

BULLETIN N° 97
ACADÉMIE EUROPEENNE INTERDISCIPLINAIRE
DES SCIENCES



Séance du Mardi 13 septembre 2005

*Intervention du Pr. Michel BITBOL, membre du CREA,
Sur le thème :*

« Physique et philosophie de l'esprit »

Prochaine séance : le Mardi 11 octobre 2005 :

Assemblée Générale

Elections

Perspectives pour l'année 2005-2006

Conférence du Pr. Jacques VARET ,

Directeur de la Prospective au Bureau de Recherches Géologiques et Minières sur :
« Risques majeurs : fatalité géophysique / responsabilité humaine »

ACADEMIE EUROPEENNE INTERDISCIPLINAIRE DES SCIENCES
MAISON DES SCIENCES DE L'HOMME

PRESIDENT : Gilbert BELAUBRE
SECRETARE GENERAL : Michel GONDRAN
SECRETARE GENERAL ADJOINT : Irène HERPE-LITWIN
TRESORIER GENERAL : Bruno BLONDEL.
CONSEILERS SCIENTIFIQUES :
SCIENCES DE LA MATIERE : Pr. Gilles COHEN-TANNOUDJI.
SCIENCES DE LA VIE ET BIOTECHNOLOGIES : Pr. François BEGON
PRESIDENT DE LA SECTION DE NICE : Doyen RENE DARS.

PRESIDENT FONDATEUR
 DOCTEUR Lucien LEVY (†)
SECRETARE GENERAL D'HONNEUR
 Pr. P. LIACOPOULOS
TRESORIER GENERAL D'HONNEUR
 Pr. H. NARGEOLET

septembre 2005

N°97

TABLE DES MATIERES

- P. 3 Compte-rendu de la séance du 13 septembre 2005.
- P. 5 Convocation à l'Assemblée Générale
- P. 6 Calendrier des séances à la Maison des Sciences de l'Homme
- P. 7 Programme du congrès « Physique et Conscience »
- P. 9 Comptes-rendus de la Section Nice Côte d'Azur.
- P. 15 Documents

Prochaine séance : Mardi 11 octobre 2005,
 MSH, salle 215

Assemblée Générale-Elections

Conférence du Pr. Jacques VARET

« Risques majeurs : fatalité géophysique /
 responsabilité humaine »

(à 18 h.)

ACADEMIE EUROPEENNE INTERDISCIPLINAIRE DES SCIENCES
Maison des Sciences de l'Homme, Paris.

Séance du
Mardi 13 septembre 2005

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

La séance est ouverte à 18 h. 00 sous la Présidence de Gilbert BELAUBRE et en la présence de nos collègues François BEGON, Michel BERREBY, Bruno BLONDEL, Noëlle CAGNARD, Alain CARDON, Françoise DUTHEIL, Michel GONDRAN, Irène HERPE-LITWIN, Marie-Louise LABAT, Gérard LEVY, René Lucien SEYNAVE, Alain STAHL et d'un visiteur, Charles Elie GARBARZ.

Etait invité Le Pr. Michel BITBOL, Directeur de Recherche au CNRS, membre du CREA (centre de Recherche en Epistémologie Appliquée). De formation médicale, il enseigne à l'Université Paris I la Philosophie de la physique moderne, l'Histoire de la physique du vingtième siècle, la Philosophie des sciences. Il est l'auteur de plusieurs ouvrages d'épistémologie :

- Mécanique quantique, une introduction philosophique, Champs-Flammarion, 1997
- L'aveuglante proximité du réel, Champs-Flammarion, 1998
- Physique et Philosophie de l'Esprit, Flammarion 2000

Michel BITBOL s'est également intéressé à la philosophie de l'esprit et a essayé de développer un parallèle entre les problèmes épistémologiques rencontrés en physique quantique et ceux rencontrés dans la recherche sur le mental.

Tout comme la physique quantique la science de l'esprit présente des difficultés :

- approche des limites
- séparation du sujet et de l'objet
- interprétation des expériences

Michel BITBOL s'est particulièrement intéressé dans ce contexte aux travaux du Pr. Francisco VARELA qui a travaillé sur la conscience et qui a mis en évidence une nouvelle catégorie d'invariants que l'on peut approcher via l'intersubjectivité qui complète la recherche des invariants phénoménaux.¹

Michel BITBOL aborde au décours de sa conférence des problèmes comme la distinction entre corrélation, causalité, concomitance ou sur le fait que l'on peut seulement trouver des relations entre les phénomènes sans toutefois accéder à la substance des phénomènes, à la « chose en soi ». Il pose un problème encore plus ardu qui est lié au réductionnisme de la *mesure* notamment en physique quantique où les appareils sont intrinsèquement incapables de rendre compte de la superposition de deux états .

¹ Pour plus de détails on peut lire dans les documents en page 19, « VARELA et la Nature de la Conscience »

Il propose essentiellement de transcender l'opposition entre subjectivité et objectivité au moyen de l'intersubjectivité.

La conférence du Pr. BITBOL ayant pris fin, Gilbert BELAUBRE nous informe des faits suivants:

- **1) Tenue de l'Assemblée Générale 2005 de l'Académie à 18 heures le mardi 11 octobre 2005 (voir convocation et pouvoir ci-joint page 7) en salle 215, à la Maison des Sciences de l'Homme, 54 bd Raspail 75006 PARIS.**

A cette occasion, Gilbert BELAUBRE, actuellement Président de l'AEIS, nous rappelle qu'il avait déjà formulé l'an passé son intention de renoncer à solliciter un nouveau mandat de Président de l'Académie. Cette année, il réitère son intention et sollicite vivement des candidatures au poste de Président et aux différents postes du Bureau.

Veillez les lui adresser à lui-même ² ou à Michel GONDRAN³, Secrétaire général de l'Académie afin qu'elles nous parviennent avant le 10 octobre.

- 2) Le calendrier des séances de l'année 2005-2006 à la Maison des Sciences de l'Homme peut être consulté p 6
- 3) **Création d'une nouvelle section de l'Académie à Metz-Nancy** sous l'égide du **Pr. Pierre NABET**
- 5) **Mise au point définitive** du programme du Congrès PHYSIQUE et CONSCIENCE qui aura lieu les 9 et 10 décembre prochain. Ce programme est donné ci-après p 7.
- 4) **Le thème du futur colloque de 2006 qui sera dédié aux Sciences de la Terre.** A cette occasion le **Pr Jacques VARET , Directeur de la Prospective au BRGM (Bureau de recherches géologiques et minières), nous présentera mardi 11 octobre 2005, à 18 heures en salle 215, à la MSH, 54 bd Raspail à Paris 6^{ème} une introduction aux « Risques majeurs : fatalité géophysique / responsabilité humaine»**

Après ce riche débat et ces annonces, la séance a été levée à 20heures.

Bien amicalement à vous.

Irène HERPE-LITWIN.

