

La lettre de l'I-tésé

Numéro 1 (Trimestrielle – Juin 2007)

■ FAITS MARQUANTS

page 2

- ✚ Rapport du MIT : le charbon, une énergie d'avenir mais à quel prix ? (D. Proutt)
- ✚ L'hydrogène et la pile à combustible s'imposeront-ils dans le paysage énergétique de demain ? (JM Agator)

■ LES MARCHES ENERGETIQUES ET DU CO2

Page 4

- ✚ Le prix du CO2 s'effondre pour la période 2005-2008 mais reste à un niveau élevé pour la période 2008-2012 (D. Proutt)
- ✚ Les prix de l'électricité : une extrême volatilité au jour le jour et corrélation entre la France et l'Allemagne (D. Proutt)
- ✚ Les prix de l'électricité pour une livraison en 2008 (D. Proutt)
- ✚ L'influence des prix du CO₂ sur les prix de l'électricité (D. Proutt)
- ✚ Marché et évolution des prix de l'Uranium (C. Loaec)
- ✚ Marché de l'enrichissement (C. Loaec)

■ BREVES

page 9

- ✚ Stockage de l'énergie : création du projet Edelveiss (S. Avril)
- ✚ Prise en compte de critères environnementaux dans la conception d'un procédé : modification du point de fonctionnement (C. Mansilla)
- ✚ Evaluation du coût des soutiens à l'électricité d'origine renouvelable par la commission de régulation de l'énergie (D Proutt)

■ NOTES DE LECTURE

page 11

- ✚ « Trop de pétrole » de H. PREVOT (JP Langlois)

■ LE DOSSIER :

« Le changement climatique » page 12

- ✚ Réalité du changement climatique : quelles certitudes, quelles conséquences ? (F. Thais)
- ✚ Tour d'horizon européen
 - Allemagne : baisser de 80% les émissions de gaz à effet de serre sans recours au nucléaire (M. Daval)
 - Le Royaume-Uni vise une réduction de 60% des GES d'ici 2050 (M. Daval)
 - Engagements électoraux pour la France : vers une stratégie nationale (F. Thais)

■ Les rédacteurs

Jean-Paul Langlois (rédacteur en chef)
 Jean-Marc Agator
 Sophie Avril
 Mehdi Daval
 Christine Loaec
 Christine Mansilla
 David Proutt
 Françoise Thais

EDITO

L'I-tésé (Institut de technico-économie des systèmes énergétiques) est maintenant opérationnel. Créé à l'initiative de la Direction Générale pour donner un éclairage technico-économique sur tous les systèmes énergétiques depuis les sources primaires jusqu'au besoin final, il rassemble des équipes du service des études économiques et de la stratégie (SEES) de la direction des programmes (DPG) et du laboratoire d'études technico-économiques et de dimensionnement (DEN/DANS/DM2S/LTED) ; il est rattaché à la DEN (DEN/DANS/I-tésé), mais travaille pour l'ensemble des pôles du CEA en réseau, tant avec les équipes du CEA développant les procédés dans ce domaine qu'avec les administrations, les industriels et les laboratoires académiques français et étrangers.

« La Lettre de l'I-tésé » reprend les objectifs de la lettre de l'économie que diffusait la direction des programmes : sous une forme pédagogique, elle présentera tous les trimestres des éléments d'actualité permettant à chacun de mieux comprendre les enjeux des nouveaux défis d'approvisionnement énergétique sous ces différents aspects : économie, mais aussi indépendance énergétique, préservation de l'environnement et de la planète...

Pour cette première édition, un dossier spécial est consacré au défi lié au changement climatique. Le prochain numéro comportera des éléments de réflexion à la question « dans quelle mesure le nucléaire peut-il répondre à une demande énergétique accrue ? ».

D'ici là, bonne lecture, et n'hésitez pas à réagir pour nous faire part de vos commentaires et de vos attentes.

Jean-Paul LANGLOIS
 Directeur de l'I-tésé

• Inscription sur simple demande par e-mail à l'adresse : patricia.thibaud@cea.fr

• N'hésitez pas à réagir sur ce numéro en nous adressant un e-mail à l'adresse : jean-paul.langlois@cea.fr

FAITS MARQUANTS

Rapport du MIT : le charbon, une énergie d'avenir mais à quel prix ?

Le charbon est souvent considéré en France comme une énergie du passé.

Au contraire, pour les chercheurs du MIT, auteurs du rapport « *The Future of Coal* »¹, les préoccupations de sécurité d'approvisionnement et économiques vont inciter à un usage croissant de cette énergie aux réserves abondantes, bien réparties dans le monde et au coût de production faible.

La disponibilité de techniques de capture-séquestration du CO₂ produit lors de sa combustion est alors indispensable au regard de la nécessaire lutte contre le réchauffement climatique.

Mais le rapport montre que sans cette mise en œuvre rapide d'une taxation des émissions de CO₂ et d'expérimentations de grande ampleur, la capture-séquestration ne sera pas déployée de façon importante en 2050.

La capture du CO₂ induit une majoration du coût de production de l'électricité d'environ 60 % sur **le CO₂ émis. Aussi une taxe d'environ 30 \$/tonne est indispensable** pour que cette technique trouve un intérêt économique. Elle compenserait le coût espéré de la captation (à terme 25 \$/t) ainsi que celui du transport et de la séquestration (5\$/t).

Par ailleurs la capture-séquestration du CO₂ n'est pas encore une technologie complètement démontrée et encore moins disponible à grande échelle. Il convient en particulier d'acquiescer des certitudes sur l'évolution du CO₂ stocké (phénomènes chimiques, mouvement du gaz et fuites éventuelles) dans les couches géologiques et sur les capacités de stockage disponibles (les évaluations disponibles vont de plusieurs centaines à plusieurs milliers de milliers de tonnes de CO₂).

Même si le stockage géologique du CO₂ apparaît aujourd'hui possible, les expériences en cours sont trop limitées et ne permettent pas de lever les interrogations. **Un important travail de recherche-développement reste à faire.**

Le rapport propose que s'engagent rapidement des projets d'une capacité de stockage d'un million de tonnes de CO₂ par an sur au moins treize sites afin de prendre en compte la diversité des situations géologiques.

Ce travail du MIT a aussi une portée politique. Il invite indirectement les pays charbonniers et en particulier les Etats-Unis à s'engager dans un accord international prolongeant Kyoto, en montrant qu'il est probablement possible de stabiliser les émissions de CO₂ à l'horizon 2050 tout en consommant plus de charbon qu'aujourd'hui.

Cette stabilisation peut être atteinte avec un niveau de taxe qui doit assurer la compétitivité de la capture-séquestration du CO₂ et donc sa très forte utilisation (60 % des émissions dues au charbon seraient capturées) mais également avec une forte réduction de la demande énergétique. Le rapport suppose ainsi une taxe très élevée de 25 \$/t de CO₂ en 2015 qui monte jusqu'à 100 \$/t en 2050 (en dollars constants).

Sous ces conditions très sévères, le MIT montre qu'il est possible de concilier stabilisation des émissions de gaz à effet de serre et usage massif des ressources charbonnières. Mais les experts du GIEC viennent de confirmer que ce n'est pas une stabilisation mais une réduction des émissions de gaz à effet de serre à l'horizon 2050 qu'il faudrait viser. Visiblement le recours à la capture-séquestration même si elle se diffusait largement ne suffirait pas.

¹ « The futur of Coal an interdisciplinary MIT study » MIT 2007

L'hydrogène et la pile à combustible s'imposeront-ils dans le paysage énergétique de demain ?

