

**BULLETIN n°85**  
**ACADÉMIE EUROPÉENNE INTERDISCIPLINAIRE**  
**DES SCIENCES**



Séance du Mardi 11 Mai 2004

**Conférence de notre collègue**  
**FRANCOISE DUTHEIL**

*Secrétaire Nationale du Parti Radical, =\*\*=*

*Responsable du pôle « énergie » dans l'UMP « Ecologie Bleue »*

**« Energies : quels scénarios pour demain ? »**

Prochaine séance : le Mardi 8 Juin 2004 :

**Conférence de notre collègue**  
**CHRISTIAN NGÔ**

*Conseiller scientifique du C. E. A.*

*Directeur Général d' ECRIN,*

***«De la micro à la nanoélectronique »***



**ACADEMIE EUROPEENNE INTERDISCIPLINAIRE**

Maison des Sciences de l'Homme, 54, Boulevard Raspail, 75006 Paris

**PRESIDENT : GILBERT BELAUBRE.****SECRETARE GENERAL : Pr. EMMANUEL NUNEZ.****TRESORIER GENERAL : BRUNO BLONDEL.****CONSEILERS SCIENTIFIQUES :****SCIENCES DE LA MATIERE : Pr. GILLES COHEN-TANNOUJJI.****SCIENCES DE LA VIE ET BIOTECHNOLOGIES : Pr. FRANCOIS BEGON****PRESIDENT DE LA SECTION DE NICE : Doyen RENE DARS.****PRESIDENT FONDATEUR****DOCTEUR LUCIEN LEVY (=)****SECRETARE GENERAL D'HONNEUR****PROFESSEUR P. LIACOPOULOS****TRESORIER GENERAL D'HONNEUR****PROFESSEUR H. NARGEOLET**

Mai 2004

**N° 85****TABLE DES MATIERES**

P. 5. Compte-rendu de la séance du 11 Mai 2004.

P. 7. Documents

En appui à la conférence de Mme Françoise Dutheil, nous avons rassemblé quelques articles récents sur les besoins et les sources d'énergie, les risques climatiques et l'écologie

Date de la prochaine séance :

le Mardi 8 Juin 2004 à **18 h.**, salle 215, M.S.H.**Conférence de notre collègue****CHRISTIAN NGÔ**

Conseiller scientifique du C. E. A.

Président d'ECRIN

**« De la micro à la nanoélectronique »**



## *Séance du* **Mardi 11 Mai 2004**

**Maison des Sciences de l'Homme, salle 215, à 18 h.**

La séance est ouverte à 18 heures, en présence de 11 membres .

### **Congrès « Fractales en Progrès ».**

Le Président fait le point sur le projet de congrès « Fractales en Progrès », Notre collègue François Bégon a lancé des pré-inscriptions qui seront reprises et confirmées dès que les modalités pratiques du congrès seront définitivement arrêtées. Le programme est définitivement bouclé. Il s'est enrichi de la participation de plusieurs personnalités scientifiques de tout premier plan.

### **Assemblée Générale 2004.**

G. Belaubre fait part de son intention de renoncer à assurer seul l'élaboration pratique du programme courant , la rédaction et l'édition du bulletin. Il pense que qu'une organisation collégiale, fondée sur la bonne volonté de quelques-uns, serait beaucoup plus riche et il l'appelle de ses vœux. Il rend hommage aux initiatives de notre collègue François Bégon, grâce auquel nous aurons un congrès de très haut niveau, et aussi à qui nous devons la mise à jour du site de l'Académie . Nous devons à son fils Frédéric Bégon, Ingénieur Télécom, la reprise et le suivi de notre outil internet.

Une réunion du Bureau se tiendra prochainement pour préparer cette échéance.

### **Candidature :**

La candidature du Dott. Roberto Zonta, annoncée dans le dernier bulletin, est officiellement présentée. Le vote par bulletins rapporte l'admission de ce candidat, deuxième membre italien de notre Académie.

### **Conférence de Françoise Dutheil.**

La parole est ensuite donnée à notre collègue Françoise Dutheil pour sa conférence sur les stratégies concernant les besoins et la production d'énergie.

Madame Françoise Dutheil, qui a accompli une carrière scientifique, est Secrétaire Nationale du Parti Radical. A ce titre, et en raison de ses compétences, elle est en charge du pôle « énergie » au sein de la formation politique UMP « Ecologie Bleue ». Le texte de la conférence est donné ci-après. Il a été accompagné de quelques articles récents sur les divers sujets gravitant autour du thème central. Les controverses qui caractérisent les débats mondiaux sur ce sujet ont pour origine la difficulté à prévoir l'évolution climatique mondiale et locale à moyen terme, et la phobie du nucléaire chez une partie de la population en occident. Les alternatives conduisent souvent à préférer le choix le moins mauvais. Toutefois, une régulation mondiale n'est pas en vue, en raison des intérêts en jeu et des rapports de puissance.

La séance est levée à 20 heures.

Bien amicalement à vous .

G. Belaubre. 24 / 05 / 2004 .

Le 24 Mai 2004,

G. Belaubre.



## Documents

P. 9 - Résumé de la conférence de Mr. Christian Ngô : « De la micro à la nanoélectronique ».

P. 11 - Texte de la conférence de Mme Françoise Dutheil :  
« Energies : quels scénarios pour demain ? ».

P. 17 - Divers articles récents concernant la production et l'utilisation des énergies : fossiles, nucléaires, « renouvelables », les incidences climatiques , les incidences écologiques.

### P. 18. **ENERGIES**

La demande mondiale d'énergie augmentera de 54% d'ici 2025

La France a consommé moins d'énergie en 2003

Un système efficace de production électricité géothermique.

Construction de la plus grande installation photovoltaïque du monde prévue dans la Sarre

La Grande Bretagne mise sur l'énergie éolienne

L'Espagne parie sur l'hydrogène

La géothermie trouve son second souffle.

De l'hydrogène en stock

Une nouvelle pile a combustible a fort rendement énergétique

La génération 4 nucléaire : des réacteurs « multi-usages ». ( Françoise Dutheil ).

### P. 32 -**CLIMAT**

Réchauffement climatique : la piste cosmique se confirme.

Climat: un nouveau modèle de prévision testé avec succès sur 150 ans

Stocker le CO2 dans le bassin parisien pour combattre l'effet de serre

Les rejets de gaz carbonique augmentent de façon alarmante

Un choc pétrolier est-il nécessaire pour réduire les émissions de CO2 ?

L'Europe menacée de refroidissement par le réchauffement climatique

### P. 40 -**ECOLOGIE**

Le remplacement du pétrole par l'hydrogène suscite un débat  
sur ses effets environnementaux

Un schéma pour prévoir l'impact de l'environnement sur la végétation

L'augmentation du CO2 menace la forêt amazonienne

L'augmentation du CO2 menace la forêt amazonienne

La fonte des glaces dans l'Arctique inquiète la Nasa





# Résumé de la conférence de Mr. Christian Ngô

( 8 Juin 2004)

Traduction anglaise d'Irène Herpe-Litwin

## De la micro à la nano-électronique

En réalisant des systèmes électroniques de traitement de l'information de plus en plus performants et moins chers, la micro-électronique est au cœur de notre civilisation. Il y a par exemple autant d'électronique dans les voitures actuelles que dans les premiers Airbus. Les progrès fulgurants de la micro-électronique sont basés sur trois objectifs simples : « smaller, faster, cheaper ». La technologie a ainsi permis de réaliser des systèmes dont l'augmentation de performances, la diminution du coût et de taille, évoluent à une vitesse qui n'existe dans aucun autre secteur industriel. En allant vers l'infiniment petit, on commence néanmoins à rencontrer des limitations physiques qui pourraient conduire à des révolutions dans ce secteur.

Pourquoi la micro-électronique a-t-elle autant de succès ? Quelles en sont les limites ? Quels nouveaux phénomènes vont apparaître ? Qu'est-ce que la nanoélectronique et l'électronique moléculaire ? Ces points seront abordés dans cette conférence de vulgarisation scientifique.

### *From Micro electronics to Nano electronics*

As more and more efficient and cheap electronic systems in the realm of data processing have been achieved , microelectronics stands in the middle of our civilization. For instance, there is now just as much electronics in today's cars as in the first Airbuses. The striking advances in micro-electronics are based on three simple targets: "smaller, faster, cheaper". Technology enabled us to achieve systems with such an increase of efficiency, a reduction of cost and size, that their rate of evolution is unchallenged in any other industrial sector. Heading to the infinitely small, we still start meeting physical limits which could generate revolutions in this area.

Why is micro-electronics so successful? Which are its limits? Which are the new appearing phenomenons? What is nano-electronics or molecular electronics? These points will be developed in this conference dedicated to scientific popularization.



## Texte de la conférence de Mme Françoise Dutheil

Conférence du 11 Mai 2004

### Energies : quels scénarios pour demain ?

**Dans le cadre de la programmation pluriannuelle des investissements de production, un grand débat public démocratique a été ouvert en 2003, qui sera suivi d'une loi d'orientation sur l'énergie à voter prochainement par le Parlement (avant juillet 2004).**

**Il était en effet grand temps de ré-ouvrir clairement les données de base de ce grand dossier, ouvert en 1997 par Alain Juppé, et enterré aussitôt sous la pression des Verts. La maîtrise des enjeux de l'énergie a en effet besoin d'une vraie volonté politique où le progrès consistera à raisonner à une double échelle géographique : locale et planétaire, dans les contextes suivants d'un Développement Durable .**

*1°/ l'accès à l'énergie est pour tous la clé du développement*

Or, 2 milliards d'individus n'ont pas encore accès à l'électricité. Dans les 50 prochaines années, l'ONU estime que la population augmentera d'environ 3 milliards de personnes, les consommations, essentiellement à base d'énergie fossile, de 50%, et celles d'électricité au rythme d'un doublement entre 1990 et 2020.

Contrairement à certains dires, il n'est donc pas possible de réduire la consommation d'énergie du monde. Même avec des programmes drastiques d'économie dans les pays riches, on devra accroître la production d'énergie, sauf à dire aux pays pauvres qu'on ne veut pas partager !

*l'énergie est indispensable pour rompre le cycle de la pauvreté et du sous-développement .*

*2°/ un axe prioritaire : la lutte contre les gaz à effet de serre (GES)*

La question climatique est par ailleurs devenue essentielle. Personne à ce jour n'a pu construire un modèle qui contredise la possibilité du réchauffement planétaire, y compris ceux qui alimentent encore la controverse. Proclamer une solution miracle pour réduire les émissions, serait une vision inutile du point de vue du phénomène mondial, car en 2050 les PVD émettront environ sept fois plus de CO<sub>2</sub> que les pays industrialisés. Baisser la consommation ou instituer des taxes, reviendraient à une nouvelle forme de colonisation où certains PVD vendraient des droits à polluer qu'ils n'auraient pas utilisés, aux pays riches qui en manqueraient, droits que la rareté rendrait de plus en plus chers.

Une certitude existe : la composition chimique de l'atmosphère, relativement stable depuis 10.000 ans, a profondément changé durant les 100 dernières années, et c'est la rapidité de cette perturbation qui est inquiétante. Par exemple, sa teneur en CO<sub>2</sub> a augmenté de 30%, or les GES (Gaz à Effet de Serre) s'accumulent dans l'atmosphère : le CO<sub>2</sub> émis va y rester pendant 1 siècle. Tous les gaz se mélangeant à l'échelle de la planète, on ne peut séparer les uns des autres.

Les seules appréhensions possibles de la question sont les modèles mathématiques de simulation de planètes artificielles reproduisant des modèles de climat réel. Un scénario indique une fluctuation de 1/10 de degré en l'an 2000 : en cela il se distingue déjà des siècles précédents et permet de prévoir à l'horizon 2100, une augmentation de température de 2 à 4 ou 6°. En découle une certitude : la modification substantielle du climat. La planète est déjà dans un état où la seule stabilisation des émissions de GES ne suffit plus. C'est d'un facteur 3 qu'il sera nécessaire de diminuer les émissions pour permettre au système d'être durable. Mais la division par 3 au niveau mondial signifie une division par 4 ou 5 dans les pays industrialisés, car il n'est pas question de pénaliser l'accès à l'énergie des pays émergents.