² Adresse : Gilbert BELAUBRE, 42 rue Marcadet 75018 PARIS

³ Adresse : Michel GONDRAN, 60 avenue Jean Jaurès 92190 MEUDON

ASSEMBLEE GENERALE 2005
Convocation

L'assemblée générale ordinaire de l'Académie Européenne Interdisciplinaire des Sciences se tiendra le :

Mardi 11 Octobre 2005 à 18 heures,
Salle 215 de la Maison des Sciences de l'Homme,
54 Bd Raspail, Paris 6^{ème}

Vous êtes cordialement prié d'y prendre part ⁴.L'ordre du jour de l'assemblée générale est le suivant :

Rapport moral.
Rapport financier ; rapport des contrôleurs,
Votes sur les rapports.
Elections aux postes du Bureau.
Questions soumises à l'Assemblée Générale.

Les courriers relatifs à cette Assemblée, en particulier les demandes d'inscriptions de questions dans l'ordre du jour, sont à adresser au Secrétaire général adjoint :

Irène HERPE-LITWIN 39, rue Michel Ange 75016 PARIS.

En cas d'empêchement, nous vous prions de remettre le pouvoir ci-dessous à un membre de l'Académie, à votre choix.

Je soussigné(e)membre de l'A.E.I.S. donne pouvoir à
.....

pour me représenter à l'assemblée générale de l'Académie, le 11 Octobre 2005.

(lieu et date)..... **Bon pour pouvoir.**
(signature)

⁴ Tous les membres de l'Académie à jour de leurs cotisations sont habilités à voter.

DATES DES REUNIONS DE L'AEIS

MAISON DES SCIENCES DE L'HOMME, PARIS

Salle 215 à 18 heures

Mardi 13 septembre 2005

Mardi 11 octobre 2005

Mardi 8 novembre 2005

Mardi 13 décembre 2005

Mardi 10 janvier 2006

Mardi 14 février 2006

Mardi 11 avril 2006

Mardi 9 mai 2006

Mardi 13 juin 2006

ACADEMIE EUROPEENNE INTERDISCIPLINAIRE DES SCIENCES

MAISON DES SCIENCES DE L'HOMME, PARIS

Congrès international, 9 et 10 Décembre 2005, Carré des Sciences.

"PHYSIQUE ET CONSCIENCE"

VENDREDI 9 DECEMBRE

Accueil à partir de 8h.30.

9.00 Gilles Cohen-Tannoudji : présentation du congrès.

9.15 Edouard Brézin , Président de l'Académie des Sciences : Adresse au congrès.

PREMIERE SESSION : Les instruments et les modèles

Les modèles issus de la Physique et des Mathématiques

9.30 Denis Le Bihan : *L'apport de la physique à la compréhension du cerveau : l'exemple du mouvement brownien.*

10.10 Questions et discussion.

10.20 David Hansel : *Neurophysique du cortex visuel: réduction, formalisation, prédiction.*

11.00 Questions et discussion.

11.10 Pause

11.20 Florin Amzica: *Neurones, glies et vascularisation : trinité au service de la conscience*

12.00 Questions et discussions.

12.10 Fin de la session.

DEUXIEME SESSION: Suite des Modèles

Modèles en neurosciences.

14.00 Alain Berthoz : *Stratégies cognitives et référentiels dans la perception et la mémoire de l'espace.*

14.40 Questions et discussion..

Modèles constructivistes (IA)

14.50 Alain Cardon : *Génération d'états mentaux*

15.30 Questions et discussion.

15.40 Pause.

Modèles psychiques (psychiatriques)

15.50 Pierre Marchais : *Psychiatrie et fonctionnement psychique : essai de modélisation.*

16.30 Jean-Blaise Grize : *La logique comme terrain de rencontre.*

16.50 Questions et discussion.

17.00 Fin de la session.

SAMEDI 10 DECEMBRE

TROISIEME SESSION :

L'analyse fonctionnelle

Phylogénèse et ontogénèse

9.00 Michel Cabanac : *Origine de la conscience dans la phylogénèse : arguments expérimentaux*

9.40 Questions et discussion.

9.50 Alain Prochiantz : *La cognition au regard du développement des individus et de l'évolution des espèces.*

10.30 Questions et discussion.

10.40 Pause..

Voir, analyser et représenter les fonctions du cerveau.

10.50 Stanislas Dehaene : *L'imagerie cérébrale et la transition dynamique du non-conscient au conscient*

11.30 Questions et discussion.

11.40 Claude Debru *Sur quelques développements récents d'électrophysiologie du sommeil et du rêve, et sur leurs conséquences en philosophie de la conscience*

12.20 Questions et discussion.

12.30 Pause déjeuner

QUATRIEME SESSION :

Peut-on envisager une théorie unifiée du mental?

14.00 Jean Petitot : *Modélisation des architectures fonctionnelles.*

14.40 Questions et discussion.

14.50 Daniel Andler : *Les neurosciences cognitives sont-elles réductrices ?*

15.30 Questions et discussions.

15.40 Pause.

15.50 Michel Bitbol : *A la mémoire de Varela*

16.20 Pierre Buser : *Quelle valeur l'exploration du mental peut-elle donner aux modèles ? Contraintes et défis.*

16.50 Pierre-Gilles de Gennes : *La nature des objets de mémoire.*

17.20 Gilles Cohen-Tannoudji : *Conclusion*

17.50 Gilbert Belaubre : remerciements. Fin du congrès.

Comptes-rendus de la Section Nice-Côte d'Azur :

Le savoir est le seul bien qui s'accroisse à le partager. Comprendre est bien sans limite qui apporte une joie parfaite. Baruch SPINOZA (1632-1677)

Compte-rendu de la séance du 21 juillet 2005 (84^{ème} séance)

Présents :

Sonia Chakhoff, Patrice Crossa-Raynaud, Guy Darcourt, René Dars, Jean-Pierre Delmont, Jean-Paul Goux, Yves Ignazi, Maurice Papo.

Excusés :

Jean Aubouin, Alain Bernard, René Blanchet, Pierre Couillet, Emile Girard, Thierry Gontier, Gérard Iooss, Michel Lazdunski, Daniel Nahon.

1- Approbation du compte-rendu de la 83^{ème} séance.

Le compte-rendu est approuvé à l'unanimité des présents.

2- Le mois écoulé.

Guy Darcourt

Le traitement de certains troubles obsessionnels-compulsifs par stimulation cérébrale profonde.

Cette question fait débat en psychiatrie depuis trois ans.

La psychochirurgie pratiquée pendant les années 40 et 50 a laissé de mauvais souvenirs dans les milieux psychiatriques. Elle donnait certes quelques résultats, à cette époque où n'existait pratiquement aucun médicament, mais elle était destructrice puisqu'elle consistait en ablation de lobes cérébraux (lobectomies) ou en section de faisceaux de fibres blanches (leucotomies). Elle fut abandonnée et la perspective d'un renouveau

de cette chirurgie était tabou. L'idée d'une nouvelle utilisation est venue d'une constatation fortuite. Depuis une quinzaine d'années, a été mise au point une technique de traitement des formes invalidantes de maladies de Parkinson par la stimulation électrique de structures cérébrales profondes. Or on a constaté que chez les parkinsoniens atteints à la fois par cette maladie et par des troubles obsessionnels et compulsifs graves (appelés TOC dans la terminologie internationale) cette stimulation améliorait les troubles psychiques en même temps que les troubles moteurs. D'où l'idée d'utiliser la même technique dans des cas de troubles obsessionnels isolés. Il ne s'agissait pas de traiter n'importe quel TOC. La majorité de ces troubles relèvent de psychothérapies et de traitements médicaux. Mais dans quelques cas, très rares d'ailleurs, les troubles sont intenses, rebelles à tout traitement et entraînent une invalidité, le patient ne pouvant rien faire d'autre pendant la majorité de son temps que de se livrer à ses compulsions. Malgré la gravité du trouble, il ne serait pas raisonnable d'envisager le recours à la neuro-chirurgie destructrice du passé mais certains ont pensé qu'il était raisonnable d'envisager cette nouvelle psycho-chirurgie qui est fonctionnelle.