Le contexte politique national, européen et international n'a jamais été aussi favorable au développement des énergies « propres » qui n'émettent donc pas (ou émettent peu) de gaz à effet de serre (GES) le long de la chaîne énergétique (de la production à l'utilisation de l'énergie). C'est particulièrement vrai dans le secteur des transports qui dépend aujourd'hui quasi-exclusivement du pétrole.

Ce contexte est propice au développement des technologies de l'hydrogène, en incluant la pile à combustible, dès lors qu'elles exploitent, pour produire l'hydrogène, des énergies primaires non-fossiles (nucléaire, énergies renouvelables). Il est cependant largement admis que des innovations de rupture sont nécessaires pour que la pile à combustible alimentée en hydrogène puisse s'imposer massivement sur le marché automobile.

Pour contribuer à mieux comprendre les chemins possibles vers un recours important à l'hydrogène et à la pile à combustible à grande échelle, le projet européen HyWays (avril 2004-juin 2007) vient de développer une feuille de route technico-économique de l'hydrogène énergie à l'horizon 2020-2050 en Europe, dans le cadre du 6^{ème} programme cadre de recherche et développement technologique (PCRD) de l'Union européenne (UE).

Le projet HyWays s'est appuyé sur des scénarios d'introduction des technologies de l'hydrogène dans les secteurs des transports (routiers) et des bâtiments (cogénération), à partir d'un ensemble de chaînes énergétiques représentatives de 10 pays, dont la France. Il a évalué les impacts de ces technologies sur le système énergétique, l'économie et l'environnement et a mis en lumière l'importance du vecteur hydrogène pour contribuer à atteindre les objectifs de réduction des émissions de GES, de compétitivité économique et de sécurité d'approvisionnement de l'UE.

En France, le Groupe HyFrance a été constitué pour accompagner le projet HyWays, à travers un projet national.

Il intégrera les différentes opinions et sensibilités des principaux acteurs de l'industrie et de la recherche publique concernés par la R&D sur cette thématique. Le Groupe HyFrance comporte 15 partenaires, dont 6 industriels (Air Liquide, EDF R&D, Gaz de France, PSA, Renault, Total), 5 établissements publics (ADEME, BRGM, CEA, CNRS, IFP), 2 associations (AFH2, ALPHEA) et 2 ministères (industrie, recherche).

Les travaux du Groupe HyFrance ont été soutenus par le Ministère délégué à la Recherche, puis par l'ADEME. Sur la base d'une expertise collective nationale, ils ont permis de fournir aux partenaires de HyWays, une vision stratégique française et les données associées nécessaires aux modèles de calcul, ceci en instruisant des problématiques nationales liées au développement des technologies de l'hydrogène. En particulier, les futurs modes de production massive d'hydrogène « propre » et l'utilisation des réseaux de gaz naturel pour transporter l'hydrogène ont été examinés.

Le CEA et, en son sein, l'I.tésé jouent un rôle majeur dans ces deux projets en tant que coordinateur du projet national HyFrance et point de contact national du projet européen. Les résultats de HyWays pour l'Europe sont en cours d'analyse et seront transmis aux acteurs français de l'hydrogène énergie dans les mois qui viennent. Les résultats de HyWays extraits pour la France alimenteront le rapport final de HyFrance (livrable destiné à l'ADEME prévu pour septembre 2007).

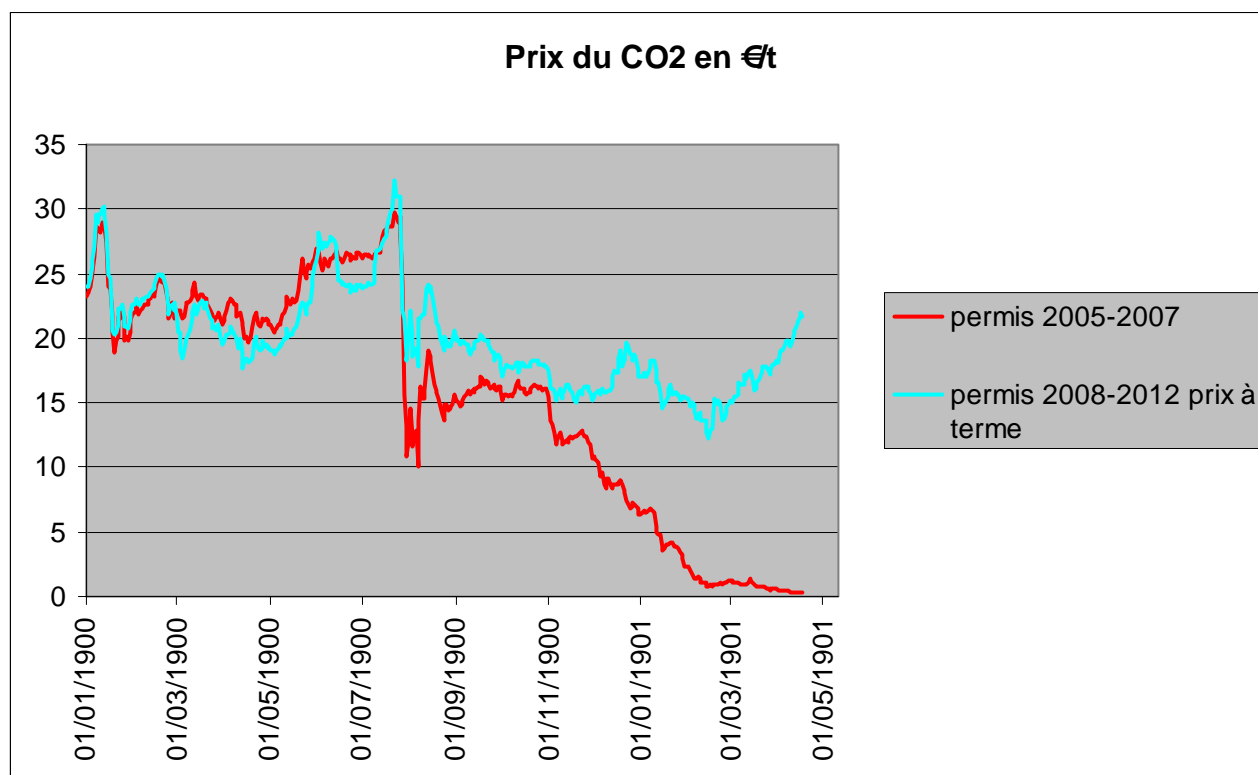
Le rapport final de HyFrance détaillera les messages essentiels que le groupe souhaite promouvoir auprès des acteurs français de l'hydrogène énergie. Il présentera en particulier :

- Une stratégie française de production d'hydrogène à émissions réduites de CO₂ tirant profit des particularités nationales. Celle-ci s'appuiera sur un ensemble de chaînes énergétiques représentatives de la situation française et sur une vision stratégique du développement futur de ces chaînes ;

- Une comparaison des performances technico-économiques potentielles des chaînes françaises à l'horizon visé, en mettant l'accent sur l'influence des prix des énergies (électricité, gaz naturel, bois énergie, éolien) et sur les marges de compétitivité économique de ces chaînes dans le secteur des transports ;
- La dynamique de diffusion des technologies de l'hydrogène retenue et son impact sur la compétitivité économique des véhicules à pile à combustible, les consommations de carburants fossiles et les émissions de CO₂ ;
- Les transformations du système énergétique sur le terrain (déploiement de l'infrastructure nécessaire pour le développement de cette filière hydrogène).

Les marchés énergétiques et du CO₂

Le prix du CO₂ s'effondre pour la période 2005-2008 mais reste à un niveau élevé pour la période 2008-2012.