Si les Chinois voulaient consommer le quart de ce que nous consommons en énergie : ils tueraient le climat.

**L'enjeu actuel est donc la surveillance de ce qui commence à se passer afin de diminuer la fourchette d'incertitude entre le gérable et le catastrophique.**

Face à un événement annoncé quasi irréversible, *Il est temps de prendre conscience que notre modèle de développement n'est pas durable.*

Chaque année, le sol, les océans et l'atmosphère échangent environ 190 milliards de tonne de carbone à la faveur d'un cycle équilibré. Le problème vient du carbone artificiellement rejeté par les activités humaines : 6,5 milliards de tonnes chaque année. Le protocole de Kyoto préconise de les réduire de moitié, il s'agit donc d'«économiser» 3 milliards de tonnes.

**Refuser systématiquement les avancées scientifiques, ainsi que le préconisent certains Verts, nous ferait reculer d'une façon abyssale, vers un obscurantisme à la fois a-scientifique et anti-scientifique.**

*3°/ en France, le sujet de l'énergie nous concerne tous*

**Le secteur énergétique représente directement 3% de notre produit Intérieur Brut (PIB), 230.000 emplois, 26% des investissements industriels, et une facture de 23 milliards€ d'importations annuelles de combustibles fossiles polluants.**

**La consommation d'électricité française a augmenté de 2,7% en 2001, autour de 2% en 2002 et de 3% en 2003, malgré le ralentissement économique! D'ici 2020, à tendance constante, la consommation d'électricité augmenterait de 45%.**

**Or la France doit aujourd'hui importer pratiquement la totalité de sa consommation en combustibles fossiles (charbon, gaz, pétrole) qui fournissent 50% de sa consommation totale d'énergie. En clair, la France dépend des pays du Golfe, de l'Irak ou de la Russie pour son approvisionnement en pétrole, de l'Afghanistan, de la Tchétchénie ou de la Syrie pour les pays de transit, sinon de la Russie ou de l'Algérie quant à son approvisionnement en gaz.**

**La concentration des réserves dans un nombre restreint de pays, est d'ores et déjà facteur de tensions autour de l'accès à l'énergie.**

*4°/ quels axes préconiser pour une politique énergétique en France ?*

**Développer les énergies « les moins réchauffantes » est devenu la priorité de toute politique énergétique, dont les objectifs doivent aussi répondre à 4 impératifs :**

- un approvisionnement énergétique sécurisé,
- accessible au prix le plus bas,
- disponible en continu pour l'utilisateur,
- l'environnement étant protégé ;

**Sur cette base sont préconisés les grands axes suivants :**

- l'éviction des combustibles « réchauffants » pour produire de l'électricité, ainsi que prise en compte de l'émission des gaz à effet de serre dans le calcul « politique » par de nouveaux outils financiers du marché : il s'agit « d'internaliser les externalités »;
- la maîtrise de l'énergie (amélioration de l'habitat, chasse au gaspillage, etc...)
- le choix d'un « Mix » énergétique répondant à un « Mix économique », selon les meilleures combinaisons possibles ;
- l'élaboration d'une nouvelle gouvernance du secteur de l'énergie ;

Aussi à l'échelon de l'Europe :

- un dispositif européen d'alerte de prévention des modifications climatiques,
- l'inscription de critères environnementaux dans le cadre des prochaines négociations commerciales multilatérales,
- la valorisation des échanges de droits d'émission pour l'industrie européenne ;
- la poursuite des recherches sur la séquestration du CO<sub>2</sub> (projet Castor) ;
- une Commission européenne d'évaluation de l'application des engagements de Kyoto :

\*il pourrait revenir à l'Europe de proposer une Solidarité planétaire en laissant les PVD consommer l'énergie indispensable à leur développement sous la forme fossile qui leur est la plus accessible, et pousser à l'accélération de l'énergie nucléaire durable de 4<sup>ème</sup> génération dans les pays industrialisés qui en ont le potentiel technique.

\*en ce qui concerne l'énergie nucléaire, favoriser la formation d'ingénieurs et d'experts, car les études s'accordent pour prévoir en 2050 une multiplication par 10 de la puissance actuellement installée dans le monde (359 Gwe nucléaires installés aujourd'hui, qui permettent d'éviter chaque année 600 millions de tonnes de carbone) ;

5°/ *Quelles sont les alternatives techniques pour répondre à ces défis ?*

- *5.1 les Energies Renouvelables (EnR)*

Celles-ci relèvent d'une logique de décentralisation, répondant à des besoins spécifiques d'une communauté ou d'une usine, ou d'un habitat isolé.

En effet, leur production intermittente (plus ou moins de vent ou de soleil) rend difficile leur couplage au réseau national, car elle nécessite d'installer une production à peu près équivalente pour s'y substituer aux heures plates, plus un renforcement du réseau pour le transport particulier de l'électricité produite, le plus souvent depuis des lieux éloignés. A ces titres, leur rattachement au réseau est donc plus coûteux.

Les EnR n'en présentent pas moins un vif intérêt : soit pour faire de la chaleur (solaire), de l'électricité d'appoint (éolien), des biocarburants (biomasse), ce qui peut d'ici une vingtaine d'années représenter 10 à 15% de notre consommation énergétique.

- *5.2 Les Energies fossiles et nucléaires relèvent d'une production de masse.*

Mais ces énergies à haute capacité énergétiques doivent être gérées en complémentarité, et selon leur vocation la plus évidente :

\* *Les centrales au charbon* particulièrement polluantes (gaz carbonique, soufre, méthane) seront déclassées pour un certain nombre à partir de 2008 ; par quelles énergies faudra-t-il les remplacer pour simplement maintenir la production d'électricité actuelle, sans polluer ?.

\* *Le gaz, les hydrocarbures liquides*, non moins polluants, resteront utilisés pour la pétrochimie, la chimie, les solvants,, etc.. ainsi que, dans le moyen terme, pour les transports aériens et maritimes ; mais leur coût reste soumis aux fluctuations des cours mondiaux ;

L'argument du rapport Dessus/Pellat où le pétrole était estimé à 17 \$/baril est mort !

\* *Le nucléaire*, seule énergie qui ne génère aucun gaz à effet de serre et fournit le kWh le moins cher d'Europe (intégrant tous les coûts de la filière, y compris les provisions pour la déconstruction des centrales en fin de vie, ainsi que le traitement et le stockage des déchets nucléaires), a une vocation quasi exclusive aujourd'hui et pour les 30 ans à venir, qui est la production d'électricité, même si des cogénérations sont à envisager par la suite ;

**Actuellement, l'énergie nucléaire permet d'éviter chaque année 600 millions de tonnes de carbone.** L'exemple est donné d'une centrale nucléaire qui fonctionnerait en semi-base (75% du temps) produisant 10 TWh par an. Si elle était remplacée, à production équivalente, il faudrait 800 éoliennes de 2 Mwe + 4 centrales au gaz de 400 Mwe pour assurer la continuité de la fourniture d'électricité les jours ou les heures sans vent, ce qui reviendrait a contrario à un accroissement des GES de 1,3%.

Les Verts veulent à la fois diminuer les GES et sortir du nucléaire, ce qui ne sera certainement pas possible avec des éoliennes.

La question des « déchets nucléaires » constitue « **la** » préoccupation de l'opinion et « **le** » cheval de bataille des opposants déclarés à cette forme d'énergie. Or le combustible déchargé des centrales nucléaires n'est en rien un « déchet ». Il contient encore des produits transformable en combustible, dont 95% d'uranium et 1% de plutonium. Il reste alors 4% d'authentiques résidus, produits de fission et actinides mineurs pour lesquels des solutions techniques existent (de l'enfouissement réversible au brûlage), certaines mises au point depuis 50 ans.

**Pourtant ce sont ces 4% qui sont à l'origine d'un vrai débat de société. Or ils représentent 1kg, dont seulement 10 grammes par habitant et par an sont des déchets de haute activité à vie longue susceptibles d'être la véritable préoccupation, versus 2.100 Kg de déchets domestiques et 800 kg de déchets industriels, dont certains comme les arséniures, le lithium sont présents pour l'éternité.**

En attendant le saut technologique des réacteurs révolutionnaires de la 4<sup>ème</sup> génération qui incinéreront les déchets, la transition pourra s'effectuer soit par l'amélioration du traitement du recyclage à 97% , ou 98%, ou bien par transmutation dans une machine externe, sous réserve d'une analyse coût/bénéfice de ces procédés, ce qui importe au client final acheteur de l'électricité.

Il reste à valider les filières opérationnelles de gestion de ces déchets, avec la rigueur et les exigences propres à l'industrie nucléaire, ce que la Loi Bataille de 1991 encadre parfaitement. C'est devant le Parlement que la stratégie optimale de gestion à adopter, sera décidée en 2006.

6°/ *Energie nucléaire ou Energies Renouvelables ?*

**Il faut cesser les querelles inutiles : il n'y a pas d'énergie diabolique, pas plus que d'énergie miracle. Il y a des industries qui ont chacune leurs contraintes et qui chacune apporteront une réponse partielle à l'ensemble. On ne peut parler de choix « alternatif », mais d'un « Mix économique » : les EnR n'émettent pas de carbone, mais les technologies en cause ont un niveau de maturité insuffisant pour affronter seules le marché. Le nucléaire paraît dans un premier temps le seul moyen de sécuriser notre fourniture d'électricité et lutter contre les gaz à effet de serre, avant que des solutions industrielles renouvelables ne relèvent effectivement le défi.**

Aujourd'hui, les besoins mondiaux d'énergie sont couverts à 80% par des combustibles fossiles. On peut attendre vers 2050, que les EnR répondent à 25-40% de la consommation globale. Le nucléaire, qui représente actuellement une part de 7%, devra alors au moins être multiplié par 2 pour que 50% de la consommation globale mondiale soit assurée par d'autres moyens que les combustibles fossiles, seul schéma crédible pour correspondre à une stabilisation des GES : le choix d'un nucléaire « durable » est un choix responsable à l'égard de la communauté humaine de notre planète.

*7°/ Quel nucléaire ? : Tout est question d'horizon et d'agenda*

Le choix entre les filières dépend directement des calendriers des différentes possibilités :

### **1- Agenda des possibilités de la 3ème génération nucléaire**

L'enjeu actuel de l'EDF n'est pas de faire fonctionner 60 ans les centrales actuelles, mais bien de passer l'épreuve de 30 à 40 ans. C'est dans le cadre des troisièmes visites décennales de sûreté, après 2005 donc, que sera examiné leur fonctionnement jusqu'à 40 ans. Toutefois on ne peut être certain qu'un vieillissement générique, aujourd'hui insoupçonné, ne se produise. Si c'était le cas, on ne pourrait alors les remplacer que par des centrales à gaz, soit une production de 200 millions de tonnes de CO<sup>2</sup> par an.

### **2- Agenda des possibilités de la 4ème génération nucléaire**

La 4<sup>ème</sup> génération de réacteurs (potentiellement cogénérateurs d'électricité et d'hydrogène, voire de dessalement d'eau de mer) dont 6 filières sont à l'étude aujourd'hui, ne pourra être disponible en pilote qu'en 2035, et commercialement qu'en 2040-2050, compte tenu des verrous technologiques subsistants : en tout état de cause, la France se doit, à l'intérieur d'organiser un nouveau pluralisme de la recherche, et sur le plan international ne pas faire cavalier seul et rechercher des partenaires dans le cadre de coopérations stratégiquement utiles.

### **3- La transition : la génération 3+ (le réacteur thermique de transition)**

Entre 2015 et 2035-40, quelles que soient les hypothèses sur les économies et les EnR, on observe un « gap » entre besoin et offre, né de la nécessité de remplacer une part du parc arrivé à péremption. La seule nouvelle filière disponible alors sera ce qu'on appelle la génération 3+, à laquelle appartient l'EPR. Cette étape apparaîtrait ainsi comme une condition essentielle d'une gestion souple et responsable de relais entre les deux générations, permettant de garantir le maintien des compétences industrielles nucléaires dans des conditions parfaites de sûreté, et aussi de mieux moduler les arbitrages entre nucléaire et autres moyens thermiques. Il s'agit d'un choix industriel répondant aux signaux du marché.