La méthode est déjà appliquée dans plusieurs pays et quelques résultats ont été publiés, aux USA, en Belgique, en Allemagne. Ils font état d'une amélioration des troubles obsessionnels et dépressifs se maintenant pendant les périodes d'étude (de 12 à 21 mois), sans effets défavorables neurologiques ou psychologiques.

En France, le Comité Consultatif National d'Éthique pour les sciences de la vie et de la santé (CCNE) a été consulté et a émis un avis en juin 2002. Cet avis était favorable à des recherches sur ce sujet mais sous condition d'une extrême prudence. Il exigeait la plus grande transparence avec publication des échecs, des effets secondaires, des effets parallèles et aussi des avantages et des succès obtenus. Il précisait : « Cette démarche doit s'inscrire dans le cadre de protocoles rigoureux donnant les bases scientifiques et les hypothèses sur lesquelles sont fondés ces traitements ainsi que les informations qui seront à recueillir prospectivement. Tout protocole doit donc être approuvé par un comité particulier, selon des critères devant définir :

- a) les conditions du choix des candidats potentiels,
- b) la validité de leur consentement,
- c) les critères de sévérité, de chronicité, de gravité et d'échec des traitements médicaux et
- d) les modalités de l'évaluation des résultats.

Les équipes chirurgicales devront témoigner de leur expérience dans ce domaine. Ce comité unique, garant de la validité scientifique et éthique des indications, a une double mission d'instruction et de décision. » Il limitait les indications psychiatriques aux TOC invalidants et en impasse thérapeutique. Il s'opposait à tout élargissement des indications notamment aux troubles avec auto-agressivité ou hétéro-agressivité même si ceux-ci sont « gravissimes » et mettent en échec toutes les thérapeutiques actuelles. Il insistait non seulement sur la nécessité du consentement du sujet mais aussi sur le fait que le patient devait être éclairé à la fois sur les effets attendus et sur l'intérêt de la recherche en cours. Il reconnaissait la possibilité de « failles » possibles du consentement chez ces patients atteints de pathologie psychiatrique, soit par défaut de compréhension, soit par une trop facile acceptation due à la souffrance. Il chargeait d'ailleurs, comme nous l'avons vu, le « comité particulier » de s'assurer de la validité du consentement.

Un groupe associant neurochirurgiens, psychiatres, neurophysiologistes, neuroradiologues, anatomopathologistes et statisticiens s'est constitué et a élaboré un projet de recherche multicentrique. Ce projet est conforme à la loi Huriet-Sérusclat n°88-1138, parue au JO le 22.12.1988, relative à la protection des personnes qui se prêtent à des recherches biomédicales et a été approuvé par le du CCPPRB du CHU Pitié-Salpêtrière. Il a été développé sous la responsabilité du d'Yves Agid. Les médecins co-investigateurs ont une grande expérience dans la prise en charge de patients atteints de TOC, dans la technique opératoire et dans l'adaptation des paramètres chez les patients stimulés. Les équipes soignantes des différents centres impliqués sont rompues à la gestion de protocoles de recherche clinique, et en particulier ceux concernant la stimulation cérébrale profonde. Il a été constitué un conseil scientifique et un comité de surveillance (comportant une personne morale, un neurologue, un psychiatre et un neurochirurgien) qui a la responsabilité de suivre le déroulement de l'étude et de décider de sa poursuite ou de son arrêt. Ce comité correspond au « comité particulier » demandé par le CCNE.

Neuf équipes ont été choisies pour participer à cette recherche : Grenoble, groupe hospitalier Pitié-Salpêtrière, Nantes, Bordeaux, Nice, Clermont-Ferrand, Poitiers, Toulouse et Sainte-Anne. Chaque centre devra traiter un patient. Parmi les cibles possibles (noyau subthalamique, noyau accumbens et complexes centre médian-noyau parafasciculaire du thalamus), une seule a été choisie : le noyau subthalamique. Un protocole précis, détaillé et identique pour toutes les équipes fixe les critères d'inclusion et de non inclusion, l'observation psychopathologique et le suivi. Il comporte des évaluations cliniques et psychométriques et des enregistrements vidéo. Ces évaluations sont faites « en aveugle » par des psychiatres et des neurologues qui ignorent si le sujet est en situation de stimulation ou non. Sont évalués à la fois l'état neurologique, la symptomatologie obsessionnelle, l'humeur, le fonctionnement intellectuel, la qualité de vie et l'adaptation sociale. Le suivi sera d'un minimum de 12 mois.

Il est encore trop tôt pour disposer de résultats définitifs. Il est seulement possible de faire état des premières constatations. Les effets secondaires néfastes sont liés à l'acte chirurgical et au matériel. La pose des électrodes entraîne, chez les parkinsoniens une hémorragie intra-cérébrale dans 1 à 2% des cas, avec un risque qui augmente avec l'âge, constatation favorable pour les indications psychiatriques puisque les patients sont alors plus jeunes. Le matériel de stimulation pose les mêmes problèmes que celui qui est utilisé pour les stimulations cardiaques, il peut entraîner dans 3 à 4% des cas une infection sous-cutanée nécessitant son ablation. On n'a pas constaté d'infection cérébro-méningée. Les premiers cas publiés montrent une amélioration des troubles obsessionnels et dépressifs se maintenant pendant les périodes d'étude (de 12 à 21 mois), sans effets défavorables neurologiques ou psychologiques.

Bien des choses sont encore à préciser. Il y a, nous l'avons vu, plusieurs régions cérébrales dont la stimulation est efficace et on ne sait pas encore quelle est la meilleure. Il faut aussi plus de connaissance de l'évolution des symptômes après l'intervention, etc. mais ces premiers résultats sont en faveur d'un rapport bénéfice-risque très favorable et justifient la continuation des recherches.

LE DEBAT :

Il a commencé dès la publication de l'avis du CCNE et il se poursuit. Certains psychiatres ont signé une pétition demandant à ce comité de reconsidérer sa position, ce qu'il n'a d'ailleurs pas fait. Ce débat tourne autour de cinq arguments :

1- Le risque de dérive par l'extension des indications. Il faut d'abord noter que cette dérive serait encore plus possible sans l'avis du CCNE. Les conditions qu'il fixe sont destinées à l'éviter et si certains les outrepassaient, ils engageraient lourdement leur responsabilité car on n'est plus dans la situation des années 40 et 50 où tout praticien pouvait « en conscience » faire ce qui lui semblait bon. Avec la législation actuelle, prendre une telle liberté serait considéré comme une faute grave et lourdement sanctionnée.