Lorsque l'Union Européenne a créé le « système européen d'échange de permis d'émission », deux périodes distinctes ont été prévues : 2005-2007 et 2008-2012. Pour chacune de ces périodes, une attribution de permis d'émission est prévue pour les 12 000 installations industrielles concernées.

Les émissions de ces installations doivent être strictement inférieures ou égales aux permis qu'elles possèdent. Elles ont alors la possibilité d'agir sur leurs émissions ainsi que de céder ou d'acheter ces permis sur un marché. C'est la rencontre de cette offre et de cette demande qui fixe alors le prix de la tonne de CO₂.

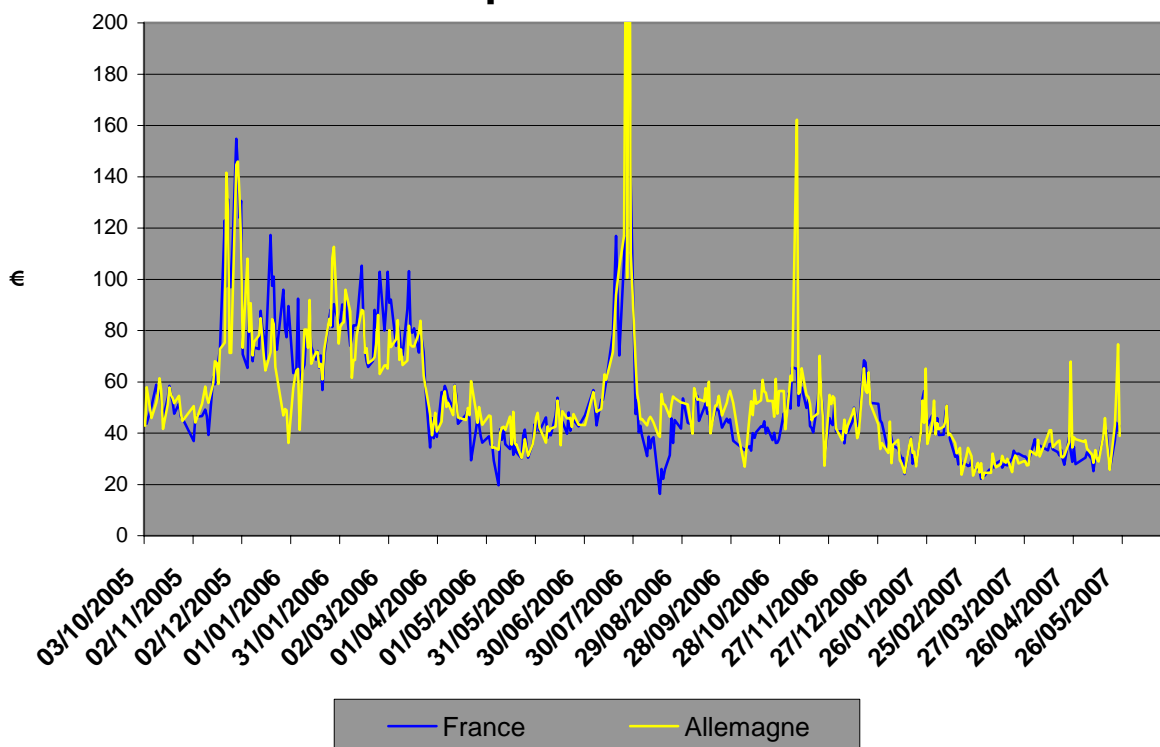
L'effondrement du prix des permis 2005-2007 en avril 2006 et accentué à partir de septembre s'explique par la prise de conscience brutale des opérateurs que les attributions de permis pour cette période ont été généreuses, que le nombre de permis est supérieur aux émissions réelles de 2005 et que cela sera la même chose en 2006.

Conscient de cette réalité, l'Union a donné des consignes strictes aux pays pour leur attribution de permis pour la période 2008-

2012. Dès lors, les acteurs du marché anticipent que sur cette période il existera une véritable contrainte sur le marché du carbone, que les entreprises auront des difficultés à respecter leur dotation initiale en permis et qu'elles devront chercher à en acquérir. Ce sont ces anticipations qui expliquent que le prix à terme des permis pour la période 2008-2012 se maintient à un prix très largement supérieur à celui de la période 2005-2007.

Les prix de l'électricité: une extrême volatilité au jour le jour et corrélation entre la France et l'Allemagne

Moyenne journalière pondérée des prix horaires du MWh pour livraison le lendemain



L'électricité ne se stockant pas, son prix sur les marchés au jour le jour est très volatile. En fonction des conditions météorologiques, par exemple, les besoins peuvent augmenter, ce qui entraîne une forte montée des prix d'un jour à l'autre.

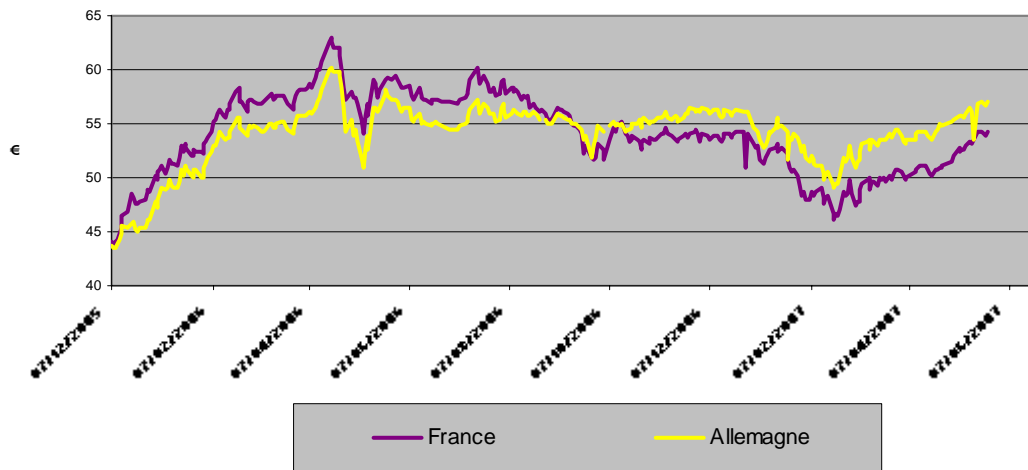
L'évolution des prix en France et en Allemagne montre une forte corrélation des évolutions. Cela s'explique par l'existence d'interconnexion entre les deux réseaux de transport autorisant des arbitrages entre les deux pays. Toutefois ces liens physiques étant parfois saturés ou insuffisants, il peut exister des différences entre ces deux prix.

Les prix de l'électricité pour une livraison en 2008

Afin de se prémunir contre la grande volatilité des prix de l'électricité, les industriels peuvent contracter directement avec un opérateur ou acheter leur courant à terme sur le marché.

Ainsi, par exemple, tous les jours sont cotés sur les marchés des livraisons d'électricité pour l'année 2008.