A cet égard, l'EPR apparaît comme le seul réacteur techniquement « avancé » (intégrant la sûreté maximale dans sa conception), performant (coût du kWh de 10% inférieur à ceux de G3 et du cycle combiné gaz) et « immédiatement disponible » sur le marché concurrentiel international (Framatome ANP a répondu ainsi à l'appel d'offres qu'il vient de gagner en Finlande), car il capitalise l'expérience industrielle de EDF, Framatome et Siemens, acquise sur l'ensemble des parcs français et allemands depuis 40 ans. La durée nécessaire aux autorisations administratives et à la construction d'un réacteur pilote étant de l'ordre de 6 à 7 ans, le moment est donc venu d'une prise de décision parlementaire.

### **4- l'aspect financier**

Si l'on prend comme hypothèse de base que l'EPR représente le bon choix pour le réacteur thermique de transition, l'investissement initial est élevé : à raison de 4000MW par an, il faudrait mobiliser environ 5 milliards € chaque année ( en parallèle : 60 milliard\$ pour développer le pétrole de la mer Caspienne). Par contre, EDF pourrait ainsi étaler au maximum la période de déclassement des unités actuelles du parc.

## *Conclusions*

Sauf à prendre des risques considérables sur la réponse à la demande d'électricité, il est indispensable de mettre en service industriel de nouveaux réacteurs.. Afin de disposer d'une garantie pour sa production d'électricité à l'horizon 2010-2015 (versus les ruptures de production d'électricité qui surviennent en Italie, en Espagne et en Allemagne), « la France doit engager sans délai la construction d'un démonstrateur-tête de série EPR », selon les conclusions des Experts de l'Office Parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST), conclusions que nous soutenons.

Réacteur « évolutionnaire » (c'est à dire dérivé des réacteurs existants et capitalisant l'expérience acquise), l'EPR peut faire le lien entre le parc actuel et les réacteurs « révolutionnaires » qui pourraient être développés pour le plus long terme dans le cadre des travaux internationaux de R&D sur le Génération 4.

Il s'agit d'un enjeu stratégique car il influe sur la garantie de l'approvisionnement énergétique à long terme de la France.



## **Sélection d'articles récents**

### ***Energies , climat , écologie***

#### **ENERGIES**

##### **La demande mondiale d'énergie augmentera de 54% d'ici 2025**

La demande mondiale pour toutes les formes d'énergie devrait augmenter de 54% au cours des 20 ans à venir, la consommation de pétrole augmentant à elle seule de 40 millions de barils par jour, estime l'Energy Information Administration (EIA) américaine. Les pays en développement, en particulier la Chine et l'Inde, enregistreront la plus forte croissance de l'utilisation d'énergie étant donné la vigueur de leurs économies, lit-on dans les prévisions à l'horizon 2025 de l'EIA.

L'utilisation de l'énergie dans les pays en développement devrait s'envoler de 91% au cours des 20 ans à venir, contre 33% dans les pays industrialisés. "D'une manière générale, les pays du monde industrialisé peuvent être caractérisés comme des consommateurs d'énergie matures avec une croissance comparativement lente de leur population", estime l'EIA, service d'analyses du département américaine de l'Energie. Ces pays abandonnent également progressivement des industries très consommatrices en énergie au profit du secteur des services.

La demande mondiale de pétrole devrait passer de 81 millions de barils par jour (bpj) cette à année à 121 millions en 2025. Les Etats-Unis, la Chine et les autres pays asiatiques en développement absorberont près de 60% de cette production supplémentaire, précise l'EIA. "Au cours des dernières décennies, le pétrole a été la principale source de consommation d'énergie primaire dans le monde et elle devrait le rester", note aussi l'agence.

augmenter

de 44 millions de bpj par rapport aux niveaux actuels, poursuit l'EIA. L'Opep devrait être le principal fournisseur du pétrole supplémentaire. La production de l'organisation devrait plus que doubler à 56 millions de bpj en 2025 contre 27 millions cette année. En dehors de l'Opep, la production supplémentaire proviendra de puits offshore en mer Caspienne, en Amérique latine et en Afrique de l'Ouest.

Les prix moyens annuels du pétrole devraient baisser l'année prochaine à 25 dollars le baril en dollars 2002 ajustés de l'inflation avant de remonter lentement à 27 dollar en 2025, ce qui représenterait 51 dollars en dollars nominaux. La demande mondiale d'électricité doublera quasiment d'ici 2025. Elle augmentera de 3,5% par an dans les pays développés, principalement par l'achat de nouveaux appareils ménagers et d'équipements de climatisation. Les émissions de dioxyde de carbone passeront de 23,9 milliards de tonnes en 2001 à 27,7 milliards en 2010 et 37,1 milliards en 2025. Le monde développé représentera 61% de cette augmentation en raison de son utilisation des énergies fossiles.

Reuters :

<http://fr.news.yahoo.com/040414/85/3qv11.html>

## **La France a consommé moins d'énergie en 2003**

Pour la première fois depuis neuf ans, la France a moins consommé d'énergie en 2003, en partie à cause de la faiblesse de la croissance mais aussi grâce à une amélioration des comportements, a annoncé le ministre délégué à l'Industrie, Patrick Devedjian. "La consommation finale énergétique (de la France) a baissé de 1,7%, à 159 millions de tonnes équivalent pétrole (MTEP)", a-t-il déclaré lors d'une conférence de presse. "L'année 2003 est à cet égard un record historique. La France n'aura jamais produit autant de richesse avec si peu d'énergie."

Contexte économique, tensions internationales et conditions climatiques, avec notamment la canicule d'août dernier, ont cependant fait de 2003 une "année particulière", a-t-il admis. La baisse de la consommation énergétique s'explique par la faiblesse de la croissance, "ce dont personne ne peut se réjouir", mais aussi par des "effets structurels très prometteurs", a souligné Patrick Devedjian.

Les transports enregistrent ainsi une baisse "historique" de leur consommation de 1,1%, à 49 MTEP, alors que celle-ci augmentait en moyenne de 2,1% par an depuis 20 ans. Cette baisse est notamment due à un meilleur respect des limites de vitesse par les conducteurs, a déclaré le ministre.

La consommation des ménages et du secteur tertiaire, hors transports, a d'autre part baissé de 2% en 2003, à 68,2 MTEP - grâce, notamment, à l'amélioration de l'isolation des bâtiments - comme celle de l'Industrie (37,5 MTEP).

La consommation de pétrole a baissé de 3,1% et retrouvé son niveau de 1994, à 93 MTEP. Celle de gaz a stagné à 40 MTEP pour la première fois après 17 ans de hausses soutenues. Seule la consommation d'électricité (+ 0,9%, à 115,3 MTEP) et, surtout, celle de charbon, en raison de la mobilisation des centrales thermiques pendant la canicule (+4,9% à 13,5 MTEP), ont crû.

Parallèlement, les émissions de gaz carbonique ont été réduites. En 2003. Elles restent cependant supérieures d'environ 2,6% à celles de 1990, base de référence du protocole de Kyoto sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

La flambée des prix du pétrole a cependant entraîné une augmentation de la facture énergétique française de 4,7% par rapport à 2002, à 22,7 milliards d'euros, soit 1,47% du PIB, bien qu'une part de 78% de l'électricité consommée en France ait été produite par des centrales nucléaires. Cette augmentation intervient après deux années de baisse (-5,5% en 2002 et - 2,5% en 2001).

Facteur aggravant, la France a moins exporté d'électricité en 2003 qu'en 2002 (66 TWh au lieu de 76, soit 2,2 milliards d'euros, 500 millions de moins que l'année précédente). "Tout ceci confirme l'impérieuse nécessité de maîtriser nos consommations et de préserver notre indépendance énergétique", a déclaré Patrick Devedjian, à six jours d'un débat d'orientation énergétique à l'Assemblée nationale, le 15 avril.

"La sécurité d'approvisionnement doit rester un impératif majeur de la politique énergétique française compte tenu de l'importance de notre facture énergétique et des tensions que nous commençons à percevoir sur la scène internationale." "Le développement des énergies renouvelables (...) est en cours mais il faut avoir l'honnêteté de dire que ces énergies ne représentent aujourd'hui et ne représenteront sans doute demain qu'une part limitée de notre production. L'énergie nucléaire constitue dans ces conditions la seule alternative possible au recours aux importations de gaz et de fioul", a-t-il ajouté.

La part des énergies renouvelables dans la consommation d'électricité a baissé à 15% en 2003, notamment en raison de l'effet négatif de la sécheresse sur la production hydroélectrique, "ce qui doit nous inciter à redoubler d'efforts pour atteindre l'objectif fixé (par l'Union européenne) de 21% en 2010", a précisé le ministre. Mais si le taux d'indépendance énergétique de la France se maintient "globalement" à 50%, c'est grâce au parc nucléaire, sans lequel la facture énergétique française serait augmentée de sept à 10 milliards d'euros, a-t-il cependant souligné.

Reuters :

<http://fr.news.yahoo.com/040409/85/3qmxh.html>

## **Un système efficace de production d'électricité géothermique**

Idemitsu Kosan développe actuellement une nouvelle méthode de production d'électricité géothermique pour améliorer l'efficacité et réduire les coûts de production d'électricité. La compagnie investira autour d'un milliard de yen pour établir un système binaire de production d'électricité dans la préfecture d'Oita, près d'une centrale géothermique existante. L'entreprise espère générer 3000 à 4000 kilowatts de puissance d'ici 2006. Les systèmes conventionnels extraient simultanément l'eau chaude et la vapeur du sol,

mais utilisent seulement la vapeur pour actionner une turbine, réinjectant l'eau chaude inutilisée dans le sol. Le nouveau système binaire emploiera la vapeur pour actionner une turbine à vapeur normale et utilisera également l'eau chaude pour vaporiser du pentane, qui actionnera de son côté une turbine séparée. Le fait de profiter de l'eau chaude jusqu'ici inutilisée amplifiera l'efficacité et permettra la production d'électricité géothermique en utilisant des sources de chaleur de petite taille telles que les stations thermales.

Be Japon :

<http://www.adit.fr>

## **Grande Bretagne : énergie des vagues va produire de l'électricité propre**

Un nouvel équipement flottant de récupération de l'énergie des vagues, conçu à Edimbourg, est destiné à aider l'Ecosse à atteindre ses objectifs ambitieux quant au développement d'une "énergie verte". Le gouvernement écossais souhaite que 40% de sa production électrique provienne des énergies renouvelables d'ici à 2020. Le convertisseur d'énergie appelé "Pelamis", produit par la société "Ocean Power Delivery" est une structure semi émergée, composée de quatre cylindres reliés par des articulations. Le "Pelamis" est positionné dans la direction de propagation de la vague. Dans chaque articulation se trouve un module de conversion d'énergie. En effet, le mouvement des vagues agit dans chaque articulation sur un vérin hydraulique qui envoie du fluide haute pression vers un moteur hydraulique qui actionne un générateur d'électricité (i.e. une turbine). L'énergie produite est envoyée, par l'intermédiaire d'un cordon ombilical, dans les fonds marins.

Un convertisseur "Pelamis" génère 750 kW ce qui représente la consommation de 500 foyers et un parc machine d'une surface de 1 km<sup>2</sup> devrait délivrer assez d'énergie pour 20.000 foyers. Le Ministre de l'Industrie Ecossais, Jim Wallace, a déclaré que l'utilisation de ce type d'énergie était une étape obligée et il ajoute " nous avons du vent, nous avons des mers, et je crois que cela veut dire que bien que notre objectif de 40% d'ici à 2020 soit ambitieux, nous pouvons l'atteindre " Le prototype doit être testé à Orkney plus tard dans l'année. Certaines entreprises ont montré un vif intérêt pour l'exploitation commerciale de cette innovation.