2- Le deuxième argument est la défense de l'intégrité corporelle. Nous avons vu les risques de cette technique : hémorragie cérébrale et infection sous-cutanée. Ils ne sont certes pas négligeables et sont à signaler au patient et il est sûr que certains renonceront à l'intervention à cause d'eux. Mais ils ne sont pas un argument pour un refus absolu. Comme pour tout traitement médical, il faut évaluer le rapport bénéfice-risque et ici, du moins dans l'état actuel des connaissances, il est positif.

3- Le troisième argument repose sur la conception de la maladie mentale. Il y a actuellement deux théories explicatives des TOC, une théorie psychogénétique qui en fait la conséquence d'un conflit intrapsychique et une théorie organogénétique qui en fait la conséquence d'un trouble biologique. Sans entrer ici dans l'étude de cette question, je signale seulement qu'on peut concevoir que les deux mécanismes soient possibles et puissent être intriqués dans des proportions variables selon les cas. Il est fort possible que les mécanismes sous-jacents à ces TOC gravissimes, invalidants et en impasse thérapeutique soient différents de ceux qui sont responsables des névroses obsessionnelles classiques. Ainsi affirmer qu'il y a des raisons théoriques pour refuser cette technique

n'est pas recevable. Par ailleurs ce choix ne relève pas d'une option théorique mais d'une constatation expérimentale.

4- Le quatrième argument est celui de l'absence d'intérêt des thérapies symptomatiques. C'est un débat classique, certains affirmant que, si on supprime un symptôme, le trouble se manifeste autrement. L'expérience clinique montre que c'est faux. Quand nous traitons un déprimé par antidépresseur, un anxieux par anxiolytique ou par relaxation, un délirant par neuroleptique ne faisons-nous pas un traitement symptomatique ? Et cela est efficace. Même si la stimulation cérébrale n'agit que sur un symptôme, elle peut être utile.

5- Le dernier argument est la non validité du consentement des patients. Un malade qui souffre serait prêt à tout accepter. Cette question est sérieuse. Le CCNE y insiste d'ailleurs et demande de grandes précautions. On ne peut toutefois pas limiter le problème à l'affirmation que « la demande du patient de supprimer son symptôme doit être aussi elle-même considérée comme un symptôme. ». Tout peut être considéré comme un symptôme, le refus de traitement autant que son acceptation. Par ailleurs il ne s'agit pas de n'importe quel trouble psychique. La situation n'est pas la même que dans les cas de délire, de mélancolie ou de détérioration. Le sujet est ici conscient de son trouble et capable de comprendre les informations qu'on lui donne sur les effets attendus et les risques de l'intervention. Il y a nécessité de prudence mais pas justification du rejet de la méthode.

Il est donc justifié de poursuivre cette recherche mais on ne peut encore présager ses résultats.

3- Préparation du 6^{ème} colloque.

Une très grande partie de la séance a été consacrée à la mise au point du colloque du 14 octobre prochain.

Compte-rendu de la séance du 18 août 2005
(85^{ème} séance)

Présents :

René Blanchet, Alain Bernard, Sonia Chakhoff, Pierre Coulet, René Dars, Jean-Paul Goux, Yves Ignazi, Gérard Iooss, Maurice Papo.

Excusés :

Jean Aubouin, Patrice Crossa-Raynaud, Guy Darcourt, Emile Girard, Thierry Gontier, Jean Jaubert, Jean-François Mattéi, Daniel Nahon, Alexandre Sosno, Jacques Wolgensinger.

Notre secrétaire Patrice Crossa-Raynaud étant en vacances, notre Président a demandé au Sénateur Laffitte de nous héberger à la Fondation Sophia Antipolis. Ce dernier ayant accepté, notre ami le Recteur Blanchet nous a fait les honneurs de la Fondation en nous recevant avec toute sa gentillesse habituelle. Nous avons seulement regretté les chocolats, Sophia Antipolis étant éloigné de tous commerces dignes de ce nom, mais la bonne ambiance et l'accueil chaleureux ont largement compensé ce manque.

4- Approbation du compte-rendu de la 84^{ème} séance.

Le compte-rendu est approuvé à l'unanimité des présents.

5- Fête de la Science.

René Blanchet et Pierre Coulet nous informent que la Fête de la Science sera très développée à Valrose. Le Président de l'Université, Albert Marouani, souhaitant faire bouger les choses, demande à tous de recueillir critiques et suggestions pour améliorer encore, si possible, la manifestation suivante.

Une exposition sur « l'art sans contrainte » se tiendra pendant deux mois avec conférences, manip sur le mouvement, la lumière, déformation de la matière, suivie d'un colloque et démonstration d'un arc-en-ciel artificiel. Tout cela, grand public.

3- Colloque « Les peurs de notre temps ».

Notre réunion a porté sur la préparation de notre participation à cette fête par le colloque du 14 octobre 2005 au CUM « Les peurs de notre temps ».

Les conférenciers en seront dans l'ordre d'intervention :

- **Le matin : René Dars – Guy Darcourt – Jean Aubouin – M. Mandrillon**
- **L'après-midi : Patrice Crossa-Raynaud – M. Dor – M. Ramunni – Jean-François Mattéi.**

Il est demandé à chacun de ces conférenciers un texte de vingt lignes sur le sujet traité, *pour le 15 septembre, dernier délai*, date de notre prochaine réunion.

4- Demande de subvention.

Une demande de subvention est faite auprès du Persan qui nous a proposé une aide dans le cadre de la Fête de la Science.

Prochaine réunion
le jeudi 15 septembre 2005 à 17 heures
au siège
Palais Marie-Christine
20 rue de France
06000 NICE

Documents

P. 16 Un article de Michel BITBOL relatant l'attitude de Francisco VARELA face au problème de la conscience. Michel BITBOL a été proche de Francisco VARELA pendant les dernières années de sa vie. Ils avaient en projet commun un ouvrage qui ne verra pas le jour sous le format qu'ils souhaitaient. Nous avons pris contact avec Francisco VARELA en avril 2001 en vue de notre congrès « Biologie et Conscience » dont nous avons envisagé la tenue fin 2001. Nous avons son accord et VARELA et EDELMAN devaient être les pivots de notre congrès.

VARELA est mort pendant l'été 2001 et notre congrès a été reporté à avril 2002. La pensée de VARELA y a été fortement présente, elle le sera encore beaucoup plus pour le prochain congrès « Physique et Conscience »

P. 23 Ces quelques pages sont une introduction à une des ouvrages de VARELA paru au Seuil, « AUTONOMIE ET CONNAISSANCE ». Il y aborde l'histoire de la circularité à partir de laquelle sont développées certaines de ses idées fondamentales.

P. 31 « **Pas de panacée pour réduire les émissions de CO2** » une série d'articles représentant une bonne introduction à un des problèmes majeurs de notre temps.

