplie des solutions permettant de faire face aux difficultés énergétiques des prochaines décennies.

Les recherches sur le captage et stockage du gaz carbonique relèvent d'un objectif de fond incontestable, et sont justifiées au regard de l'ancrage durable du charbon dans le paysage énergétique mondial. Mais la communication sur cette technologie, qui, de manière stupéfiante, fait largement l'impasse sur la difficulté fondamentale de la disponibilité des caches géologiques, relève quasiment, selon M. Bucaille, (Directeur de la R&D d'Areva) de la supercherie. Il a expliqué que ce décalage lui semblait personnellement d'autant plus flagrant qu'il avait eu à traiter de questions géologiques dans différentes zones du monde au cours de ses premiers postes au sein du corps des Mines. Selon lui, la réutilisation des anciens puits d'extraction ne fournit pas une solution à l'échelle des volumes d'émission concernés ; l'idée d'un stockage dans les fonds marins est encore très spéculative ; par ailleurs, tous les pays ne disposent pas nécessairement d'aquifères salins, et lorsqu'il en existe, comme en Chine, ceux-ci sont souvent très éloignés des zones industrielles.

M. Didier Mosconi (Directeur Stratégie & Développement de Total) a indiqué que les divers procédés de capture du CO₂ devrait permettre d'éliminer, dans l'ensemble formé par l'Amérique du Nord, l'Europe et la Chine, 20 à 40% des émissions produites par les sources « stationnaires » (c'est-à-dire non mobiles, comme les véhicules de transport).

M. Christophe Cevasco (Chargé des relations publiques de Total) a ajouté que Total poursuivait ses recherches dans une perspective de large partage des résultats.

M. Claude Birraux s'interrogeant sur d'éventuelles collaborations avec d'autres majors pétroliers, M. Didier Mosconi a signalé que les majors américains n'avaient aucun projet connu dans ce domaine, à part Exxon Mobil qui aurait lancé une expérimentation sous la pression, au conseil d'administration, de la famille Rockefeller, et que BP avait abandonné un projet en Australie en raison de l'inadéquation du réservoir envisagé.

M. Christian Ngô a observé que le chiffre d'une élimination de 20% à 40% des émissions à partir des sources stationnaires, qui produisent une dizaine de milliards de tonnes de gaz carbonique par an, était peu réaliste, car il correspondait à la création de plusieurs milliers d'installations de type « Sleipner », d'une capacité d'accueil de l'ordre du million de tonnes par an. Etant donné le temps nécessaire pour mettre à jour les réservoirs géologiquement adéquats, sans anicroche rédhibitoire du côté de l'acceptation sociale, même l'horizon 2050 paraît trop rapproché pour atteindre un tel niveau de capacité de stockage.

M. Pierre-René Bauquis a abondé dans le même sens, en estimant qu'on ne pourra atteindre qu'une capacité de stockage annuelle de quelques pourcents dans la configuration la plus favorable ; à cet égard, il a comparé l'apport du captage du CO₂ à celui des biocarburants, qui a fait l'objet d'annonces disproportionnées, avant qu'on ne s'aperçoive qu'il ne correspondait au mieux qu'à une solution additionnelle, justement de l'ordre quelques pourcents. M. Christian Ngô a observé que le dossier se compliquait encore du fait que les installations de captage et stockage mobilisent une énergie qui produit elle-même du gaz carbonique.

M. Didier Mosconi a signalé que, parallèlement, des efforts étaient faits pour limiter les émissions en améliorant encore le rendement des centrales thermiques, Alstom annonçant des gains possibles de 5% pour les centrales CCGT (*Combined cycle gas turbine*) ; que, par ailleurs, le même groupe Alstom mettait désormais sur le marché des centrales dites « *Capture Ready* », n'attendant plus qu'un couplage avec un réservoir de stockage.

M. Pierre-René Bauquis a estimé que ce label « *Capture Ready* » présentait l'inconvénient d'entretenir une attente irréaliste à l'endroit de la technologie de capture du gaz carbonique, qui bute fondamentalement sur la disponibilité des réservoirs. Quant à l'erreur d'échelle sur les possibilités réalistes de stockage du gaz carbonique,

M. Christian Ngô a fait l'analogie avec l'idée parfois évoquée du remplacement de la ressource pétrolière par l'énergie nucléaire : les 450 réacteurs dans le monde produisent une énergie équivalente à 0,6 milliard de tonnes de pétrole ; s'il faut combler un déficit de 3,5 milliards de tonnes de pétrole, cela nécessite de construire plusieurs milliers de nouvelles centrales nucléaires, au rythme d'une par semaine pendant cinquante ans. Avec la capture du gaz carbonique, l'erreur d'échelle est plus grande encore, puisque l'écart à combler est plus important d'un ordre de grandeur.