BE Royaume-Uni 43 :

<http://www.adit.fr>

## **Construction de la plus grande installation photovoltaïque du monde prévue dans la Sarre**

La plus grande installation photovoltaïque au monde doit être construite prochainement dans la ville de Gottleborn (Sarre). C'est ce qu'a annoncé le 8 mars dernier le ministre de l'environnement de la Sarre Stefan Morsdorf

en commun avec les investisseurs. L'installation, qui devrait fournir une puissance totale annuelle de 7,4 Mégawatts, livrera de l'électricité à 3500 foyers, ce qui en fait de loin la plus grande installation photovoltaïque au monde. Sa construction devrait vraisemblablement commencer cette année, sur le terrain de l'ancienne mine de Gottelborn. Le ministre de l'environnement a par ailleurs ajouté qu'avec cette installation, la place de leader occupée par le Land de la Sarre dans ce domaine serait encore accentuée. Cela pourrait aussi permettre de réduire les rejets de dioxyde de carbone de 6300 tonnes par an. Stefan Kasterka et Steffen Kammler de l'entreprise City Solar AG chargée de construire l'installation, ont chiffré les coûts d'investissement à 35 millions d'Euros. Le financement de la centrale est garanti par les investisseurs. Une partie de celui-ci se fera d'ailleurs en tant que fonds, afin que des investisseurs aient la possibilité d'acquiescer des parts de la centrale photovoltaïque.

Be Allemagne :

<http://www.adit.fr>

## **La Grande Bretagne mise sur l'énergie éolienne**

Lors de la célébration du 25<sup>e</sup> anniversaire de la "British Wind Energy Association", le Ministre de l'Energie, Stephen Timms, a réaffirmé les priorités du gouvernement en matière de développement des énergies renouvelables et de l'énergie éolienne en particulier. S'agissant de l'ensemble des énergies renouvelables, le gouvernement anglais a décidé qu'elles devraient représenter non plus 10% mais 15% de la consommation totale d'énergie en 2015.

L'objectif affiché par le gouvernement est d'alimenter grâce à l'énergie éolienne une habitation sur six au Royaume-Uni en 2010. Pour atteindre cet objectif, Stephen Timms a annoncé lors de cette conférence que le gouvernement participerait au financement de 6 nouvelles fermes éoliennes offshore à hauteur de 59 millions de livres (86 millions d'euros). Cette décision fait suite au deuxième appel d'offre lancé en juillet par le gouvernement pour la construction de nouvelles turbines éoliennes offshore. Les six nouvelles fermes seront construites au large de Liverpool, du Lincolnshire, du Pays de Galles, de l'Essex et du Norfolk. Chaque ferme sera composée de 30 turbines. La capacité de production totale de ces six fermes sera de 531 MW, une puissance permettant de fournir de l'électricité à 350 000 foyers. La construction de ces fermes devrait commencer en 2004.

Les foyers anglais pourront également bientôt, installer un aérogénérateur sur leur toit. Windsave, une société écossaise, vient en effet de lancer la première éolienne

conçue pour être installée sur le toit des maisons. Cette éolienne de 30 cm par 60 cm est composée de 3 pales et pèse 19 kg. Installée dans la direction des vents dominants, elle est capable de fonctionner dès que le vent atteint une vitesse de 3 mph (5km/h). Elle peut produire jusqu'à 750 W d'électricité. Si elle ne peut pas alimenter des installations gourmandes en électricité comme des radiateurs, l'énergie produite est suffisante pour éclairer une habitation. Mr Gordon, inventeur de cette nouvelle éolienne, estime que grâce à cette éolienne, la consommation d'électricité d'un foyer peut diminuer de 15 %. Les deux avantages de cette nouvelle éolienne sont qu'elle fournit directement de l'énergie au réseau de la maison sans moyen de stockage et qu'elle est silencieuse. Avec un prix de £750 (1077 euros) les dirigeants de Windsave estime que, grâce aux primes proposées par le gouvernement pour toutes installations de moyens de production d'énergie renouvelable et aux économies faites sur la facture d'électricité, l'investissement est rentabilisé en 30 mois. Décidément l'énergie éolienne est dans le vent outre-manche!

BWEA :

<http://www.bwea.com/media/news/RO-increase.html>

## **L'Espagne parie sur l'hydrogène**

Le bus de la ligne 44 file sur l'avenue du centre de Madrid. Rien ne le différencie des autres autobus de la capitale espagnole, sinon sa couleur mauve au lieu du rouge réglementaire. Un léger nuage blanc file du pot d'échappement en hauteur: de la vapeur d'eau. Mais personne n'y prête attention.

Pas plus qu'aux inscriptions sur ses flancs: «Ce bus se déplace à l'hydrogène» et «pollution zéro». «Notre succès, c'est de passer inaperçu. Depuis la mise en fonctionnement, en mai dernier, nous avons embarqué plus de 20 000 passagers sans le moindre incident», affirme Arturo Martinez, responsable du développement d'EMT, la société de transports publics madrilènes.

Malgré leur discrétion, les trois bus à hydrogène en service à Madrid, une première mondiale, annoncent une véritable révolution: l'apparition de l'énergie à l'hydrogène, qui, à terme, pourrait bien annoncer la fin de l'hégémonie du pétrole dans le domaine des transports. Au bout du chemin se dessine la voiture grand public circulant à l'hydrogène, à l'horizon 2020.

Véhicules Daimler-Chrysler, hydrogène Air Liquide, fonds européens et passagers espagnols, l'expérience madrilène est partie prenante du projet européen d'expérimentation de transport collectif à l'hydrogène Cute (Clean Urban Transportation for Europe) en chantier dans dix villes de l'Union. L'autre programme développé en parallèle, Citycell, prévu dans quatre métropoles, dont Paris notamment, n'est pas encore opérationnel. Mais, en attendant, chez Air Liquide, on ne cache pas la satisfaction de voir enfin l'hydrogène en

marche à Madrid: «Nous maîtrisons la technologie, à nous maintenant d'en faire un produit sûr et accessible pour le grand public», explique Daniel Deloche, directeur aéronautique, spatial et technologies avancées. Car les handicaps de l'hydrogène restent son stockage délicat et les coûts qui en découlent. Quant aux clients, les transports madrilènes pointent les limites de l'expérience: l'autonomie des véhicules limitée à 150 km (au lieu de 250 pour les autobus conventionnels), avant d'aller se ravitailler à la «station-service hydrogène», ne permet pas un service complet des véhicules, multiplie ses coûts de fonctionnement par trois et ne fait pas de l'hydrogène un outil rentable dans l'immédiat. Mais, nul n'en doute, ce carburant «propre» qui échappe à la carte géopolitique des ressources pétrolières est un excellent candidat à l'énergie du futur.

Express :

<http://www.lexpress.fr/express/info/sciences/dossier/essenceus/dossier.asp?nom=>

### **La géothermie trouve son second souffle.**

La géothermie à très grande profondeur, grande oubliée des énergies renouvelables, pourrait revenir sur le devant de la scène énergétique mondiale.

L'expérience menée à Soultz-sous-Forêts, près de Strasbourg, sera à cet égard décisive. La nouvelle technologie utilisée pour récupérer la chaleur naturellement stockée dans le sous-sol n'a jamais été mise en oeuvre. Elle consiste à injecter de l'eau froide à haut débit sous forte pression (100 bars) dans la roche granitique dont la température dépasse 200° à 5000 mètres de profondeur. L'eau circule dans les fractures naturelles de la roche et se réchauffe à son contact.

L'injection d'eau se fait par un puits central creusé jusqu'à 5000 mètres. L'eau ainsi réchauffée est extraite par deux autres puits de production. En surface, l'eau est récupérée à une température de 200°. Après un passage dans un échangeur thermique, l'eau est transformée en vapeur qui entraîne une turbine et un alternateur qui devraient produire 5 mégawatts d'ici 2006.

L'ensemble du système est conçu pour fonctionner en continu 8000 heures par an et devrait produire un kWh à un coût compris entre 0,004 et 0,008 euros. Si cette installation-pilote donne satisfaction deux prototypes d'une puissance de 25 mégawatts chacun pourraient être construits, de quoi alimenter en électricité une ville de 50000 habitants. Le projet de Soultz est évalué à 50 millions d'euros, et est financé à 80% par l'Europe.

Le potentiel offert par les sites favorables à la production d'énergie par géothermie profonde est considérable, de l'ordre de 110000 mégawatts, soit la puissance actuelle du parc français de production d'électricité. Mais cette géothermie profonde, qui peut être exploitée sur un même site pendant au moins 20 ans, ne sera compétitive que lorsqu'une dizaine de sites existeront en France et totaliseront une capacité de plus de 300 mégawatts.

L'Usine nouvelle :

<http://www.usinenouvelle.com/>



## De l'hydrogène en stock

Des chercheurs américains ont mis au point une méthode pratique de stockage de l'hydrogène. Ils font part de leurs travaux dans les Proceedings of the National Academy of Sciences. Actuellement, il existe deux méthodes assez contraignantes pour stocker l'hydrogène. La plus courante consiste à le conserver sous forme liquide à une température de  $-253^{\circ}\text{C}$  qui ne peut être atteinte que par des procédés longs et compliqués. L'autre possibilité est d'entreposer le gaz à température ambiante sous forme comprimée. Le « hic » : pour un volume donné, la quantité d'hydrogène conservé est moindre.

Devant de telles difficultés, Wendy et Ho-Kwang Mao de l'Université de Chicago (Illinois, Etats-Unis) et leurs collègues de la Carnegie Institution de Washington, ont cherché un nouveau processus permettant de stocker facilement ce gaz qui est considéré comme une des énergies propres de demain. Les chercheurs ont synthétisé un clathrate d'hydrogène, sorte de composé chimique «entrepôt», à l'intérieur duquel les molécules de gaz sont enfermées dans un réseau cristallin.

Wendy et Ho-Kwang Mao ont mis au point cette "prison" à hydrogène sous une température de  $-195^{\circ}\text{C}$ , ce qui permet de stocker le clathrate dans de l'azote liquide. Pour libérer le gaz, il suffit d'amener le composé « entrepôt » à une température de  $-130^{\circ}\text{C}$ . Apparemment facile à synthétiser, ce nouveau produit pourrait permettre de stocker plus facilement l'hydrogène.

PNAS :

<http://www.pnas.org/cgi/content/abstract/0307449100v1>

## Une nouvelle pile a combustible a fort rendement énergétique

Kansai Electric Power Co. et Mitsubishi Materials Corp. déclarent avoir développé conjointement la pile a combustible la plus efficace du marché. La pile a combustible affiche un rendement énergétique de 50%, le double des 25%-35% mesure sur les systèmes actuels. Les associés pensent développer une pile a combustible d'une puissance de plus de 10kw d'ici a 2007. Le système génère de énergie a partir de l'hydrogène contenu dans le méthane (solid oxide fuel cell - SOFC), qui va ensuite réagir avec l'oxygène pour produire de l'énergie. Le rendement du système a été augmente en réduisant la taille de la structure moléculaire des électrodes. De plus, le nouveau système fonctionne a une température de  $800^{\circ}\text{C}$ , largement inférieure aux  $1000^{\circ}\text{C}$  nécessaires au fonctionnement de la plupart des piles a combustible. Cette température de fonctionnement plus basse rend le coût de production inférieur en raison de la possibilité d'utiliser de l'acier inoxydable dans sa construction.

BE Japon :

<http://www.be.adit.fr/japon>



## **La génération 4 nucléaire : des réacteurs « multi-usages ».**

**( Françoise Dutheil )**

L'énergie produite par des réacteurs nucléaires est essentiellement utilisée pour produire de l'électricité, mais d'autres usages seront possibles avec les nouveaux modèles de la G IV, en particulier :

- permettre la production d'hydrogène à un coût acceptable,
- permettre le brûlage de tous les actinides (surtout :américium et curium), présents dans les combustibles irradiés.
- permette le recyclage intégral du plutonium, la réflexion sur le nucléaire à très long terme devant s'orienter vers des filières qui supprimeraient toute pénurie de combustible.

Le « Génération IV International Forum » (GIF) s'est constitué en 2000 à l'initiative du Department of Energy (DEO) américain. Dix pays y participent. Les experts réunis en 2002 ont finalisé la sélection de 6 systèmes considérés comme les plus prometteurs et appelés à fédérer l'effort de coopération pour leur développement à partir de 2004.