Francisco Varela et la nature de la conscience⁵

Michel Bitbol

CREA/CNRS, 1, rue Descartes, 75005 Paris FRANCE

Mon but est de tracer à grands traits l'attitude de Francisco Varela face au "problème difficile" de la conscience. Je m'appuierai surtout pour cela sur un très bel article de lui intitulé significativement "A science of consciousness as if experience mattered"⁶; "Une science de la conscience comme si l'expérience comptait". Dans cet article, comme dans d'autres articles fondateurs de la Neurophénoménologie, Francisco Varela défendait une dissolution du "problème difficile" par une approche *méthologique* à la fois radicale et cohérente, plutôt qu'une pseudo-solution basée sur quelque point de vue théorique que ce soit.

Le point de départ de son approche était la remarque évidente selon laquelle toute description objective émerge comme foyer invariant pour une communauté de sujets incarnés, situés, et doués d'emblée d'expérience consciente. Habituellement, cette remarque est tantôt sous-évaluée, tantôt sur-évaluée. Elle est sous-évaluée par ceux des philosophes qui pensent que l'invariance est seulement *notre* façon de *découvrir* une réalité substantielle sous les apparences situées. Et elle est sur-évaluée par d'autres philosophes qui l'utilisent comme arme sceptique contre toute prétention à une authentique connaissance.

Ces deux attitudes conduisent à autant de conceptions biaisées de l'expérience consciente. Sous-évaluer la primauté effective de notre vision située, ce qui est une tendance courante dans notre culture, conduit à minimiser du même coup le statut de la conscience primaire. Admettons que l'expérience consciente ne soit au plus qu'un chemin provincial et contingent (*notre* chemin) sur la voie d'une réalité intrinsèquement objective dont nous serions un fragment. Dans ce cas, il est naturel soit de congédier cette expérience consciente en la traitant comme illusoire (dans l'éliminativisme fort), soit d'essayer de la reconduire à un champ de description se prêtant facilement à une description objective (dans le réductionnisme physicaliste), soit encore de la traiter comme une entité objective autonome (dans le dualisme des substances ou des propriétés). À l'inverse, sur-évaluer le fait que les compte-rendus en troisième personne sont produits par des (communautés) de sujets conscients situés dans un réseau de relations naturelles et sociales débouche habituellement sur le relativisme, ou l'idéalisme subjectif.

Or, justement, Francisco Varela s'est soigneusement gardé de sous-évaluer ou de sur-évaluer la primauté de la situation ou de l'incarnation à travers quelque théorie que ce soit des rapports esprit-corps. Au lieu de cela, il a pris cette primauté de l'incarnation comme point de départ d'une *stratégie de recherche*. Son idée centrale était que, dans une vraie science de la conscience, on ne devrait essayer :

- Ni d'absorber la subjectivité dans un domaine objectif préalable (physicalisme),
- Ni d'objectiver de quelque manière le subjectif en tant que « res cogitans » traitée comme substance, ou « cogitatio » traitée comme propriété (dualisme),
- Ni de donner au subjectif une quelconque suprématie sur l'objectif (idéalisme).

On devrait plutôt revenir au domaine d'expérience à partir duquel se trouve *constituée* la dichotomie entre subjectivité et objectivité, puis mettre en place au sein de ce domaine un système de *contraintes mutuelles*. En l'occurrence, les contraintes mutuelles sont imposées entre : (a) les énoncés en première personne de contenus phénoménaux, partagés en deuxième personne par le procédé commun consistant à se « mettre à la place de quelqu'un », et (b) les descriptions en troisième personne de certains invariants phénoménaux jugés pertinents,

⁵ Un développement de ces idées peut être trouvée dans : M. Bitbol, *Physique et philosophie de l'esprit*, Flammarion, 2000 ; réédition en collection de poche Champs-Flammarion, 2005

⁶ F.J. Varela, "A science of consciousness as if experience mattered", in : S. Hameroff, A.W. Kaszniak, & A.C. Scott, *Towards a science of consciousness II : The second Tucson discussions and debates*, MIT Press, 1998. F. Varela, "Neurophenomenology", *Journal of Consciousness Studies*, 3, 330-349, 1996.

depuis ceux qui sont établis par les neurosciences (les objets et les processus neurophysiologiques), jusqu'aux comportements et à l'environnement de la personne qui est témoin des phénomènes.

Ce choix stratégique a deux conséquences majeures: une conséquence pratique et une conséquence épistémologique.

La conséquence pratique est que l'élaboration des propositions première personne se voit accorder autant d'importance et autant de soin que celle des propositions en troisième personne. En termes wittgensteiniens, les énoncés *expressifs* reçoivent autant d'attention que les énoncés *descriptifs*. En effet, des contraintes mutuelles ne peuvent être établies sur une base solide que si les deux versants contraints sont également maîtrisés. Sur le versant de la troisième personne, cela demande une discipline de la reproductibilité expérimentale et de la recherche de validité universelle des jugements. Sur le versant de la première personne, cela requiert une attention disciplinée de type phénoménologique qui doit être apprise comme n'importe quel savoir-faire. L'un des préliminaires de cette seconde discipline est la familiarité avec la procédure de la réduction phénoménologique, qui évite les écueils traditionnels de l'introspection, en favorisant l'immersion dans l'expérience plutôt que la distanciation à son égard.

Quant à la conséquence épistémologique du choix de Francisco Varela, elle n'est rien moins que l'éclatement du cadre des présupposés de la science classique. Si l'on veut ménager une place à l'expérience consciente dans l'édifice scientifique, il ne faut plus restreindre la tâche des sciences à décrire des structures invariantes à travers une gamme plus ou moins large de situations spatio-temporelles, personnelles, culturelles etc. Leur assise méthodologique doit être étendue de façon à inclure: (1) Des relations mutuelles réglées des compte-rendus situés entre eux, et (2) Des relations entre les compte-rendus situés d'une part et certains de leurs invariants (comportementaux et neurophysiologiques) d'autre part. En somme, dans ce projet d'expansion du soubassement méthodologique des sciences, l'intersubjectivité complète l'objectivité *stricto sensu* et lui est systématiquement reliée.

À ce stade, on peut se demander en quoi tout cela *dissout* le " problème difficile " de la philosophie de l'esprit.

Pour aller vite, le " problème " en question consiste à trouver une place pour l'expérience consciente au sein de la nature telle qu'on la suppose décrite par nos meilleures théories scientifiques. Sa difficulté, bien mise en évidence par D. Chalmers après d'autres auteurs, vient du fait que les théories scientifiques ne peuvent rien accomplir de mieux que dériver des conséquences structurales à partir d'axiomes structuraux. Elles sont incapables d'expliquer les traits non-structuraux, qualitatifs, de l'expérience. Et elles sont à plus forte raison inaptées à justifier la simple circonstance de l'*existence* de l'expérience consciente. En d'autres termes, les théories scientifiques nous autorisent à prédire des *relations* entre phénomènes; mais elles n'ont rien à dire sur le fait brut de la phénoménalité qui a plus de titre à être traité comme " absolu " que n'importe quoi d'autre⁷.