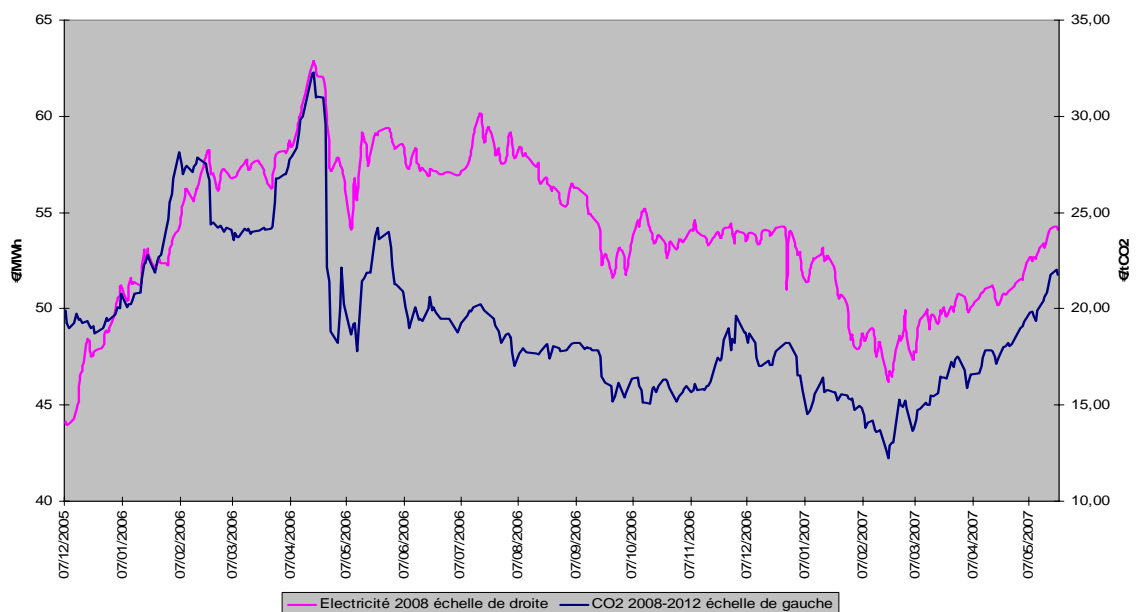
Prix de l'électricité (en €/MWh) pour une production constante livrée en 2008



L'évolution des prix à terme en France et en Allemagne montre qu'en 2006 les opérateurs anticipaient pour 2008 des prix de l'électricité

plus élevés en France qu'en Allemagne. Depuis fin 2006, cette anticipation s'est retournée.

L'influence des prix du CO₂ sur les prix de l'électricité



Cette représentation des évolutions des prix de vente de l'électricité à terme pour l'année 2008 et de l'évolution des prix de la tonne de

CO₂ pour la période 2008-2012 montre le lien entre les deux.

La chute du prix du CO₂ en avril 2005 a eu un effet immédiat sur le prix de l'électricité. De même, la tendance à la baisse, assez longue, du prix de l'électricité pour l'année 2008 entre mai 2005 et février 2007 s'est retournée de façon concomitante avec la remontée des prix du CO₂.

Ces évolutions des prix de l'électricité et du CO₂ montrent que les opérateurs intègrent, au moins partiellement, dans les prix de l'électricité, les coûts des émissions de CO₂. Le paradoxe est que l'attribution des quotas

d'émission est faite à titre gratuit et que, par conséquent, ce n'est que lorsque les producteurs dépassent leur quota d'émissions qu'ils supportent un coût supplémentaire.

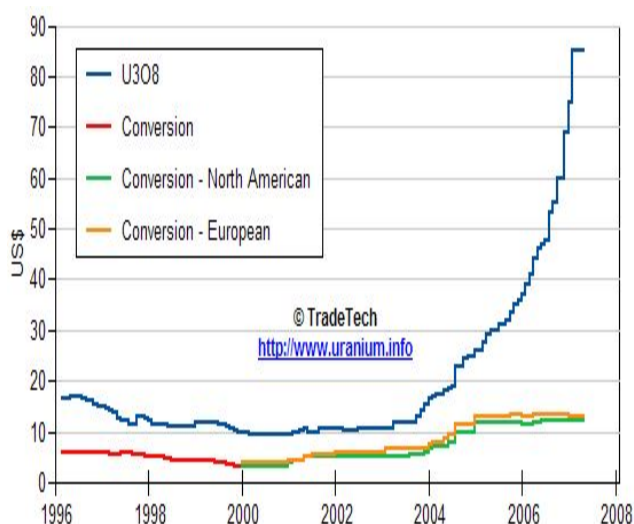
Cette situation permet aux producteurs d'électricité de dégager un profit supplémentaire. C'est le cas notamment pour ceux qui produisent à partir de moyens de production non émetteurs de CO₂, comme le nucléaire, et pour ceux dont les émissions respectent le nombre de quotas attribués.

Marché et évolution des prix de l'Uranium

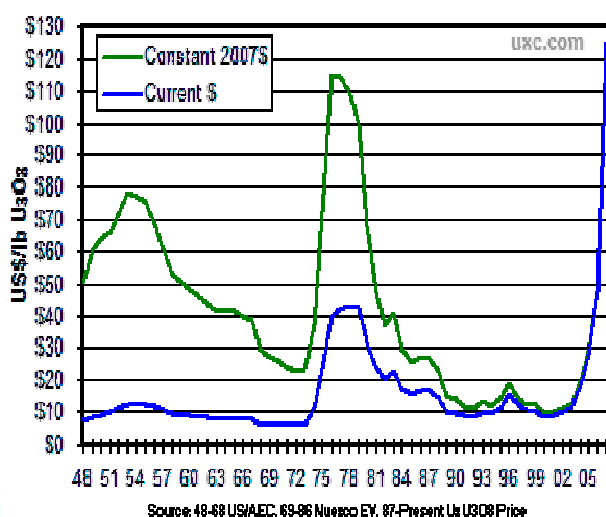
Il n'existe pas de marché formel de l'uranium comme il en existe pour le pétrole ou l'or. Les évaluations du prix de l'uranium pour les contrats à long terme ne sont disponibles que depuis une dizaine d'années. Les prix de l'uranium les plus facilement accessibles

concernent les prix spot. Celui-ci est basé sur l'offre la plus compétitive des transactions dont le volume ne dépasse pas 100 tonnes et dont l'échéance est inférieure à 12 mois, voire même, en pratique, de 2 à 6 mois.

Prix de l'uranium pour les contrats à long terme



Prix spot de l'uranium sous la forme U₃O₈



En 2006, la consommation totale d'uranium, d'environ 68 000 tonnes, était alimentée par les sources secondaires (inventaires) pour un volume d'environ 30%, par le marché spot pour environ 15% et par les transactions à long terme à hauteur de 55%, la plupart des entreprises privilégiant la sécurité d'approvisionnement que garantissent les contrats à long terme.

Jusqu'à leur récente augmentation en 2004, les prix spot étaient inférieurs aux prix des contrats à long terme. Mais l'intervalle entre les deux s'est d'abord fortement resserré depuis 1997 ; l'offre étant limitée, les fournisseurs avaient la possibilité de vendre sur le marché à long terme et étaient moins décidés à offrir des remises importantes. Les prix spot, étant beaucoup plus sensibles aux tensions sur le marché, ont connu une augmentation plus forte que ceux des contrats pluriannuels et leur sont, aujourd'hui, nettement supérieurs.

Evolution des prix

Le prix de l'uranium, sous sa forme U_3O_8 , connaît une augmentation très importante depuis 2005. Cette augmentation est, cependant, à remettre dans le contexte de l'évolution historique des prix de l'uranium.

Marché de l'enrichissement

Aujourd'hui, la capacité totale opérationnelle des installations d'enrichissement de l'uranium est de l'ordre de 40 MUTS, deux technologies cohabitent. La diffusion gazeuse contribue à hauteur de 19 MUTS, l'ultracentrifugation (UCG) hors Russie pour 9 MUTS. La Russie a, pour sa part, une capacité opérationnelle en UCG d'environ 10 MUTS.