La France a exprimé un intérêt prioritaire pour les systèmes avancés à caloporteur gaz à très haute températures (V.H.T. R.) et à neutrons rapides avec recyclage intégral des actinides (G. F. R.), sur lesquels les plans de développement et de coopération internationale sont aujourd'hui les plus avancés.

### 1/ la production d'Hydrogène

Les menaces de dérèglement climatique que fait peser l'effet de serre sur la planète doivent conduire à restreindre l'usage des hydrocarbures, notamment dans les transports au profit de piles à combustible fonctionnant à l'hydrogène : à condition de trouver le moyen de produire les formidables quantités d'hydrogène nécessaires à cette technologie.

Par exemple, les États-Unis prévoient un quadruplement de leur consommation d'hydrogène d'ici 2017, à 10 millions de tonnes par an, hors utilisation directe pour le transport qui, si elle existe à ce moment-là, sera encore marginale.

Clairement, outre la forte augmentation de consommation de gaz (et de son prix) qu'une telle production entraînerait, elle ne résout pas le problème de pollution ; il est donc évident que les seules méthodes n'émettant pas de gaz à effet de serre et permettant une production à faible coût de masse d'hydrogène, sont l'électrolyse et la séparation thermo-chimique de l'eau respectivement à partir d'électricité ou de chaleur nucléaire.

Les réacteurs à haute température couplés à des procédés chimiques performants se prêtent particulièrement bien à cette production et pourront être utilisés à plein rendement : l'hydrogène sera produit et stocké lorsque la demande d'électricité sera basse. Le V. H. T. R. met en oeuvre de très haute température, au-delà de 1000° C, pour la production d'hydrogène ou la co-génération d'hydrogène et d'électricité. Cette approche repose sur les perspectives prometteuses des procédés à très hautes températures telles que le cycle thermo-chimique iode-souffre ou l'électrolyse à haute température, en termes de rendement et de coût pour la production d'hydrogène.

Les chercheurs imaginent en conséquence des usines globales, comprenant un ou plusieurs réacteurs de ce type, d'où partiraient des canalisations acheminant par sels fondus la chaleur à très haute température vers une usine dédiée à la production d'hydrogène.

### 2/ la gestion des matières issues de la fission

L'aval du cycle de combustible des réacteurs est aussi un enjeu des réacteurs rapides à cycle fermé, en mesure de diminuer de manière réaliste la quantité d'actinides mineurs qui pourront être « brûlés » en produisant de l'énergie, dans le flux important de neutrons rapides présents dans le coeur d'un tel réacteur. Le concept est fondé sur la propriété des neutrons rapides ou des protons ou même alphas de forte énergie, de transmuter des actinides, en particulier des actinides réticents à la fission, en les « cassant » en atomes plus légers dont la plupart auront, soit une radioactivité plus courte, soi-même stable.

Le multi-recyclage du plutonium dans les réacteurs à neutrons rapides est bien sûr un facteur clé pour la préservation des ressources naturelles. Un réacteur surgénérateur de 1.200 MWe du type Super-Phénix a besoin de 5 tonnes de Plutonium pour démarrer, soit la production annuelle de 20 réacteurs type à eau sous pression de 900 Mwe, ou de 20 ans de production du réacteur lui-même. De plus, il contribue de façon essentielle à minimiser l'inventaire résiduel en noyaux fissiles et la nocivité potentielle des déchets. Un nucléaire durable semble passer par un recyclage récurrent et poussé des actinides.

Émergent ensuite des réflexions sur d'autres orientations moins évidentes :

- l'intérêt d'une gestion « en bloc » des actinides recyclés, c'est-à-dire en évitant de récupérer de façon particulière, isolée, chacun des éléments d'intérêt : cela paraît de nature à renforcer les concepts anti-risques de détournement, tant par réduction de la valeur stratégique des matières pour les applications concernées, que par leur accessibilité rendue plus délicate par la présence de noyaux hautement radioactifs.
- l'intérêt de retenir des technologies « compactes », pour réduire les coûts d'investissement ; ceci pouvant conduire à l'option de « sites intégrés », avec traitement et recyclage sur le site même du réacteur.

Aussi séduisants soient-ils, ces nouveaux modèles de réacteurs, que l'on peut qualifier de « révolutionnaires », n'en sont pour l'instant qu'au stade de la conception préliminaire, « sur le papier ». Leur validation prendra du temps et il n'est pas possible de considérer aujourd'hui comme des acquis les avancées dont ils sont porteurs. Si la décennie 2030 est généralement désignée comme l'horizon de mise en oeuvre des prototypes, le déploiement à l'échelle industrielle de l'une ou l'autre de ces nouvelles filières ne peut s'imaginer qu'à une échéance plus éloignée.

## ***Réacteurs de la GIF proposés***

Après avoir examiné en détail plus de 100 concepts de réacteurs, le GIF a finalement sélectionné en septembre 2002, 6 systèmes de GIV, la notion de système ajoutant au type de réacteurs le cycle de combustible associé.

### 1/ Les systèmes à eau supercritique

L'eau supercritique désigne l'état de l'eau qui, portée à des températures supérieures à 374°C sous une pression supérieure à 218 bars, c'est à dire au-delà du point critique, acquiert des propriétés physico-chimiques spécifiques, en particulier une masse volumique réduite par rapport à celle de l'eau sous conditions normales, les états liquides ou gazeux ne pouvant au surplus être distingués.

Dans le SCWR sélectionné, la température de l'eau supercritique atteindrait 550°, ce qui lui confère un rendement de 45%. L'eau supercritique atteindrait directement une turbine, les échangeurs de vapeur et le circuit secondaire étant ainsi éliminés.

### 2/ Les réacteurs à très haute température refroidis par gaz

La température du gaz caloporteur devrait atteindre 1000 à 1200° (contre 850° pour les précédents) et devrait utiliser de l'hélium comme réfrigérant.

Un objectif prioritaire est qu'il puisse brûler son combustible (U hautement enrichi et Thorium) avec une efficacité dépassant 80 GWj/t, le but étant 200 GWj/t, avec un rendement de 50% dans la production d'électricité.

Le combustible est conçu sous la forme de billes millimétriques de 0,5 mm de diamètre, agglomérées sous la forme de cylindres insérés ensuite dans les éléments combustibles. Toutefois le revêtement de carbure de silicium utilisé précédemment ne pourra convenir car il ne peut retenir les produits de fission au-delà de 1600° et il faudra trouver un substitut dans la filière des matériaux réfractaires.

De nombreux process industriels sont intéressés : fabrication du ciment, du verre, de l'acier, la gazéification du charbon et la thermochimie. De plus, le VHTR est considéré comme un maillon essentiel d'une future économie de l'Hydrogène.

Il existe certes des méthodes de production de l'H à basse température. Mais les 3 procédés les plus en pointe sont actuellement le reformage à la vapeur de méthane, l'électrolyse à haute température et la thermochimie. La production d'H serait compétitive avec la vapeur à 1000° d'un VHTR, alors qu'elle ne le serait pas à 850°. Les partisans de cette solution imaginent en conséquence des usines globales, comprenant un ou plusieurs réacteurs de ce type, d'où partiraient des canalisations acheminant par sels fondus la chaleur à très haute température vers une usine dédiée à la production d'Hydrogène. En tout état de cause, il conviendrait d'écarter les deux installations, de manière à réduire les risques industriels.

### 3/ les réacteurs à neutrons rapides refroidis au sodium

(cf. Phénix, 233Mwe, mis en service en 1974, et Superphénix, 1.200 Mwe, couplé au réseau en 1986 et définitivement arrêté en 1998) .

La température du sodium en sortie de cuve du SFR serait de 550°.

Concurrents : au Japon, Monju – 260 Mwe ; au Laboratoire d'Argonne, Idaho : EBR-II – 17 Mwe de 1974 à 1994)

L'objectif principal de ce réacteur serait l'incinération du plutonium et des actinides mineurs provenant du retraitement des combustibles des réacteurs à eau.

### 4/ les réacteurs à neutrons rapides refroidis au plomb

Ils sont inspirés des sous-marins russes dont un prototype de 600 Mwe fonctionne à Beloyarsk depuis 1981. S'agissant du réfrigérant, ce sont non seulement du plomb liquide mais aussi l'eutectique (alliage binaire) plomb-bismuth qui sont envisagés avec une température de sortie de cuve entre 550 et 800°. Il aurait un haut degré de sûreté passive, supérieur aux réacteurs refroidis par sodium ou hélium ; Mais l'eutectique ne serait pas un bon caloporteur et de manipulation difficile.

### 5/ les réacteurs rapides refroidis par gaz

Ils devraient utiliser l'hélium avec une température de sortie de cuve de 850°, le gaz attaquant directement la turbine avec un rendement de 48% (600 MWth – 288 Mwe). Son intérêt essentiel serait comme tous les réacteurs à neutrons rapides, de mieux valoriser les réserves en uranium, de minimiser les déchets et d'offrir de meilleures performances dans le brûlage des actinides mineurs.

Il existe cependant des difficultés dans l'évacuation de la chaleur en cas de perte du réfrigérant, le remplacement du graphite inutilisable pour ralentir les neutrons, et le

développement de nouveaux types de combustibles permettant une rétention élevée des produits de fission ( problèmes de sûreté)

#### 6/ les réacteurs à sels fondus et le cycle du thorium

Ces réacteurs présentent la particularité d'avoir un cœur homogène et une circulation du combustible dans le circuit de refroidissement, ce qui permet son recyclage, l'un des problèmes le plus difficile à résoudre étant celui de la corrosion dans le circuit du combustible. Celui-ci pourrait être un mélange de fluorures d'uranium et de plutonium dans des sels fondus de sodium et de zirconium, la température à la sortie de la cuve étant de 700 à 800° pour une production pouvant atteindre 1000 Mwe. Son avantage principal, une fois résolus les problèmes de corrosion, serait de simplifier la mise au point des combustibles (peu de matière fissile, donc à installer plus facilement dans un parc électronucléaire).

En effet, si le fonctionnement d'un réacteur à eau pressurisée pendant 40 ans produit assez de plutonium 238 ( capture d'un neutron par l'Uranium 238 conduisant à l'Uranium 239, puis par 2 décroissance béta, au Plutonium 239) pour permettre de démarrer un réacteur rapide, il en produit assez pour démarrer 5 à 10 réacteurs à sels fondus thorium-U233 (moyennant une transformation du Thorium 232 conduisant au Thorium 233, puis à l'Uranium 233).

Françoise Dutheil

## CLIMAT

### **Réchauffement climatique : la piste cosmique se confirme.**

Aujourd'hui il ne fait plus de doute que l'accélération inquiétante du réchauffement climatique planétaire enregistré depuis un siècle est lié au développement de l'industrialisation et à l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre, CO<sub>2</sub>, méthane et halocarbures notamment. On sait notamment, grâce à l'analyse de carottes glacières que les concentrations de CO<sub>2</sub> avant 1750 sont constantes sur plus de dix mille ans, et n'ont jamais dépassé la valeur de 1750 (280 ppmv), alors qu'aujourd'hui nous sommes déjà à 350. On sait également qu'au cours du siècle dernier, la température moyenne à la surface de la planète s'est élevée d'environ 0,6°C, la couverture neigeuse et les étendues glaciaires se sont réduites et le niveau de la mer s'est élevé de 10 à 20 cm. Mais si ce rôle déterminant des activités humaines sur le réchauffement climatique est de moins en moins contesté, il se pourrait que l'homme ne soit pas le seul responsable de cette évolution et que deux facteurs d'origine cosmiques, les rayons cosmiques galactiques, d'une part, et l'activité magnétique du soleil, d'autre part, jouent un rôle beaucoup plus important qu'on ne l'imaginait jusqu'à présent sur le réchauffement de notre planète.

A cet égard, un remarquable article publié dans la revue "Arts et Métiers" (malheureusement non disponible en ligne), fait le point sur les derniers développements de cette thèse qui attribue une part importante -bien qu'encore impossible à déterminer avec précision- du réchauffement planétaire à ces deux facteurs cosmiques.