Francisco Varela échappe à ce dilemme entre le projet de naturalisation et son échec constitutif en proposant rien moins qu'une redéfinition radicale de la science, de la nature, et partant de la naturalisation. Aussi longtemps que la science est limitée à la description d'invariants trans-situationnels, aussi longtemps que la nature est conçue comme un réseau de tels invariants pris pour objets, et aussi longtemps que naturaliser la conscience signifie soit la projeter sur le plan de ces objets naturels (comme dans le réductionnisme) soit inventer pour elle une nouvelle classe d'objets (comme dans le dualisme), le " problème difficile " demeure obstinément insoluble. Mais si la science est étendue jusqu'à établir une dialectique de définition mutuelle des compte-rendus en première et en troisième personne; si la nature est faite de vues et d'expériences situées autant que de leurs invariants; et si, par conséquent, naturaliser la conscience veut simplement dire insérer ses contenus disciplinés au sein d'un réseau fortement interconnecté d'objets et d'expériences vécues, alors le problème a disparu à force de transfiguration de ses données.

⁷ S. Blackburn, *Essays in quasi-realism*, Oxford University Press, 1993

Dans un certain sens, on aimerait dire que le “ problème difficile ” a été *résolu* par cette approche, parce que la conscience a été insérée directement dans un programme de naturalisation plausible. Et dans un autre sens, plus plausible, le problème a seulement été *dissout* parce qu’on a montré que sa motivation était dès le départ infondée. En bon accord avec cette dernière interprétation, Francisco Varela ne cessait de souligner que, dans la formulation habituelle du problème de la conscience, “ (...) la difficulté n’est pas la nature cohérente de l’explication, mais son aliénation à l’égard de la vie humaine ”⁸. Sa démarche était donc celle d’une réintégration systématique de la vie humaine (c’est-à-dire de l’expérience incarnée) dans le cadre de la discussion. Elle était celle d’une pratique élargie de la conscience plutôt que d’une pure théorie physicaliste.

L’inconvénient est que, à l’instar de bien d’autres dissolutions, celle-ci n’est convaincante que pour ceux qui se laissent “ convertir ” à une reformulation adéquate du problème et à la philosophie des sciences alternative qui lui est associée. La plupart des penseurs contemporains résistent fortement à cette “ conversion ”. Ils préfèrent réaffirmer leur sens du mystère à propos de ce qu’ils appellent l’“ émergence ” de l’expérience consciente à partir de la matière⁹, ou bien déclarer que la science actuelle a déjà une explication disponible (par exemple dans telle interprétation exotique de la mécanique quantique), ou bien encore exprimer leur foi dans quelque progrès scientifique futur mais imprévisible qui élucidera l’énigme.

Face à cette résistance collective profondément enracinée, Francisco Varela tendait à adopter une attitude de chercheur scientifique, qui revient à prouver le mouvement en marchant. Il voulait convaincre ses pairs en démontrant que le programme de recherche neurophénoménologique est “ progressif ” au sens de Lakatos, c’est à dire qu’il produit des résultats nouveaux et inattendus susceptibles de test empirique et d’applications médicales. Dans une assez large mesure il y a réussi, et dans une plus large mesure encore il a défini des directions d’investigation qui ne font que commencer à montrer leur fécondité. Ses travaux récents sur la phénoménologie de la conscience du temps¹⁰, sur l’épilepsie¹¹, sur l’intégration à grande échelle dans le cortex cérébral¹², ou encore sur les relations causales bi-directionnelles entre expérience consciente et manifestations somatiques avaient précisément ce but.

Mais, en tant que philosophe, ma tâche est plutôt de donner un certain sens de *l’inévitabilité rationnelle* de l’issue proposée par Francisco Varela. Ce que je voudrais montrer c’est que cette issue est un paradigme auquel nul ne saurait échapper, et qu’en plus elle s’accorde remarquablement bien avec l’état présent du débat en philosophie des sciences générale et en philosophie de la physique.

D’une part, comme je l’ai suggéré au début de cet article, plusieurs des conceptions les plus répandues en philosophie de l’esprit convergent bon gré mal gré vers la dissolution proposée par Francisco Varela du “ problème difficile ”. Et d’autre part, la physique, qui est traditionnellement traitée comme le paradigme d’une science exclusivement objectivante, implique tout autant que la science de l’esprit, si l’on y regarde de près, une dialectique entre invariants et situations; entre des structures objectivées et une pluralité de sujets expérimentateurs situés (actuels ou potentiels). C’est le refus de reconnaître cela qui a suscité bon nombre des prétendus “ paradoxes ” de la mécanique quantique; des paradoxes qui ne traduisent en vérité rien d’autre qu’un conflit entre une conception étriquée de la science et une pratique couplée de l’expérimentation et du formalisme qui l’a d’emblée rendue *caduque*. À l’inverse, reconnaître pleinement que le mode de fonctionnement par dialectique d’engagement-distanciation s’étend à la physique permet d’établir un étroit parallèle structural entre les problèmes de la mécanique quantique et les problèmes de la philosophie de l’esprit. Un tel parallèle est un excellent point de départ pour établir le concept d’une *science comme si la situation comptait*, dont la *science de la conscience comme si l’expérience comptait* de Francisco Varela est un cas particulier.

⁸ F.J. Varela, “ A science of consciousness as if experience mattered ”, loc. cit., p. 41

⁹ J. Searle, *The mystery of consciousness*, op. cit.

¹⁰ F.J. Varela (1999), “ Present-time consciousness ”, *Journal of Consciousness Studies* 6, 111-140, 1999

¹¹ M. Le van Quyen, J. Martinerie, and F.J. Varela, “ Spatio-temporal dynamics of epileptogenic networks ”, In: *Peter Grassberger and Klaus Lehnertz (Eds.), Chaos in the Brain?*, pp. 86-96, World Scientific, 1999.

¹² F.J. Varela, J-P. Lachaux, E. Rodriguez, J. Martinerie, “ The Brainweb : phase synchronization and large-scale integration ”, *Nature Reviews Neuroscience* 2, 229 – 239, 2001

Commençons donc par prendre un exemple de convergence inattendue vers la dissolution proposée par Francisco Varela. Je ne parlerai pas de penseurs proches de lui, et insisterai plutôt sur des conceptions *a priori* très éloignées des siennes. Ainsi, plusieurs chercheurs soutenant des conceptions matérialistes et/ou éliminativistes manifestent une tendance de plus en plus prononcée à concevoir leurs propres thèses comme fournissant une dissolution plutôt qu'une solution du problème de l'expérience consciente. Selon eux, les sciences purement objectivantes se sont avérées si fructueuses que chacun d'entre nous devrait consentir:

- (1) À leur demande de révision de la définition même d'une explication (quitte à renoncer à des demandes explicatives traditionnelles),
- (2) À leurs critères d'arrêt de la chaîne des explications.

Un exemple intéressant est celui de Valerie Hardcastle¹³ qui met ces deux arguments tour à tour en oeuvre dans une défense subtile du matérialisme en philosophie de l'esprit contre le défi opposé par les arguments de Nagel, Jackson et Chalmers.

Dans l'esprit du premier consentement, elle affirme que la simple mise en évidence des corrélats neuronaux d'un certain compte-rendu d'expérience vécue devrait être acceptée comme explication satisfaisante de la conscience. Si un sceptique persiste à répliquer qu'une simple concomitance n'explique rien, la seule chose qu'on puisse faire est de l'aider à modifier son attitude jusqu'à ce qu'il *voie* la corrélation neuro-expérientielle *comme* une explication. Le problème est qu'un tel basculement du voir-comme ressemble plus à une expérience de conversion qu'à une oeuvre de conviction. Exactement autant que la conversion requise pour accepter (comme chez Wittgenstein ou Varela) que le problème ne se pose même pas.