M. Didier Mosconi a reconnu qu'il fallait prendre en compte un calendrier de mise en oeuvre de plusieurs décennies pour que l'impact sur les émissions de gaz carbonique devienne substantiel ; mais qu'en tout état de cause, cette voix technologique bénéficiait d'appuis sérieux, puisqu'on comptait une quinzaine de projets expérimentaux en Europe, et une dizaine aux États-Unis.

S'agissant de la pertinence, en France, des recherches sur le captage et stockage du gaz carbonique, alors que notre pays est déjà très bien placé en Europe pour les émissions de gaz carbonique par habitant, grâce à l'électricité d'origine nucléaire, M. Bugat l'a justifiée par la nécessité d'assurer dans ce domaine technologique une présence de l'ingénierie française, représentée par la société Alstom notamment, qui risquerait sinon de perdre sa place sur le marché mondial.

M. Bataille s'est interrogé sur l'opportunité de réduire l'effort public de recherche sur la capture du gaz carbonique pour éventuellement dégager des marges de manoeuvre financières.

M. Beffa a indiqué qu'un programme en ce domaine lui paraissait incontournable, puisqu'il constituait un enjeu important pour certains industriels français comme Alstom, mais qu'il ne faudrait lui consacrer que des ressources mesurées, en s'appuyant notamment sur l'intérêt que pourrait avoir Total à investir directement dans ce domaine ; il faudrait mener à bien l'expérience du démonstrateur de Lacq, puis en faire le bilan. L'énergie solaire lui paraît être, compte tenu des atouts industriels, parfois un enjeu plus important.

Concernant la capture du CO₂, Mme Pappalardo (Commissaire Général au développement durable) estime que l'on n'est pas encore en mesure aujourd'hui de faire, à grande échelle, des systèmes qui capturent et stockent le CO₂ et considéré que des incitations financières seront nécessaires au niveau européen pour encourager et développer cette technologie qui imposera un surcoût aux centrales thermiques à flammes. Ces incitations financières devront aller de pair avec un renforcement de la réglementation internationale limitant l'émission des gaz à effet de serre sous peine de renchérir la production d'électricité en Europe, tandis que la construction de centrales traditionnelles fortement émettrices de CO₂ se poursuivrait imperturbablement dans d'autres parties du monde. De fait, la réponse

rapide aujourd'hui à l'augmentation de la demande en électricité fait appel à l'énergie fossile car la construction d'une centrale thermique à flammes ne prend que deux ans.

USA.

Les seuls instruments disponibles à l'échéance d'une dizaine d'années pour l'ajustement de l'évolution de la demande énergétique, sont des mesures d'économies d'énergie, car même une technologie disponible comme l'énergie nucléaire ne peut avoir un effet sur un délai plus court, du fait de la durée de construction des centrales nucléaires.

En ce qui concerne la capture et le stockage du gaz carbonique, M. Bigot (Experts de l'Institut « Energie et Développement ») a reconnu qu'il s'agissait d'un enjeu d'importance à l'échelle mondiale, tributaire à 85% des énergies fossiles, mais a fait part de son doute quant à la possibilité de stocker dans le sol tous les flux excédentaires de gaz carbonique. En France, une politique de diminution des émissions par des économies d'énergie et le développement de nouveaux moyens de production d'énergie sans carbone semblent plus appropriés pour atteindre l'objectif du "facteur quatre" à l'horizon 2050. Certains industriels veulent se placer sur ce marché qu'ils jugent porteur, mais le soutien public doit rester limité et ne pas conduire à multiplier les projets de démonstrateurs sans intérêt direct pour le pays, puisqu'en France, les émissions émanent pour l'essentiel des sources diffuses (logement, transport). En outre, la création en cours d'un marché européen des droits d'émission devrait logiquement conduire à une diminution du rôle de la subvention publique dans l'effort de recherche sur la capture. .