Tout commence avec la découverte inattendue par un satellite, en 1997, d'une corrélation très nette entre intensité des rayons cosmiques provenant de notre galaxie et l'étendue de la couverture nuageuse globale sur Terre qui influe sur la température. D'autres travaux récents montrent que le passage de notre système solaire à travers les bras spiraux de notre galaxie, zones de forte activité stellaire, provoque des pics d'intensité de rayons cosmiques galactiques (RCG) à une périodicité d'environ 140 millions d'années. Or l'étude des variations de la température de la mer (grâce aux coquillages fossiles) montre qu'il existe bien une véritable corrélation entre pic d'intensité du rayonnement cosmique et basses températures. Cette corrélation est d'autant mieux établie qu'elle se vérifie sur plusieurs oscillations.

Selon ces études une diminution des RCG entraîne une diminution de la couverture nuageuse et in fine un réchauffement du climat. Après ces travaux, la variation de ces RCG pourrait être responsable des trois quarts des perturbations climatiques au cours de cette longue période de 545 millions d'années sans activité humaine. Mais ces variations d'intensité des RCG ne seraient pas seulement dues à l'évolution de notre système solaire sur de très longues périodes à travers les bras de notre galaxie. Il semble en effet que l'activité magnétique de notre soleil joue un rôle très important dans ces variations de flux des RCG. Or les scientifiques disposent de deux facteurs qui leur permettent de mesurer l'évolution de l'activité magnétique du soleil : les tâches solaires et le vent solaire.

On sait aujourd'hui que plus le soleil est magnétiquement actif (ce qui se voit au nombre de tâches solaires), plus le vent solaire est intense et moins la Terre reçoit de RCG. Il serait donc logique que cette activité magnétique solaire ait influé sur les variations climatiques. Cette hypothèse a été pleinement confirmée par une étude récente qui montre une corrélation très nette depuis 1610 entre le nombre de tâches solaires et l'évolution du climat. On constate notamment que le "petit âge glaciaire" entre 1645 et 1715, correspond au minimum de Maunder, époque où les tâches solaires avaient pratiquement disparues. Cette étude tendrait donc à prouver que l'augmentation des RCG, lorsque le magnétisme solaire moins actif ne fait plus bouclier, refroidit notre planète et que leur diminution, lorsque le soleil se déchaîne, la réchauffe.

Ce phénomène semble confirmé si l'on se concentre sur le dernier siècle. Au cours des 100 dernières années, le nombre de tâches solaires est en effet en augmentation rapide, et ce pour la première fois depuis un millénaire. Parallèlement le flux de RCG a diminué de 10% à 40%, selon leur énergie. La diminution de RCG due à l'activité magnétique solaire qui réduit la quantité de nuages bas serait responsable d'un réchauffement global de  $1,2 \text{ W/m}^2$ , ce qui est comparable au réchauffement de  $1,5 \text{ W/m}^2$  attribué à l'augmentation de  $\text{CO}_2$  depuis un siècle !

Bien entendu il faudra encore de nombreuses études pour mieux comprendre par quels processus complexes les RCG favorisent la formation des nuages et pour mieux évaluer la part de ces RCG dans le réchauffement climatique. Mais il existe à présent un nombre croissant d'indices et d'études scientifiques qui montre que ces rayons cosmiques galactiques, modulés par l'activité magnétique du soleil, ont un impact significatif sur

le réchauffement climatique. En 1938, le génial astrophysicien Milankovitch avait déjà émis l'hypothèse que les mouvements de notre système solaire jouaient un rôle important dans des changements climatiques et aujourd'hui les dernières études scientifiques tendent à lui donner raison.

Si cette hypothèse s'avérait confortée par de nouvelles observations dans les années à venir, cela remettrait en cause de manière profonde et globale nos théories sur les causes du réchauffement climatique en montrant qu'il existe, en dehors de toute activité humaine, et sur différents cycles de très longues périodes (plusieurs millions d'années) et de périodes beaucoup plus courtes (quelques dizaines d'années ou quelques siècles), des facteurs cosmiques capables d'influer de manière déterminante sur le climat.

Mais, si tel était le cas, cela n'exonérerait en rien la responsabilité de l'homme et des émissions de gaz à effet de serre, dans le réchauffement accéléré constaté depuis un siècle. Ce serait même le contraire : à partir du moment où nous aurions la certitude que des phénomènes cosmiques influent, sur différentes échelles de temps, de manière puissante sur le climat, nous aurions encore davantage qu'aujourd'hui le devoir politique et éthique d'agir avec force, constance et détermination sur les facteurs d'influence climatique qui dépendent de l'Homme et de ses choix de civilisation.

René Trégouët

### **Climat: un nouveau modèle de prévision testé avec succès sur 150 ans**

Des chercheurs américains espèrent pouvoir prédire, au moins un an à l'avance, les épisodes importants du phénomène climatique el Niño, après avoir validé rétrospectivement leur nouveau modèle sur le siècle et demi passé dans étude présentée jeudi dans la revue britannique Nature. El Niño, phénomène climatique qui se traduit par la migration d'Ouest en Est de part et d'autre de l'Océan Pacifique, d'une énorme vague d'eau chaude, fait intervenir l'océan et l'atmosphère. Par un jeu d'action-réaction, suite au Niño, un phénomène inverse se produit et un courant d'eau chaude de surface circule d'est en ouest, c'est la Niña.

L'ensemble du cycle s'étend sur 18 mois et se nomme ENSO (El Niño Southern Oscillation). Il affecte particulièrement les latitudes tropicales et équatoriales mais peut connaître des conséquences climatiques beaucoup plus globales.

Le modèle élaboré par Dake Chen et son équipe de l'Université de Columbia, prédit des ENSO de grande intensité. Il a été testé sur un siècle et demi alors que jusqu'ici les modèles n'avaient été validés que sur les trente dernières années. Ce modèle a pu prévoir des épisodes ENSO deux ans à l'avance, soit un an à un an et demi avant les modèles actuellement opérationnels. Par exemple, une expérience se basant sur les conditions océano-atmosphériques d'octobre 1996 a décrit croissance, maturité et déclin du Niño de l'hiver 1998, indique Nature.

Leurs prévisions des épisodes Niño du passé s'établissent par l'analyse des températures de surface des mers et des océans (SST/Sea Surface Temperature) qui donnent des informations sur les changements peu rapides et à grande échelle des vents. Le modèle de Dake Chen et ses collaborateurs, n'étant sensible qu'aux variations lentes de l'atmosphère, ne peut donc "voir" que des épisodes el Niño importants.

tous les deux à sept ans dans l'Océan Pacifique, en bordure de l'équateur, et qui se caractérise par une élévation anormale des températures à la surface de l'océan. Il se développe le plus souvent d'avril à juin et atteint son apogée entre décembre et février. Le réchauffement dure alors neuf à 12 mois. Sa manifestation la plus violente a eu lieu en 1997/98, provoquant pluies torrentielles et inondations sur la côte orientale du continent américain (Pérou, Equateur, Chili, Californie), sécheresses record et immenses feux de forêts en Indonésie et en Papouasie-Nouvelle Guinée. Reste à savoir si le modèle de l'équipe de Columbia, apparemment efficace pour retracer certains événements climatiques passés, le sera dans la même mesure pour prévoir ceux qui pourraient se profiler dans le futur.

De l'avis des chercheurs, la capacité à prédire le réchauffement ou le refroidissement de l'Océan Pacifique est d'une importance primordiale. Les manifestations d'El Nino en 1997, par exemple, ont causé des dommages estimés à 20 milliards de dollars (16,75 milliards d'euros), selon David Anderson, du Centre européen de prédictions météorologiques de Reading (Angleterre). Un rapport des Nations Unies, publié en 2002, fait apparaître que 200 millions de Chinois ont été touchés par les conséquences d'El Nino en 1991 et 1997.

Université de Columbia :

<http://www.earth.columbia.edu/news/2004/story04-14-04.html>

## **Stocker le CO2 dans le bassin parisien pour combattre l'effet de serre**

Le grand bassin parisien recèle en profondeur des formations géologiques favorables au stockage du CO2, a estimé vendredi l'institut de recherche public BRGM, plaidant pour la création d'un site expérimental en France d'ici trois ans. Le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM) faisait le point vendredi sur ses recherches sur la "séquestration du CO2". Le stockage à grande profondeur du gaz carbonique (CO2) émis par les industries intéresse de plus en plus la communauté internationale, comme une des solutions pour combattre le réchauffement climatique.

Le BRGM, qui participe à une dizaine de programmes de recherche internationaux sur le sujet, souhaite à présent expérimenter "grandeur nature" un site en France, dans le grand bassin parisien. On y trouve des couches géologiques susceptibles de "piéger" le CO2 (qui passe de l'état gazeux à un état dense à 800 m de profondeur): les carbonates du Dogger (1.400 à 2.200 m de profondeur) et les grès du Trias (1.500 à 3.000 m).

A terme, "plusieurs centaines d'années d'émissions françaises de CO2" pourraient être piégées en profondeur, a évalué Christian Fouillac, directeur de la recherche au BRGM. Les industries françaises (centrales thermiques, raffineries, aciéries, cimenteries...) émettent chaque année 160 millions de tonnes de CO2 (40% du total des émissions françaises). Ce CO2 "industriel" est suffisamment dense pour être capté en sortie d'usine, séparé et compressé pour être injecté dans le sous-sol en profondeur. La région parisienne émet 8 millions de tonnes de CO2 par an.

AFP : <http://fr.news.yahoo.com/040416/202/3qyx0.html>

## **Les rejets de gaz carbonique augmentent de façon alarmante**

C'est une énième sonnette d'alarme qui vient d'être tirée sur le front de l'effet de serre. Mais loin de ressasser les litanies auxquelles on est habitué sur le sujet, les scientifiques auxquels on doit cette nouvelle mise en garde publient cette fois de nouvelles données précises. Hier, ce sont des chercheurs australiens du Csiro, l'agence nationale de recherche scientifique, qui ont annoncé une hausse inquiétante des émissions de CO<sub>2</sub>, jugées responsables du réchauffement climatique, au cours des deux dernières années. Selon eux, 18,7 milliards de tonnes ont été rejetées dans l'atmosphère en 2002 et 17,1 milliards de tonnes l'an dernier. Soit un accroissement de l'ordre de 40% par rapport aux 13,3 milliards de tonnes émis par an en moyenne depuis une dizaine d'années.

«Ces résultats sont assez inquiétants parce que le dioxyde de carbone est le principal responsable des changements climatiques», estime le responsable de ces travaux, Paul Fraser. Lequel se dit «assez surpris que les niveaux soient aussi élevés sans l'apport d'émissions dues aux feux de forêts». Une allusion à l'année 1998, restée unique dans les annales puisqu'on avait alors enregistré un pic à 23 milliards de tonnes, dû notamment aux immenses feux de forêts qu'avait subis l'Indonésie. Paul Fraser est par conséquent alarmé de cette nouvelle escalade des rejets de CO<sub>2</sub> «en dépit des efforts au niveau mondial pour tenter de réduire ces émissions».

De fait, les experts du Csiro se sont basés sur les données relevées par les cinq centres de mesure australiens basés en Tasmanie, dans le Queensland, dans l'île Macquarie à mi-chemin entre l'Australie et l'Antarctique, à Mawson en Antarctique et au pôle Sud, sous l'égide de l'Organisation météorologique mondiale dans le cadre du programme VAG (veille de l'atmosphère globale). Il s'agit de mesures de concentration en CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère sur une trentaine de sites de par le monde (exprimées en parties par million, ppm), choisis pour leur isolement, afin que les données ne soient brouillées ni par la pollution, ni par la végétation. La méthode la plus courante pour calculer la teneur en CO<sub>2</sub> consiste à utiliser le rayonnement à infrarouge pour analyser l'air aspiré dans une petite cellule et à mesurer l'échauffement du gaz sous l'effet de ce rayonnement, puis de comparer la pression qui règne dans cette cellule à une cellule de référence.