Le taux de renouvellement des installations des dix prochaines années est très élevé, la technologie de l'enrichissement par diffusion gazeuse étant progressivement remplacée par celle de l'ultracentrifugation dont l'un des

En effet, les prix atteints en 1975 étaient comparables, en euros constants, à ceux atteints aujourd'hui.

Entre 1973 et 1975, la crainte d'une pénurie de l'offre, liée à la multiplication des commandes de réacteurs et aux besoins militaires, avait provoqué plus d'un triplement du prix.

A partir de 1979, l'annulation des commandes, qui a suivi l'accident de Three Mile Island, mais aussi l'afflux des sources secondaires (divers stocks existants), en modifiant l'équilibre entre l'offre et la demande, ont provoqué la chute du prix de l'uranium.

Depuis 2005, la diminution des sources secondaires, les problèmes de production, tels que les inondations, survenues récemment et, surtout, les prévisions d'accroissement de la demande provoquent une nouvelle envolée des prix par crainte de pénurie.

Un certain nombre de facteurs tels que la reprise des dépenses de prospection et la découverte de nouvelles ressources qui pourrait en découler ainsi qu'une reprise normale de la production dans les mines, devrait, en modifiant l'équilibre entre l'offre et la demande, détendre le marché de l'uranium et entraîner une baisse des prix.

avantages sera d'offrir la possibilité d'une augmentation progressive de la capacité.

En 2006, pour une puissance installée de 370 GWe, les besoins en UTS, d'environ 40 MUTS, étaient couverts par la production. Ces besoins correspondent à un taux de rejet de l'uranium appauvri de 0,3%.

Ce taux de rejet peut être abaissé dans le cas d'une hausse du prix de l'uranium, permettant ainsi une économie sur la consommation des ressources mais au détriment du nombre d'UTS nécessaires.

Une hausse significative du prix de l'uranium pourrait même rendre rentable le ré-enrichissement de l'uranium appauvri mais en augmentant considérablement le nombre d'UTS nécessaires.

Le marché de l'enrichissement est essentiellement un marché à long terme, les contrats spot ne représentant que quelques pourcents du volume total. Par ailleurs, les prix spot sont peu différents de ceux des contrats à long terme.

Prix de l'enrichissement pour les contrats à long terme



On constate une augmentation importante du prix de l'enrichissement depuis 2006 de l'ordre de 30%.

L'accroissement de la demande énergétique, le prochain renouvellement des installations, le changement de technologie peuvent faire craindre un déséquilibre entre l'offre et la demande. D'autre part, les tensions sur le marché de l'uranium ont des répercussions sur celui de l'enrichissement.

Ces différents facteurs contribuent à expliquer cette augmentation récente.

Le marché actuel est donc en pleine évolution. En augmentant les capacités de production pour satisfaire la demande, la croissance des prix du marché devrait ralentir.

Brèves

Stockage de l'énergie : création du projet EDELVEISS

Le caractère intermittent des énergies renouvelables telles que le solaire photovoltaïque ou l'éolien met en exergue la **nécessité d'un stockage**.

En effet, si ce besoin semble évident pour les sites isolés, il peut également être nécessaire pour les sites connectés au réseau afin de permettre une bonne adéquation entre l'offre et la demande et d'éviter le *black out* – en France, RTE estime qu'au-delà de 7% d'ENR intermittentes dans le mix électrique, le *black out* ainsi que pour assurer une

bonne qualité du signal délivré et éviter les micro-coupures.

Ainsi, dans un réseau de plus en plus complexe où les utilisateurs sont également des producteurs et vice versa, le choix de la technologie de stockage dépendra de l'utilisation finale de l'énergie (puissance souhaitée, capacité maximum de stockage, coût, etc.) mais également de la localisation de ce stockage (au niveau du producteur, de l'utilisateur ou à un niveau intermédiaire)

Lors des journées NTE des 21 et 22 mai 2007 il a été décidé d'examiner la problématique du stockage de l'énergie à partir de l'**étude d'un micro-réseau et de créer à cette fin, avant, le projet ÉDELVEISS** : Évaluation avant Démonstrations Expérimentales en Lignes de la valorisation de la production Électrique Intermittente par les Systèmes de Stockage. Piloté par l'I-tésé, ce projet permettra de capitaliser les compétences de diverses unités CEA : DRT/LITEN/DTNM (Batteries), DRT/LITEN/DTS (ENR, Stockage), RT/LITEN/DTH (Système PAC, technico-économie), DRT/LIST/DETECS (Systèmes), DAM/DMAT

(Stockage HP), DEN/DANS/DM2S (Modélisation) et DEN/DANS/I-tésé (Remontage systèmes et évaluation économique).

Les différentes solutions de stockage seront évaluées selon des critères techniques (capacité énergétique, puissance maximale, rendement, nombre de cycles, énergie massique, énergie volumique, temps de réponse, etc.), économiques et environnementaux en utilisant une approche système.

Prise en compte de critères environnementaux dans la conception d'un procédé : modification du point de fonctionnement

Dans un contexte de développement durable, le développement de procédés industriels ne doit pas être guidé seulement par des objectifs techniques et économiques. Des critères environnementaux doivent également être pris en considération. A cette fin, l'optimisation multicritères apparaît comme un outil intéressant.

Un modèle simplifié a été mis en œuvre sur l'exemple du reformage du méthane (procédé émetteur de CO₂ et représentatif pour la production massive d'hydrogène) et a permis de montrer comment des optimisations multicritères pourraient être réalisées afin de proposer différents compromis entre émissions polluantes et coût de production, intégrant ainsi le critère environnemental dans l'optimisation d'un système.

La méthode a été mise en œuvre grâce au logiciel Vizir, logiciel d'optimisation basé sur

les algorithmes génétiques et développé au CEA/DEN/DM2S. A partir du Front de Pareto - résultat de l'optimisation qui représente les objectifs les uns en fonction des autres - des compromis peuvent être réalisés, guidés par des contraintes réglementaires ou bien financières si les émissions engendrent un surcoût lié par exemple à des taxes. Il est en effet apparu que les paramètres techniques de l'installation doivent être fixés différemment en fonction du compromis souhaité.

Une telle méthode pourrait être intéressante pour d'autres applications telles que, par exemple, l'évaluation des procédés de production de carburants de synthèse. Cette étude a donné lieu à un échange avec l'IFP et a été présentée par Christine Mansilla (I-tésé) au congrès IGEC III qui a eu lieu à Vasteras en Suède du 18 au 20 juin 2007.

Evaluation du coût des soutiens à l'électricité d'origine renouvelable par la commission de régulation de l'énergie.

Pour favoriser le développement de l'électricité d'origine renouvelable mais aussi de la cogénération, EDF a l'obligation d'acheter ces productions à un prix supérieur à celui du marché. Le coût de cette aide donne lieu à une compensation pour l'entreprise par la « contribution au service public de

l'électricité (CSPE) » payée par chaque consommateur.

Depuis 2004, le coût de ce soutien aux énergies renouvelables (hydraulique, déchet, éolien, biomasse, biogaz et photovoltaïque) baisse (en passant de 285 millions d'euros en 2004 à 70 en 2007) alors que le volume d'électricité d'origine renouvelable acheté par Edf a augmenté

sous l'influence de l'éolien dont la production est passée de 0,9 à une prévision de 3 TWh.

Ce résultat paradoxal s'explique par la hausse du prix de l'électricité. Le coût de l'obligation d'achat pour EDF est la différence entre le coût d'achat de l'électricité, fixé par le ministère, et le prix de vente sur le marché. Ce dernier ayant

fortement augmenté, le coût à prendre en charge par la collectivité par kWh diminue.