Les États-Unis contribuent au cinquième environ des émissions mondiales de gaz carbonique (6 milliards de tonne par an sur un total de 29 milliards de tonne). Le programme américain lancé en 2001 combine des efforts de recherche technologique essentiellement axés sur la séquestration (Clean Coal Power Initiative – CCPI, et démonstrateurs FutureGen), avec une recherche de sites géologiques d'accueil pour le stockage (c'est à ce titre que le laboratoire Sandia est impliqué dans la capture du gaz carbonique, pour la zone du sud-ouest des États-Unis) ; la capacité annuelle de stockage ciblée pour chaque installation est de l'ordre du million de tonnes de CO₂ (équivalent de la capacité du site de Sleipner en Norvège) ; le potentiel total de stockage du sous-sol américain, sous les trois formes des cavités salines, cas de loin le plus abondant, des veines de charbon inexploitées, et des anciens puits de pétrole ou de gaz, représenterait un à trois fois 1000 milliards de tonnes de CO₂. Cependant le DOE a souligné trois difficultés auxquelles va se trouver confrontée la diffusion de la technologie : son coût de mise en oeuvre, notamment au regard du supplément de consommation d'énergie qu'elle impose (dans l'état actuel, le prix de revient de l'électricité produite à partir du charbon serait doublé ; le but serait de ramener le surcoût à 30%) ; sa viabilité, liée à la maîtrise effective du risque de fuite du gaz stocké ; enfin, l'incertitude du cadre réglementaire et juridique, qui laisse ouverte par exemple la question de la détermination des responsabilités en cas de fuite du gaz stocké.

La mise au point d'un dispositif de production d'électricité en « charbon propre » permettrait à partir de 2020 une substitution au gaz assurant une meilleure maîtrise du prix de l'électricité, qui triplerait autrement à l'horizon 2050 au lieu d'augmenter seulement de moitié. L'EPRI met en oeuvre un programme de démonstrateurs de capture du CO₂, fonctionnant en post-combustion, voire en oxy-combustion (concentrant les flux émis pour faciliter leur récupération), d'une taille progressivement de plus en plus importante, pour atteindre le stade du déploiement commercial de la technologie en 2020 ; mais, de l'aveu même de l'EPRI, la complexité des opérations à maîtriser (notamment l'intégration d'une unité de production d'oxygène pour l'oxy-combustion) rend ce calendrier très volontariste (« *very aggressive* »).

La complexité de cette technologie est l'argument principal invoqué par nos interlocuteurs ayant manifesté un **réalisme informel pessimiste** à son endroit, notamment quant à son délai de disponibilité. C'est la position notamment de Jeff Kueter, Président du George Marshall Institute, de David Owens, Executive Vice President of Business Operations de l'Edison Electric Institut, ou de Les Shephard, du laboratoire Sandia d'Albuquerque.

Le second argument à l'appui de ce pessimisme concerne le coût du déploiement de la technologie : pour Jeff Kueter, sa mise en oeuvre forcée, et la hausse consécutive du prix de l'électricité, causerait une

diminution sensible du niveau de vie de la population américaine, suscitant son hostilité. Jim Turner, Chief Counsel de la commission de la science et de la technologie de la Chambre des représentants, rappelant que la production d'électricité est le fait d'une multitude d'acteurs indépendants aux États-Unis (les « utilities »), a dit son sentiment que celles-ci refuseraient d'assumer la charge de l'installation des dispositifs de captage sur leurs équipements. Allant dans le même sens, Jeffrey Byron, commissaire de la California Energy Commission, a expliqué que les « utilities » se demandaient quand la technologie serait vraiment disponible, et à quel prix, et plaçaient de ce fait le captage du gaz carbonique au troisième rang de leurs priorités d'investissement, derrière la construction de centrales nucléaires et le développement des sources renouvelables. La California Energy Commission n'a pour l'instant abordé le sujet qu'en lançant début octobre 2008 une enquête sur l'opportunité d'une régulation des émissions de gaz à effet de serre par les producteurs d'électricité.

Il semble aussi que le Japon montre une autre voie que celle du stockage du gaz carbonique pour lutter contre le changement climatique : c'est une mobilisation intense autour de l'efficacité énergétique, qui permet la diminution de l'émission de gaz carbonique à travers le soutien aux efforts d'économie d'énergie.