C'est en rapportant ces données à la masse totale de l'atmosphère qu'ils ont obtenu des chiffres exprimés en masse de CO<sub>2</sub> émise dans l'atmosphère. Il s'agit donc d'une extrapolation à l'échelle planétaire de données régionales.

«C'est une extrapolation assez classique et très fiable, qui n'a rien de choquant, explique Marc Gillet, directeur de l'Observatoire national des effets du réchauffement climatique. A la différence de l'ozone, la concentration en CO<sub>2</sub> est relativement homogène, y compris vers les pôles ou l'Equateur.» Et ce bien entendu à l'exclusion de variations très locales (à proximité d'une usine par exemple) ou saisonnières (la concentration en CO<sub>2</sub> est plus importante l'hiver que l'été, du fait de la séquestration par la végétation).

Ces données viennent conforter les résultats communiqués vendredi dernier par un laboratoire de la Noaa (National Oceanic and Atmospheric



Administration) américaine. Le laboratoire de Boulder, qui gère l'observatoire de Mauna Loa situé sur le volcan d'une île d'Hawaï, pionnier dans la mesure du CO<sub>2</sub> depuis 1958, a de son côté observé une accélération de la teneur en dioxyde de carbone dans l'atmosphère. La concentration en CO<sub>2</sub> relevée à la station est en effet passée de 376 à 379 ppm entre l'hiver 2002 et l'hiver 2003, soit une hausse annuelle de 3 parts par million (ppm). Cette envolée apparaît considérable, à côté de l'accroissement annuel moyen de 1,8 ppm constaté depuis une dizaine d'années et de 1 ppm depuis presque un demi-siècle. «Si de tels taux de croissance étaient vérifiés sur une plus longue période, ce serait très inquiétant», ne cache pas Marc Gillet.

D'autant que, avancent les chercheurs de Csiro australien, la source de cette augmentation réside principalement dans la consommation de combustibles fossiles.

Il est avéré en effet désormais que celle-ci est responsable des trois quarts des émissions de ce gaz à effet de serre, le quart restant étant imputable aux changements d'utilisation des terres, comme la déforestation. Parmi les éléments d'explication, Pieter Tans, expert au laboratoire de Boulder, tout en restant extrêmement prudent et en invoquant la nécessité d'analyses complémentaires pour se prononcer de façon plus définitive, évoque le rôle de l'Asie : «La Chine décolle économiquement et consomme beaucoup de pétrole. L'Inde aussi.» Or ces pays ne sont tenus à aucun engagement de réduction de leurs émissions par le protocole de Kyoto, du moins jusqu'en 2010. Pendant ce temps, le réchauffement climatique continue. La température a déjà augmenté en moyenne de 0,6 degré au cours du XXe siècle à l'échelle du globe.

Figaro :

<http://www.lefigaro.fr/sciences/20040330.FIG0313.html>

### **Un choc pétrolier est-il nécessaire pour réduire les émissions de CO<sub>2</sub> ?**

Et si l'OPEP était l'association écologiste la plus efficace du monde ? En maîtrisant les prix du brut, l'Organisation des pays exportateurs de pétrole se révèle être l'agent le plus convaincant pour encourager - ou démobiliser - les politiques de maîtrise de l'énergie. C'est la conclusion paradoxale que l'on peut tirer de la publication, le 2 mars, par l'Agence internationale de l'énergie (AIE) d'une étude analysant trente ans de consommation énergétique. En effet, alors que les deux chocs pétroliers de 1973 et 1979 ont entraîné des progrès très nets dans l'efficacité énergétique des pays développés, le retour du prix du pétrole à des niveaux modérés à partir de 1986 a incité les pays riches à relâcher leurs efforts. Ainsi, l'étude de l'AIE (30 Years of Energy Use In IEA Countries) met en exergue une rupture des tendances autour de 1990 : entre 1973 et 1990, les pays couverts par l'Agence connaissent une croissance limitée de la consommation d'énergie (+ 0,4 % par an), tandis qu'à partir de 1990 cette augmentation passe à 1,4%.

Ce phénomène n'est pas dû à la croissance économique elle-même. On pourrait en effet penser que si l'économie tourne fort, la consommation d'énergie doit suivre. Mais, en fait, tout dépend des efforts d'économies d'énergie. Ceux-ci se traduisent par un découplage entre consommation d'énergie et produit intérieur brut (PIB) : on produit une même unité de PIB avec moins d'énergie. La vigueur de ce découplage est mesurée par la baisse de l'intensité énergétique (quantité d'énergie nécessaire pour produire une

unité de PIB). Or, cette intensité, qui avait baissé au rythme de 2,5 % par an entre 1973 et 1982 dans les pays de l'AIE, ne diminue plus que de 1,5 % par an entre 1983 et 1990, avant que l'effort ne se relâche totalement (- 0,7 % depuis).

La corrélation est assez étroite avec le prix du baril de pétrole, qui donne le "la" à l'ensemble des prix de l'énergie : en prix réel, c'est-à-dire corrigé de l'inflation, le baril de pétrole a atteint des sommets dans les années 1970, déclinant ensuite lentement, puis franchement en 1986. Il s'est depuis lors stabilisé à un niveau bas, proche de celui qui existait avant le choc pétrolier de 1973. Aujourd'hui encore, malgré la hausse enclenchée en 2000, il reste au même prix qu'en 1973.

Ainsi, la contrainte économique n'a plus stimulé la maîtrise énergétique. Cela dit, tous les acteurs sociaux n'ont pas évolué de la même manière. L'industrie, qui avait fourni les plus grands efforts dans les années 1970, s'est laissée aller à partir de 1986 : son intensité énergétique n'a dès lors plus décliné que de 0,6 % par an.

C'est ailleurs qu'il faut chercher la responsabilité. Premier accusé : le transport automobile et aérien. Ils ont tous les deux explosé le nombre de passagers par avion a triplé depuis 1973, celui d'automobiles a doublé -, tirant la demande de pétrole. Certes, les moteurs se sont améliorés, mais ce progrès technique a été plus que compensé, d'une part par l'augmentation du trafic, d'autre part, pour les automobiles, par le passage à des véhicules plus lourds et plus consommateurs d'énergie en raison de leur équipement en climatisation et autres gadgets. Le transport de marchandises par camion a lui aussi crû sans contrôle, doublant de ce fait la consommation d'énergie de ce secteur.

Dans un autre domaine, les particuliers sont aussi responsables de l'augmentation de la consommation énergétique : la quantité d'équipements électriques - électroménager, audio-vidéo, ordinateurs, etc. - s'est multipliée, tirant largement la consommation d'électricité. Soulignant que des possibilités très importantes d'économies d'énergie existent encore, l'Agence appelle les gouvernements à mener des politiques pour les favoriser. Mais l'absence de telles politiques dans la décennie passée, alors que la conjoncture économique était plus facile, rend douteux que l'appel de l'AIE soit entendu. D'autant plus qu'il va à l'encontre des politiques menées par ailleurs, qui encouragent le développement des échanges et la baisse du prix de l'électricité, jugée comme un stimulant économique. Dans ce contexte, sans doute vaut-il mieux attendre d'une hausse continue du prix du pétrole une baisse de la consommation d'énergie et des émissions de CO<sub>2</sub>.

IEA :

[http://www.iea.org/Textbase/press/pressdetail.asp?PRESS\\_REL\\_ID=123](http://www.iea.org/Textbase/press/pressdetail.asp?PRESS_REL_ID=123)

## L'Europe menacée de refroidissement par le réchauffement climatique

Il risque de faire de plus en plus froid en Europe occidentale dans les décennies à venir à cause du réchauffement climatique, la fonte des glaces dans l'Arctique refroidissant actuellement l'océan Atlantique dont la chaleur exerce une influence importante sur le climat tempéré de l'Europe, ont annoncé des experts lors d'une conférence des Nations unies sur le réchauffement de la planète à Milan. Si les glaces du Groenland et de l'Arctique continuent à fondre à leur rythme actuel, les températures de l'Europe baisseront fortement après cinq décennies-ou plus- de hausse. Ce retournement pourrait entraîner des problèmes pour les régions qui, d'ici là, se seront adaptées à des conditions plus tropicales, ont précisé ces scientifiques et ces écologistes. "Pour atténuer la hausse et l'accélération de ce réchauffement, nous devrions prendre des mesures vraiment radicales, beaucoup plus importantes que celles proposées (par le protocole de Kyoto)", a expliqué vendredi Jonathan Bamber, de l'Université de Bristol.

Selon M. Bamber, des flux croissants d'eau venus de l'Arctique pourraient déclencher un ralentissement ou une dérivation du Gulf Stream, le courant qui amène de l'eau chaude du Golfe du Mexique vers l'Atlantique Nord, réchauffant ainsi les eaux et le climat de l'Europe occidentale. M. Bamber a également affirmé que dans les cinq prochaines années, l'Europe risque de connaître des conditions de plus en plus dangereuses dans les Alpes. L'été dernier, pour la première fois, certaines parties du Cervin et du Mont-Blanc ont été interdites au public par crainte des chutes des pierres provoquées par la glace et la neige.

Et pendant la vague de chaleur sans précédent qui a traversé l'Europe cet été, 10% des neiges éternelles des Alpes italiennes ont fondu, a annoncé Damiano Di Simone, président de la branche italienne de la Commission internationale pour la protection des Alpes. Selon lui, 1,5 milliard de mètres cubes d'eau a déjà été perdu, alors qu'il s'agit d'une ressource essentielle pour certaines cultures intensives du nord de l'Italie, comme le riz.

"Chaque année, nous perdons beaucoup d'eau, entre 5 et 10% de la glace alpine. Donc d'ici 20 ou 30 ans, nous risquons d'avoir tout perdu", a-t-il ajouté.

Plus tôt cette semaine, le Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE) a publié un rapport affirmant que le réchauffement climatique menaçait certaines stations de ski, la fonte des neiges à basse altitude contraignant les sportifs à skier de plus en plus haut dans les montagnes. Malgré ce pronostic sinistre, Bill Hare, directeur de Greenpeace International chargé des problèmes de climat, a mentionné les efforts européens visant à réduire les émissions de gaz contribuant à l'effet de serre, ainsi que les progrès importants concernant l'application de politiques et de technologies susceptibles de ralentir le changement climatique.

Le protocole de Kyoto appelle les pays à réduire les émissions de gaz contribuant à l'effet de serre qui contribuent fortement au réchauffement climatique. Les participants à la conférence de Milan débattent des risques de ne voir jamais aboutir ces recommandations parce que les Etats-Unis rejettent le protocole

et que la Russie ne l'a pas ratifié. "Le problème le plus dur et le plus fondamental à surmonter actuellement, c'est les Etats-Unis", a souligné Bill Hare. "Et tant que les Etats-Unis n'auront pas bougé, les autres n'avanceront pas vite".

AP :

<http://fr.news.yahoo.com/031206/5/3j8gm.html>

## **ECOLOGIE**

### **Le remplacement du pétrole par l'hydrogène suscite un débat sur ses effets environnementaux**

À échéance de quelques décennies, la raréfaction des combustibles fossiles, comme leur impact sur le climat, devrait contraindre les industriels à trouver des alternatives énergétiques au pétrole, au charbon et au gaz naturel. L'hydrogène, par le biais de la pile à combustible - qui produit de l'électricité et de l'eau à partir d'hydrogène et d'oxygène - est l'alternative autour de laquelle le plus large consensus s'est formé. Cependant, l'impact climatique d'une économie fondée sur cette alternative énergétique demeure l'objet de débats.

Selon une étude franco-britannique récemment publiée par la Geophysical Research Letters, une telle "économie hydrogène" aurait peu d'impact sur les équilibres chimiques de l'atmosphère terrestre.

S'ils ne heurtent pas le consensus qui s'est créé autour de l'hydrogène comme alternative énergétique au pétrole, ces résultats contredisent des travaux précédemment menés par des chercheurs américains (Le Monde du 16 juin 2003).

En juin 2003, la revue Science a rendu publiques les conclusions d'une simulation menée par des chercheurs du Jet Propulsion Laboratory et du California Institute of Technology, selon lesquels le remplacement des énergies fossiles par l'hydrogène dégraderait de manière importante la couche d'ozone stratosphérique.