Ainsi si le coût du soutien public à l'électricité d'origine renouvelable diminue, ce n'est pas grâce à une baisse des coûts de production mais à l'augmentation des prix de l'électricité. Ce mouvement est donc fragile car dépendant des évolutions de prix.

Notes de lecture

« Trop de pétrole » de Henri Prévot aux éditions du seuil (Janvier 2007)

Un livre didactique et passionné qui explique comment sans révolution dans notre confort de vie, mais avec une action énergique des pouvoirs publics et une prise de conscience de la population française, nous pouvons réduire d'un facteur 3 à 4 nos émissions de gaz à effet de serre d'ici trente ou 40 ans.

D'emblée l'auteur ne prétend pas donner la solution, mais éclairer le lecteur sur la problématique et les ordres de grandeur en distinguant ce qui lui paraît du domaine du réaliste de ce qui lui paraît du domaine du rêve.

Dans un premier temps, il rappelle les enjeux du réchauffement climatique. Il en conclut que, d'une part, il est inacceptable d'aller sans réagir vers un réchauffement de la planète de plus de 2 à 3°C, et que, d'autre part, le libéralisme économique ne favorisera des substituts aux combustibles fossiles émetteurs de gaz à effet de serre que lorsque la rareté de ces combustibles conduira à une hausse importante de leur prix, ce qui arrivera trop tard, entraînant un réchauffement à craindre nettement supérieur. D'où le titre de son livre : nous avons malheureusement trop de réserves de pétrole, de charbon et de gaz.

En conséquence, il faut absolument une intervention du pouvoir politique sous forme de réglementation, d'incitations fiscales et de subventions pour orienter les initiatives individuelles vers des actions sauvant notre planète.

Y-a-t-il des solutions technologiques permettant de sauver la planète ? Pour l'auteur la réponse est oui et il l'étaye en dessinant un scénario de référence. Compte tenu des délais très courts, il faut compter essentiellement sur celles qui sont disponibles aujourd'hui ou celles dont nous avons de bonnes chances de disposer dans un avenir proche.

Pour que la France puisse réduire ses émissions de gaz à effet de serre dans les prochaines décennies, il compte sur les économies d'énergie (légère baisse de la consommation totale d'énergie), sur le nucléaire et sur la biomasse (chauffage et biocarburants).

Il écarte résolument l'énergie éolienne pour les coûts induits par son caractère trop aléatoire, le solaire photovoltaïque et le charbon avec captation séquestration pour leur coût trop élevé sur la période nécessaire de réaction. **Cependant, il n'écarte pas la possibilité de bonnes surprises.**

Pour augmenter la part du nucléaire à raison du démarrage d'un EPR par an supplémentaire par rapport au remplacement des tranches en fin de vie par des EPR, il envisage d'augmenter fortement la part de l'électricité dans la consommation (pompes à chaleur dans l'habitat, voiture hybrides, ...). Dans le domaine du transport, il ne voit guère de percée de l'hydrogène en dehors de l'enrichissement des biocarburants de deuxième génération.

Par rapport à la question d'attendre un consensus international pour agir, il tranche nettement dans le sens de la nécessité et de l'intérêt de commencer au plus tôt une politique très forte au niveau national. Pour s'affranchir des effets perturbateurs des variations des prix du pétrole, et garantir aux investisseurs la visibilité nécessaire pour agir, il suggère de mettre en place une politique incitant à réaliser tous les investissements rentables pour un coût de pétrole supérieur à 100€ la tonne, un prix de gas-oil supérieur à 15€ le litre, et à un rendement net de culture énergétique supérieur à 2tep l'hectare. Ce

livre ne laisse pas indifférent par la netteté des points de vue exprimés et par l'honnêteté de son auteur qui, tout en étant conscient que certains de ces points de vue seront certainement contredits dans l'avenir, a le courage de présenter un ensemble de positions cohérentes et tranchées. De plus pour ceux qui veulent construire leur propre scénario énergétique permettant de sauver la planète, il offre un site ludique où chacun peut construire son propre mix énergétique : <http://.2100.org/PrevotEnergie/vousmeme.html>.

LE DOSSIER : le changement climatique

En très peu de temps, une majorité de pensées s'est dessinée pour considérer que le système libéral basé sur le moteur de la concurrence, était impuissant à préparer notre avenir énergétique en respectant notre planète.

En effet, la montée naturelle des prix des ressources énergétiques carbonées qui résulte dans une économie libérale de l'épuisement des réserves, ne sera ni suffisamment rapide ni suffisamment stable pour que les acteurs industriels ne s'orientent à temps vers des substituts qui permettraient de limiter le réchauffement de la planète à des niveaux acceptables. De plus, une modification substantielle du comportement des consommateurs afin de réduire leurs consommations énergétiques est indispensable ce qui suppose une grande campagne de communication.

D'où la nécessité d'une intervention des pouvoirs politiques pour créer ces conditions requises. Dans les années 70 et 80, l'intervention forte et continue des pouvoirs publics a permis le développement cohérent de notre parc nucléaire français dont nous profitons aujourd'hui. Nous avons besoin maintenant à nouveau d'une action forte et continue et d'une ampleur encore beaucoup plus grande.

Celle-ci doit se faire dans tous les pays, et doit concerner tout le système énergétique depuis les énergies primaires non carbonées (nucléaire et NTE) ou avec captage séquestration du carbone jusqu'au besoin final (industrie, transport, habitat). Elle doit également porter sur les économies liées à un changement de comportement des consommateurs et sur l'amélioration de l'efficacité énergétique de nos systèmes, en particulier grâce à une bonne utilisation de vecteurs énergétiques (électricité, hydrogène, biocarburants,...).

Les moyens des pouvoirs politiques sont de nature réglementaire, incitative (fiscal ou subvention) ; ils peuvent également orienter les recherches sur tel ou tel procédé.

Toutes ces actions sont souvent interdépendantes. Le succès de l'objectif final qui se mesurera suivant de nombreux critères (émission de gaz à effet de serre, mais aussi, économies, emploi, risques techniques, acceptabilité sociale,...) nécessite non pas la réussite d'une ou deux voies mais d'un très grand nombre.

Le CEA, par l'étendue des domaines de compétences de R&D pertinents par rapport à toutes ces questions, peut jouer un rôle important. Le dossier commence par rappeler les enjeux économiques de ce changement climatique à partir du rapport STERN.

Il présente ensuite des stratégies étudiées en Allemagne et en Angleterre ainsi que les réflexions en cours en France.

Si les études publiées en Angleterre et surtout en Allemagne proposent des solutions

répondant à la question, on peut néanmoins s'interroger sur leur réalisme et la probabilité qu'elles puissent être mises en œuvre.

Réalité du changement climatique : quelles certitudes, quelles conséquences ?

Deux nouveaux jalons

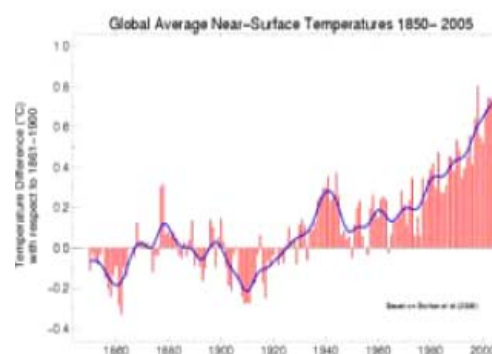
Le 4^{ème} rapport du GIEC et le rapport de Nicholas Stern, parus ces derniers mois, ont rendu leur jugement à la lumière des dernières avancées scientifiques sur le changement climatique.