La seule différence, mais elle est de taille, porte sur la symétrie ou la dissymétrie du changement d'attitude demandé. Alors que Francisco Varela demandait d'admettre que tout ce qui est requis est une relation de contrainte *réciproque* entre le versant neurologique et un versant expérientiel soigneusement cultivé, le penseur matérialiste soutient que la corrélation compte comme explication unidirectionnelle *de* l'expérientiel *par* le neuronal. La dissolution matérialiste apparaît comme une version biaisée et restreinte de celle de Francisco Varela.

Valerie Hardcastle a aussi recours au second argument, d'une façon complémentaire avec le premier : s'il faut savoir accepter ce qu'offrent les sciences comme explication, il faut aussi savoir renoncer à ce dont on rêve mais qu'elles n'offrent pas. Selon V. Hardcastle, puisque les neurosciences n'ont pas la moindre lumière sur l'émergence supposée de la conscience primaire à partir d'un substrat matériel, il faut accepter qu'elles se concentrent sur des problèmes plus à leur portée (comme par exemple les corrélats neuronaux du sommeil, de l'anesthésie, du coma, de la connaissance réflexive de soi, etc.), et qu'elles repoussent le " problème difficile " aux marges de leur champ d'investigation. Après tout, répète-t-elle, seule sa science est habilitée à définir ce qui compte et ce qui ne compte pas comme problème devant être résolue par elle. De même que la mécanique newtonienne s'est développée sur la base d'une décision de ne pas expliquer le fait qu'il y a une attraction gravitationnelle à distance, les neurosciences devraient être autorisées à avancer sur la base d'une décision de ne pas chercher à expliquer l'existence même d'une conscience primaire.

Cette dernière proposition doit selon moi être prise au sérieux. Le développement des sciences objectivantes ne doit pas (et d'ailleurs ne peut pas) être entravé par des demandes déraisonnables. Mais s'en tenir à cette simple remarque risque de restreindre indûment le terrain de l'enquête, pour au moins deux raisons. D'une part, les sciences objectivantes continuent d'opérer comme une valeur dominante de nos sociétés. Affirmer dans ces conditions que quelque chose (ici l'expérience consciente) n'est pas un thème de recherche approprié pour les sciences revient à suggérer que ce quelque chose n'est pas un thème du tout. Le risque (déjà avéré dans le passé) est en somme que la prudence épistémologique ne tourne à la dénégation ontologique. Peu de penseurs ont le courage de déclarer, comme Hilary Putnam, que l'existence de l'expérience consciente reste un mystère aussi principalement extérieur au domaine d'action des sciences objectivantes que ne l'est la

¹³ V.Hardcastle, " The why of consciousness : a non-issue for materialists ", *Journal of Consciousness Studies*, 3, 7-13, 1996

question de savoir pourquoi il y a quelque chose plutôt que rien. D'autre part, avoir admis que les méthodes des sciences objectivantes laissent en dehors d'elle le fait de l'existence de l'expérience consciente qui est pourtant présupposé tacitement par elles, n'empêche pas d'explorer des méthodes moins limitées à cet égard.

Or, c'est justement ce genre de méthode de rechange qu'a voulu promouvoir Francisco Varela. Une méthode qui ne représente en rien une régression par rapport à celle de la connaissance objective, puisqu'elle retient intégralement cette dernière en visant à la compléter par une discipline des contenus expérientiels et par une coordination interpersonnelle de ces contenus.

Pour récapituler ce point, si les matérialistes finissent par demander de renoncer à expliquer au sens fort la conscience primaire, c'est qu'elle est par construction *marginale* dans leur conception d'une nature intrinsèquement objective. Mais si Francisco Varela nous a incité à ne pas chercher quelque illusoire explication mécaniste de la conscience primaire, c'est pour une raison diamétralement opposée: parce qu'elle est tellement *fondamentale* dans sa vue située de la nature qu'elle doit être tenue pour acquise et simplement *articulée* à des invariants structuraux.

Passons à présent à la mécanique quantique, et au parallèle structural qu'elle entretient avec les questions centrales de philosophie de l'esprit.

L'aporie principale de la mécanique quantique, chacun le sait, est le "problème de la mesure". Le point de départ de cette aporie est le *principe de superposition* auquel obéissent, en mécanique quantique, ce qu'il est convenu d'appeler les "états d'un système physique". Dire en quoi consiste ce principe de superposition en n'employant que le langage courant n'est pas facile, mais on peut essayer de le faire en suivant la formulation de Paul Dirac. Selon lui, "Quand un état est formé par la superposition de deux autres états [par exemple deux états propres d'une observable¹⁴], il a des propriétés qui sont de quelque façon vague *intermédiaires* entre celles des deux états originaux"¹⁵. Pourtant, ces propriétés vaguement intermédiaires ne sont jamais celles qui sont mesurées. Les seules qui peuvent apparaître comme résultats sont l'une *ou* l'autre de celles qui sont associées aux états propres de l'observable, avec des *probabilités* dépendant de leur pondération dans la superposition. Il semble donc que la mesure ait forcé l'état du système à coïncider avec l'un *ou* l'autre des deux états propres, alors qu'au départ il en était une sorte de mélange. Ce forçage présumé par la mesure est exprimé, depuis Von Neumann, par le postulat de réduction de l'état.

Mais s'il en va ainsi, un compte-rendu suffisamment détaillé de la mesure devrait permettre de retrouver la réduction de l'état comme simple conséquence de l'interaction physique en quoi elle consiste, plutôt que d'avoir à imposer de l'extérieur un *postulat* de réduction. Et puisque la mécanique quantique est la théorie physique la plus avancée à ce jour, il faut élaborer un compte-rendu quantique du processus de mesure. Malheureusement, au lieu de résoudre le problème posé, au lieu de montrer comment la mesure réduit l'état, la théorie quantique de la mesure élaborée par Von Neumann n'a fait que propager de proche en proche les effets du principe de superposition. Tandis que seul l'état du système microscopique avait des propriétés vaguement intermédiaires entre deux états propres d'observables, c'est à présent l'état des appareils de mesure macroscopiques, pour ne rien dire de l'état d'un Chat de Schrödinger, qui a acquis ce genre de propriétés vaguement intermédiaires.

Bien des discussions ont suivi l'énoncé de ce paradoxe il y a environ 70 ans. Bien des tentatives ont été conduites pour le désamorcer sans abandonner la conception classique, causale, descriptive, et désengagée, des théories physiques. Mais aucun de ces essais n'a donné toute satisfaction. Les théories de la décohérence elles-mêmes sont plus près d'avoir redéfini le problème de la mesure de façon à le rendre traitable, que de l'avoir résolu sous sa forme initiale.

¹⁴ Cette précision a été rajoutée.