Le principe de la pile à combustible n'était pas mis en cause. Mais vu les imperfections des technologies de production et d'acheminement des gaz légers, les auteurs de l'étude supposaient une déperdition de 10 % à 20 % de l'hydrogène

utilisé en remplacement des énergies fossiles. Les quantités d'hydrogène ainsi relâchées dans l'atmosphère représenteraient alors entre 60 et 120 millions de tonnes.

Selon les auteurs de l'étude publiée par Science, de tels apports bouleverseraient les équilibres chimiques des hautes couches de l'atmosphère, contribuant à une augmentation de la concentration de la vapeur d'eau stratosphérique et au refroidissement des plus hautes régions du ciel terrestre. D'où des réactions de transformation de composés bromés et chlorés inactifs, en molécules néfastes pour l'ozone.

La publication de ces travaux a provoqué une polémique. La revue Science a publié, en octobre 2003, plusieurs correspondances de scientifiques appelant à considérer les résultats de cette simulation avec prudence et critiquant l'hypothèse d'un taux de fuite compris entre 10 % et 20%. "IMPACT TRÈS LIMITÉ"

Les travaux menés par Nicola Warwick, chercheur au Centre des sciences de l'atmosphère de l'université de Cambridge (Royaume-Uni) et publiés par la Geophysical Research Letters viennent renforcer ces critiques. "Nos conclusions nous amènent à penser qu'un passage à -l'économie hydrogène" n'aurait qu'un impact très limité sur la couche d'ozone, explique Slimane Bekki, chercheur au service d'aéronomie du CNRS (Institut Pierre-Simon-Laplace et université Paris-VI), coauteur de ces travaux. Dans tous les cas, celui-ci serait bien inférieur à ce qu'il a été dans les deux dernières décennies."

Dans le plus pessimiste des cas de figure étudiés, le taux de fuite de l'hydrogène a été fixé à 12 % - une valeur du même ordre que les 10 % à 20 % supposés par la précédente étude. "Même dans cette configuration extrême, nous obtenons une augmentation de la quantité de vapeur d'eau stratosphérique environ deux fois moindre que ne le disent les résultats de la précédente étude-publiée par Science-, explique M.Bekki. Cela aboutit à une influence très faible sur la couche d'ozone stratosphérique polaire."

Le Monde :

<http://www.lemonde.fr/web/article/0,1-0@2-3244,36-363824,0.html>

## **Un schéma pour prévoir l'impact de l'environnement sur la végétation**

Un schéma de fonctionnement des végétaux, qui pourrait mesurer l'impact de l'environnement sur la croissance des plantes, vient d'être établi à partir de 2.250 espèces de plantes réparties sur toute la planète.

"Connaître l'effet des changements climatiques, de la pollution, des aménagements du territoire sur la biomasse, c'est-à-dire l'ensemble des organismes vivants sur la terre, est le but ultime des chercheurs en écophysiologie", explique Catherine Roumet, chercheur au CNRS, qui a participé à cette étude.

Le modèle établi par une équipe internationale d'une trentaine de chercheurs peut relier variations de l'environnement et croissance végétale, une

composante essentielle de la biomasse.

Cette question mobilise depuis 1998 des scientifiques répartis dans quatorze pays. Ils viennent d'élaborer, à partir de feuilles du monde entier, un schéma global de l'évolution des propriétés des plantes, présenté dans la revue scientifique Nature du 22 avril.

Les études précédentes étaient dix fois moins complètes en termes d'espèces considérées et de sites géographiques couverts. L'équipe internationale du réseau GLOPNET (global plant network) a analysé par le menu des feuilles de 2.250 espèces de plantes vascularisées, c'est-à-dire qui possèdent des vaisseaux conducteurs permettant notamment le transport de l'eau depuis les racines jusque dans les parties les plus aériennes. Du chêne au blé cultivé : tous passés au crible.

Pourquoi les feuilles? Parce qu'elles sont le lieu de transformation de la matière minérale, telle que le dioxyde de carbone et l'eau, en matière organique comme les sucres. Ce sont donc elles qui gèrent les ressources de la plante. La durée de vie d'une feuille, la quantité de protéines fixant le dioxyde de carbone et le rapport entre la masse et la surface foliaire donnent donc des renseignements sur le fonctionnement global de la plante, en particulier sa croissance. L'étude a modélisé les relations qui existent entre ces différents caractères.

"Si une feuille a une photosynthèse très lente, comme lorsqu'elle vit dans un climat aride, sa durée de vie est relativement longue, elle peut atteindre une dizaine d'années. Un végétal est assimilable à un système économique, il ne peut optimiser toutes ses fonctions en même temps", explique Marie-Laure Navas, chercheur au CNRS, qui a également participé à ces travaux.

"On peut utiliser ce modèle pour prédire les réactions de la végétation lorsque son environnement change", précise Marie-Laure Navas. Ce qui permet de telles prévisions, c'est que les relations qui existent entre les différentes propriétés de la plante sont constantes. "S'il fait plus chaud, on peut savoir comment elle s'adaptera globalement", ajoute-t-elle.

Les chercheurs espèrent pouvoir, à terme, mesurer les effets de l'activité humaine sur les écosystèmes. "Le modèle n'établit pas une relation directe entre variations de la biomasse végétale et changements climatiques. Pour cela il faudrait connaître en plus l'influence directe de l'environnement sur la durée de vie de la plante", précise Catherine Roumet

AFP :

<http://fr.news.yahoo.com/040424/202/3rehw.htm>

## **L'augmentation du CO2 menace la forêt amazonienne**

L'augmentation des concentrations de gaz carbonique dans l'atmosphère modifie profondément l'équilibre naturel des arbres dans la forêt amazonienne, un des réservoirs majeurs de diversité animale et végétale de la planète. Une équipe de chercheurs brésiliens et américains a étudié la croissance de quelque 14.000 arbres, répartis sur 18 parcelles de 1 hectare (dispersées sur 300 km<sup>2</sup> au total) dans la zone centrale de la forêt amazonienne entre

1980 et 2000.

Chaque arbre a été marqué et mesuré à 15 ans d'intervalle en moyenne. Les arbres absorbent le gaz carbonique dans le processus de la photosynthèse, et de nombreuses études ont déjà montré une croissance accrue des forêts sous l'effet de l'augmentation du CO<sub>2</sub>. Mais cette croissance n'est pas uniforme, révèle l'étude. Sur les 115 espèces d'arbres les plus présentes, 27 ont changé de façon significative, en densité de population ou en emprise au sol. Sur les 115 espèces, 13 ont gagné en densité (14 ont régressé) et 14 ont accru leur empreinte au sol (13 ont décliné).

"Il y a très clairement des gagnants et des perdants", a commenté Alexandre Oliveira de l'Université de Sao Paulo dans le communiqué de presse accompagnant la publication dans Nature. "En général, les grands arbres à croissance rapide l'emportent au détriment des arbres plus petits, qui vivent dans le sous-bois".

Selon les chercheurs, la concentration de CO<sub>2</sub> entraîne une compétition plus acharnée pour la lumière, l'eau et les nutriments du sol. Les arbres les plus rapides prennent l'avantage sur les plus lents et les plus petits. Ce déclin des arbres les plus petits, seuls capables de fleurir et de se reproduire dans l'ombre des géants, peut s'avérer préoccupant car ils abritent de très nombreuses espèces animales et végétales.

"C'est un peu effrayant de constater des changements aussi importants et rapides de la forêt", estime William Laurance du Smithsonian Tropical Institute de Panama, qui a coordonné l'équipe. "La forêt tropicale est connue pour abriter nombre d'espèces très spécialisées, si la diversité des arbres est modifiée, les espèces qu'ils abritent, et notamment les insectes qui pollinisent les arbres vont aussi changer", ajoute-t-il.

La concentration de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère a augmenté de 30% dans les deux derniers siècles, du fait de l'utilisation massive des énergies fossiles (charbon, pétrole, gaz) par l'homme. Les modifications révélées par l'étude, outre leur impact sur la biodiversité, pourraient avoir des conséquences sur le changement climatique. En effet, la forêt amazonienne joue un rôle de "puit" de carbone, en stockant le CO<sub>2</sub> dans ses arbres en croissance. "Le stockage de CO<sub>2</sub> pourrait être ralenti par la tendance de la canopée et des arbres émergents à produire un bois de densité réduite, alors que leur taille et leur croissance augmentent, et par le déclin des arbres denses en bois du couvert végétal", estime l'étude.

Nature :

<http://www.nature.com/nsu/040308/040308-7.htm>

## **La fonte des glaces dans l'Arctique inquiète la Nasa**

La fonte de la couche de glace permanente dans l'océan Arctique en raison du réchauffement climatique a pris un caractère inquiétant, a averti jeudi la Nasa, après avoir procédé à des observations par satellite. "Cela se passe en ce moment. Nous ne pouvons pas nous permettre d'attendre longtemps



pour trouver des solutions technologiques", a déclaré David Rind, de l'institut d'études spatiales Goddard de la Nasa à New York, lors d'une conférence de presse à Washington. Le satellite ICESat a été lancé l'an dernier pour étudier en particulier, l'épaisseur de la couche de glace dans l'Arctique et l'Antarctique. Grâce aux observations réalisées avec ce satellite, la Nasa a constaté que "l'Arctique a perdu environ 10% de sa couche de glace permanente tous les dix ans depuis 1980. L'étendue de la couche de glace de l'Arctique qui reste gelée toute l'année a atteint les niveaux les plus bas en 2002 et 2003", selon Josefino Comiso, chercheur à l'agence spatiale américaine.

La couche de glace s'épaissit en hiver et fond en partie quand le soleil revient au printemps et à l'été. La glace qui ne fond jamais, même lors des plus fortes chaleurs de l'été, est appelée la couche de glace permanente. Les océans et les terres environnantes dans la région arctique se sont réchauffés de 2 degrés Fahrenheit (environ 1 degré Celsius) au cours de la dernière décennie, a constaté le chercheur. La fonte de la couche de glace permanente dans l'océan Arctique se transforme alors en cercle vicieux. L'océan en pleine eau absorbe davantage l'énergie du soleil que la glace, qui a un pouvoir réfléchissant, ce qui entraîne le réchauffement de l'eau, qui provoque la fonte des glaces, qui entraîne l'agrandissement de l'océan en pleine eau, selon M. Comiso.

Ce réchauffement de l'océan Arctique a eu récemment des conséquences spectaculaires. En septembre, des chercheurs américains et canadiens ont annoncé que la plus importante plate-forme nglaciaire de la région arctique, vieille de plus de 3.000 ans, s'était rompue entre 2000 et 2002, une conséquence selon eux du réchauffement climatique à long terme. "Des petits changements concernant la glace pourraient avoir de grandes conséquences sur le cycle de l'eau et finalement sur le climat", selon la Nasa.

Les changements dans l'océan Arctique peuvent ainsi affecter les courants océaniques, entraînant des modifications dans la répartition des poissons, et les courants atmosphériques, avec des effets sur les précipitations.

Ils peuvent aussi entraîner l'augmentation du niveau de la mer, avec des conséquences dramatiques pour des pays à très basse altitude, comme le Bangladesh. L'aggravation du rétrécissement de la couche de glace permanente peut en revanche faciliter le trafic des navires dans l'océan Arctique. "Le commerce entre l'est de l'Asie, l'Europe et l'Amérique du nord serait plus facile", estime David Rind.

La vie des populations indigènes, elle, serait perturbée. "Les populations qui vivent de la pêche en se servant de la couche de glace comme d'une plateforme seront touchées", affirme Michael Steele, océanographe à l'Université Washington à Seattle. Les chercheurs sont donc inquiets. "L'Arctique est en train de changer rapidement. Ce qui doit nous inquiéter, c'est que cela se passe maintenant et que nous allons devoir nous adapter à ce changement", a estimé Mark Serreze, chercheur à l'Université du Colorado lors de la conférence de presse. Selon lui, les responsabilités sont claires: "le réchauffement climatique est probablement en partie dû à des variations naturelles du climat. Mais les spécialistes considèrent qu'une partie de ce réchauffement est dû à l'activité humaine".