Ils marquent une étape dans le contexte international des négociations préparatoires au post-Kyoto. Les résultats du GIEC, basés sur de très nombreuses observations et issus de modèles théoriques de plus en plus fiables sont capables de fournir des projections dans les décennies et les siècles à venir, et corroborent les annonces du précédent rapport (2001).

Le rapport Stern, du célèbre économiste, se démarque, quant à lui, par un argumentaire économique chiffré, portant sur le coût du changement climatique. Il rejoint les dernières conclusions 2007 du GIEC dans ses autres analyses

L'homme est responsable

Les scientifiques confirment une augmentation marquée des émissions de GES atmosphériques (gaz à effet de serre) depuis l'époque préindustrielle, très vraisemblablement imputable aux activités humaines, et sont capables désormais d'établir le lien entre un surcroît des GES et les transformations que subit la planète suite à son réchauffement (augmentation en un siècle environ de 0,6°C en moyenne de la température moyenne de la surface terrestre).



Rapport Stern

Etant donné les quantités de GES relâchées dans l'atmosphère, le GIEC considère que le phénomène, irréversible et à grande inertie, conduira à un changement climatique sans équivoque.

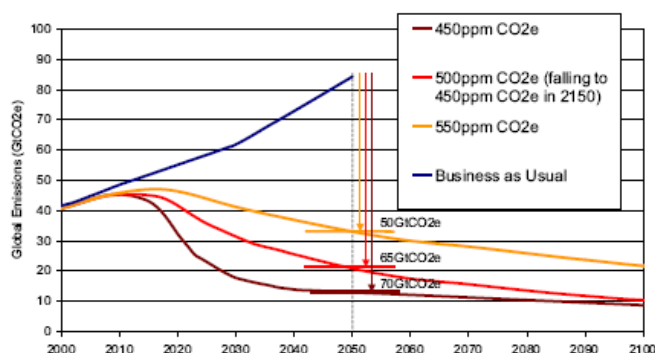
Chronique annoncée

Malgré les risques et incertitudes encore existants, les impacts de ce changement sont estimés très conséquents et prolongés dans le temps, affectant les phénomènes climatiques en intensité et fréquence, touchant de manière inégale les différentes régions du monde. La vie humaine sera mise en péril avec les menaces concernant l'accès à l'eau, les vivres, la santé, les aspects sociaux et l'environnement.

Les résultats des scénarios SRES du GIEC arrivent à la conclusion que l'augmentation en moyenne des températures durant ce siècle pourrait atteindre plusieurs degrés par rapport à aujourd'hui si aucune action spécifique n'était entreprise.

Le stock de GES, triplé d'ici 2100, pourrait alors induire, à une probabilité de 50%, un dépassement de 5°C au cours des décennies suivantes, équivalent à la hausse de température entre la dernière période glaciaire et la période actuelle. Cette conclusion, issue de modèles et connaissances affinés, est majorée (présence de rétroactions) par rapport à celle des études précédentes.

Quel scénario pour éviter le pire ?



Emissions BAU (sans aucune action) et trajectoires de stabilisation (Rapport Stern)

L'étude de trajectoires de stabilisation des GES montre qu'un scénario, réalisable en termes d'effort et aboutissant à une concentration aux alentours de 500 - 550 ppm d'équivalent CO₂ en 2100 (contre 430 aujourd'hui) conduirait à un réchauffement de 2°C en moyenne à ce terme. La réduction annuelle des émissions de GES en 2050 nécessaire pour atteindre cet objectif, s'élèverait à 50 milliards de tonnes d'équivalent CO₂, soit plus de la moitié du niveau qui serait obtenu à cette échéance sans aucune action. Ce scénario sous-entend une transition vers une économie moins carbonée, nécessitant de nombreuses mesures et la mobilisation de technologies adaptées avec des coûts qui devront être supportés. Un changement du comportement sociétal sera également indispensable.

Le prix à payer

Les modèles économiques utilisés pour l'étude Stern concluent que les dommages,

en cas **d'inaction**, pourraient coûter extrêmement cher, correspondant à plusieurs points du **PIB mondial** en 2050, de l'ordre de **5%**, et même jusqu'à **20%** si l'on intègre les effets non marchands, les rétroactions possibles et des risques supérieurs.

Dans le cas du scénario de **stabilisation** à 550 ppm de CO₂équival, cette estimation serait réduite à environ **1% du PIB mondial** en 2050. Ce chiffre, encore considérable, resterait toutefois compatible avec la croissance mondiale et le développement continu, sans pour autant constituer une menace.

Oui, mais...

D'après Stern, moyennant une action vigoureuse et collective, le défi à relever pour un réchauffement modéré, s'avère donc possible. Une coopération internationale sera nécessaire pour soutenir les pays en développement qui, de surcroît, seront les plus touchés. La mise en œuvre laborieuse du protocole de Kyoto constitue une première étape dans le processus de mobilisation, appelant, par la suite, l'instauration prioritaire d'un signal prix du carbone généralisé. Seules des politiques nationales concertées et harmonisées, plus particulièrement des pays développés ou forts émetteurs de GES, permettront de continuer le combat concrètement.

Mais la première des urgences aujourd'hui n'est elle pas encore d'un autre ordre ? **convaincre les attentistes**, et cette tâche délicate est particulièrement difficile, voire impossible, à chiffrer.

GIEC : groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat SRES : special report on emissions scenarios

ppm : partie pour million

Rapport Stern : http://www.hm-treasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/sternreview_index.cfm

Rapport GIEC : <http://www.ipcc.ch>

Tour d'horizon européen

Allemagne : baisser de 80 % les émissions de gaz à effet de serre sans recours au nucléaire

Le premier bulletin rédigé par le conseiller CEA à l'ambassade de France de Berlin (Jean-Marc Capdevila) donne un aperçu de la politique et des questions énergétiques en débat actuellement outre-Rhin. La lettre passe en revue le bilan énergétique et la loi de sortie du nucléaire qui prévaut, elle présente le résultat de sondages sur le nucléaire, ainsi qu'un résumé du scénario énergétique directeur 2006 du Ministère de l'Environnement et de la Sécurité nucléaire (BMU).

Le bouquet énergétique allemand repose à 80% sur les fossiles, eux-mêmes importés aux trois quarts, dont une grosse part de Russie. En vertu de l'accord politique de 2001, le quatrième producteur mondial d'électricité devra arrêter ses réacteurs nucléaires après 32 ans en moyenne. Malgré une percée en matière de développement des énergies renouvelables (ENR), (par exemple, 39% de la capacité éolienne mondiale est située outre-Rhin), le mix énergétique a peu changé, la part du charbon n'ayant baissé que de 6% environ en dix ans. Le pays devrait cependant, au rythme actuel, pouvoir respecter son engagement, au sein du Protocole de Kyoto, de baisser de 21% ses émissions en 2008-2012 par rapport à 1990.

L'opinion publique ne peut pourtant pas être qualifiée d'hostile au nucléaire chez nos voisins ; des sondages montrent que l'opinion est assez proche de la nôtre concernant le nucléaire, et même plus consciente de son avantage climatique. Il existe toutefois une différence majeure : les Allemands, en majorité, estiment qu'il est possible de réduire l'émission de GES toute en abandonnant progressivement l'option nucléaire.

Le scénario directeur 2006 pour 2050 intitulé « *Stratégie de Développement des Energies Renouvelables* » est très ambitieux. Il vise à baisser de 80% les émissions de 1990 sans recourir au nucléaire. Les ENR fourniraient en 2050 la moitié des besoins énergétiques (dont 80% de l'électricité, 48% de la chaleur, et 48% des carburants). Trois phases de développement sont envisagées avec des objectifs intermédiaires. Les 177 Mt de CO₂ évitées par an de 2005 à 2020 le seraient pour moitié quasiment grâce aux économies d'énergie et pour une autre moitié grâce aux ENR. D'un point de vue technique, le scénario suscite de sérieuses interrogations même en Allemagne. L'AIE a même publié une mise en garde pour contester le réalisme de ce scénario. Par ailleurs, récemment, l'AIE a fortement invité l'Allemagne à revoir sa stratégie de sortir du nucléaire.

Le Royaume Uni vise une réduction de 60 % des gaz à effet de serre (GES) d'ici 2050

L'Energy White Paper, document officiel du DTI (Ministère du Commerce et de l'Industrie) présenté au Parlement le 23 Mai 2007, définit la politique énergétique à venir au Royaume Uni. L'objectif est de réduire de 60% les émissions de CO₂ d'ici 2050 (dont 26-32% d'ici 2020). Il rappelle que le Royaume-Uni devra construire 30-35 GWe d'ici les vingt prochaines années, dont 20 GWe d'ici 2020.

Sans surprise, les objectifs corollaires de la baisse drastique des émissions de CO₂ sont

les économies d'énergie, le développement des renouvelables et le maintien d'énergies à prix compétitifs, ceci dans le cadre de marchés concurrentiels.

En parallèle de la publication du document, le gouvernement mène une consultation publique sur le nucléaire afin de prendre la décision avant la fin de l'année de maintenir ou non l'option ouverte.

Sans se prononcer sur la question, le document indique que l'objectif des 60% sans nouvelles capacités nucléaires serait faisable

d'après une modélisation effectuée, mais en prenant le risque de mettre en jeu la sécurité d'approvisionnement et à coûts plus élevés. Toutefois, au sein de la consultation publique, le DTI propose un document de 200 pages intitulé « *The future of nuclear power. The role of nuclear power in a low carbon UK*

economy » dans lequel le gouvernement est présenté comme favorable au nucléaire.

Le *White Paper* et le document de consultation sont disponibles sur www.dti.gov.uk

Engagements électoraux pour la France : vers une stratégie nationale

A l'aube d'une nouvelle présidence, la France, plus que jamais engagée dans la lutte contre le changement climatique, se voit dotée d'un programme de politique énergétique et environnementale, présenté comme ambitieux et à la hauteur des enjeux existants. Il s'agit en effet de relever le challenge qu'elle s'est fixé dans un souci d'exemplarité (diminution à l'horizon 2050 d'un facteur 4 de ses émissions de GES) et qui constitue aujourd'hui le pilier de sa politique environnementale.

Cette politique déjà en cours devrait être poursuivie et renforcée pendant ce nouveau mandat. Lors de la constitution du nouveau gouvernement, Nicolas Sarkozy a immédiatement concrétisé sa volonté d'instances renforcées devant occuper un rôle majeur dans la vie politique. Il a créé un grand ministère du développement durable, un comité environnemental d'éthique et un conseil stratégique dédié.

Ces instances sont chargées de mettre en œuvre le projet proposé par le candidat UMP pendant sa campagne électorale. Ce projet est basé pour l'essentiel sur deux plans d'actions, incitatifs de comportements vertueux pour l'environnement : mise en place d'une fiscalité écologique renforcée, conciliant économie et environnement, et vaste programme de mesures liées à la maîtrise de l'énergie. Les moyens utilisés permettront également de favoriser des synergies.

Demain : quelles énergies?

En toute continuité, l'énergie nucléaire maintiendra sa place de choix dans le mix électrique français avec le renouvellement du parc et l'aboutissement du chantier EPR. S'agissant des ENR, leur plus grande part, prévue dans le cadre des objectifs visés par la loi du 13 juillet 2005, sera assurée grâce à un développement soutenu de la recherche. Leur essor devrait être générateur d'emplois.

Maitrise de l'énergie

Un assortiment de mesures facilitant l'investissement sera mis en place pour obtenir une augmentation de l'efficacité énergétique, des économies d'énergie et une réduction des GES. Elles concerneront en particulier l'habitat (isolation des bâtiments anciens, utilisation d'énergies renouvelables).

Ces mesures prendront la forme de prêts à taux 0, de crédit d'impôt écologique, d'une réduction de la TVA pour les produits propres et de certificats d'économie d'énergie.

De plus, un accent sera mis sur la formation d'experts et le développement de la recherche dans ce domaine.

Système de taxation : oui, mais lequel ?

Au cœur de cette politique, le nouveau gouvernement prévoit un système de taxations renforcées et très incitatives, déclinées comme suit :

- Sur le territoire, une augmentation de la fiscalité environnementale, à pression fiscale actuelle constante afin de ne pas pénaliser l'économie : les nouvelles charges seront donc compensées par un allègement des charges sur le travail.

Concrètement :

- doublement en 5 ans de l'éco-fiscalité du type TIPP, TGAP, (passage de 2,3% à 5% du PIB), cette fiscalité étant aujourd'hui minimaliste par rapport au niveau européen,
- taxe carbone « aménagée », appliquée à un grand nombre d'énergies polluantes mais limitée à certains produits et services,

- défiscalisation intégrale des biocarburants, TVA très diminuée, voire nulle sur les écoproduits,
- suppression de la taxe à l'essieu (uniquement appliquée jusqu'alors aux seuls transporteurs français) et remplacement par une redevance pour tous les transporteurs (à l'exclusion des véhicules particuliers), calculée à partir du niveau d'émission de GES du véhicule considéré. Les dividendes de ces taxations devront financer le développement des transports alternatifs comme le ferroutage et le transport fluvial.

- Aux frontières, suggestion d'une taxe dite de Cambridge sur les produits importés issus de pays non signataires du Protocole de Kyoto.

Souci de transparence

Le souhait de N. Sarkozy est d'associer les Français aux mesures qui seront prises. Toute réforme potentielle sera accompagnée d'un livre vert explicitant son objectif et son contenu, fera également l'objet d'un débat public et sera consignée, une fois adoptée, dans un livre blanc.

Un accès réglementé aux documents nucléaires sera également organisé.

Changement des comportements individuels

Une politique de responsabilisation des consommateurs sera lancée en généralisant l'étiquetage déjà existant sur certains produits, qui fournira des informations diverses, d'ordre écologique, énergétique ou sur les risques de santé : application prévue aux voitures, logements,...L'état en montrera l'exemple en

pratiquant des achats publics éco responsables.

En parallèle, une publicité de sensibilisation aux problèmes environnementaux sera également renforcée (diminution de l'usage de la voiture individuelle, covoiturage, transport en commun).

Ouverture des marchés

Un effort de conciliation devra être fait entre une énergie à tarifs abordables et la nécessité d'investir dans la recherche et le développement des énergies du futur.

Nouvelle agriculture ?

Dans un souci de respect de l'environnement, l'agriculture devra être orientée suivant trois axes principaux : augmentation de la production biologique, gestion optimisée des pesticides et de l'eau, renégociation des aides de financement (PAC).

La recherche sur les OGM sera poursuivie.

Et sur la scène internationale ?

La création d'un G20 du climat, proposé par Al Gore, pourrait être lancée ainsi que celle d'un organisme international de l'environnement pour éviter le dumping écologique.

Fort de toutes ces intentions, le nouveau gouvernement s'inscrit dès aujourd'hui dans une politique environnementale et énergétique volontariste, engagée dans une bifurcation technologique et sociale pour préparer le prochain jalon important en 2012 (post-kyoto).

D'ici là, rendez-vous à l'automne pour le premier grenelle environnemental !

Facteur 4 : <http://www.drire.gouv.fr/>