¹⁵ P.A.M. Dirac, *The principles of quantum mechanics*, Oxford University Press, 1958, p. 13

Essayons donc de mieux cerner ce qui rend le problème de la mesure si résistant. En quelques mots, cette résistance vient de ce que la théorie quantique présuppose un niveau méta-théorique de discours valant pour les processus d'échelle macroscopique se déroulant au laboratoire, et que ce niveau se laisse difficilement récupérer par la théorie elle-même. La mesure, il ne faut pas l'oublier, est ce qui sert à tester la théorie, et donc à établir une sémantique de valeurs de vérité pour elle. Les résultats de mesure, quant à eux, sont ce à propos de quoi la mécanique quantique nous permet de calculer des probabilités. L'un et l'autre sont statutairement maintenus hors du champ théorique, parce qu'elles sont une condition préalable pour la formulation de la théorie.

A vrai dire, une telle couche à la fois méta- et pré-théorique est requise par toute théorie. Mais pourquoi cela pose-t-il un problème en physique quantique, alors que cela n'en a jamais posé en physique classique ? Parce qu'en physique classique, rien n'empêchait d'exprimer les contenus méta-théoriques dans un cadre conceptuel isomorphe à celui de la théorie. D'un côté, les invariants de la théorie étaient des propriétés d'objets. De l'autre côté, en parfaite conformité avec cette typologie d'invariants de la théorie, les appareils de mesure étaient des objets dotés de propriétés, et les résultats de mesure se présentaient comme propriétés des appareils à la suite de l'opération de mesure. En mécanique quantique, par contre, les seuls invariants généraux de la théorie sont des symboles fournissant des prédictions probabilistes pour des résultats de mesure constatables au niveau macroscopique, et non pas des propriétés microscopiques. Si l'on veut malgré cela inscrire le plan méta-théorique des appareils et de la mesure dans le cadre conceptuel de la théorie, on ne peut le faire qu'en termes de symboles prédictifs, et non pas en termes de propriétés. Mais ces nouveaux symboles prédictifs n'ont de sens que si l'on admet qu'ils fournissent des probabilités pour des résultats d'autres mesures, c'est-à-dire pour les propriétés des appareils de deuxième ordre permettant de faire des mesures sur les appareils précédents de premier ordre. Et ainsi de suite. En essayant de plonger la méta-théorie dans le cadre théorique, on ne fait en vérité qu'amorcer une régression à l'infini dont le terme provisoire est toujours, bon gré mal gré, un élément descriptif extra-théorique. Impossible par conséquent de résorber complètement les catégories méta-théoriques de mesure, de résultat, d'appareil, dans celles, intra-théoriques, de vecteurs d'état, d'observables, etc. On ne peut éviter en mécanique quantique de laisser coexister deux séries chronologiques distinctes : la série discontinue des résultats de mesure, traités comme propriétés d'appareils macroscopiques, et la série continue des fonctions d'état.

D'après ce qui vient d'être dit, le rapport entre ces deux séries n'est pas celui de deux sortes d'entités ontologiquement distinctes. Il n'est pas davantage celui de deux manières, éventuellement réductible l'une à l'autre, de décrire une seule et même entité. Il est celui d'un parallèle entre d'une part des énoncés utilisables lorsqu'on *s'inscrit effectivement* dans certaines situations expérimentales, à une échelle qui est celle de l'homme, avec des buts et des intérêts qui sont ceux de l'homme, et d'autre part le compte rendu de l'évolution d'un instrument prédictif utilisable *quelle que soit la situation expérimentale* qui *pourrait* être adoptée. D'un côté le discours véhiculaire d'une activité expérimentale incarnée, localisée, et de l'autre le symbolisme désincarné employé pour l'anticipation probabiliste des résultats de n'importe quelle activité de cette sorte. D'un côté le situé, et de l'autre l'inter-situationnel. L'analogie avec le problème central de la philosophie de l'esprit est manifeste. Les deux séries sont ici d'un côté celle de l'expression de l'expérience en première personne, ou du partage des intentions en deuxième personne, et d'un autre côté celle de la description en troisième personne des comportements ou des processus cérébraux. Ces deux séries se voient couramment rapporter: tantôt (dans le dualisme) à deux entités ontologiquement distinctes, tantôt (dans divers monismes, matérialistes ou autres) à une seule et même entité qu'elles traduiraient de deux manières différentes.

Mais selon une perspective tant wittgensteinienne que neurophénoménologique au sens de Francisco Varela, il s'agit là de manières biaisées, parce que l'une comme l'autre désengagées, de caractériser le rapport entre l'expressif en première personne et le descriptif en troisième personne. Tout se passe comme si l'on voulait décrire le rapport entre point de vue en première personne et point de vue en troisième personne en adoptant un point de vue encore plus en troisième personne, encore plus affranchi de toute attache dans un contexte intellectuel ou collectif, que le second. C'est là manquer l'essentiel. Car des deux séries discursives parallèles, la première cherche en vérité à traduire le fait même de l'engagement d'acteur, le fait de l'être-en-situation. Quant à la seconde, si elle accomplit un projet d'affranchissement à l'égard de la particularité des

situations, c'est en restant fermement ancrée en tant que projet, en tant que visée et qu'intention, dans la situation même qu'elle cherche à dépasser.

En philosophie de la physique comme en philosophie de l'esprit, l'usage persistant de deux séries discursives parallèles est le moyen par lequel on parvient à traduire les limites, inévitables, du projet d'objectivation. En philosophie de l'esprit, la limite du projet d'objectivation pourrait s'identifier à ce que Husserl appelait le champ de la conscience pure, puisque d'un côté ce champ n'est pas détachable du fait d'être vécu, et que d'un autre côté il est la condition de possibilité de la constitution de cette grande unité intentionnelle objectivée qu'on appelle *la nature*. En philosophie de la physique quantique, la limite s'identifie au phénomène au sens de Bohr, puisque d'un côté ce phénomène n'est pas détachable des conditions expérimentales de sa manifestation, et que d'un autre côté il est présupposé par les structures objectivées de la théorie quantique qui offrent des prédictions *à son propos*.

Il apparaît ici encore que si la physique contemporaine a à donner une leçon aux sciences de l'esprit, ce n'est pas celle du succès d'un compte-rendu complètement atopique et décentré; c'est au contraire celle d'une articulation involontairement réussie entre le topique et l'atopique, entre le plein investissement d'une situation performative et la capacité à en abstraire des traits suffisamment généraux pour s'en servir à des fins d'anticipation. Personne, parmi les spécialistes des sciences de l'esprit ne devrait se plaindre de cette façon qu'a la physique de manquer à sa réputation. Car le nouveau canon méthodologique qu'elle propose est infiniment plus riche, et plus naturellement transposable aux questions de sciences de l'esprit, que ne l'était le canon classique. La science du vingtième siècle a somme toute été le théâtre d'une sorte de chassé-croisé: le modèle épistémologique des sciences physiques s'est approché de celui des sciences de l'esprit, au moment même où les sciences de l'esprit espéraient se rattacher au modèle épistémologique antérieur des sciences physiques. Le vingt-et-unième siècle devrait être celui d'une convergence des deux familles de sciences vers l'unité d'une méthodologie élargie, articulant (sans les fondre) des moments d'objectivation et des procédés de réciprocité inter-subjective.

ARTICLE EXTRAIT DE :
AUTONOMIE ET CONNAISSANCE

Par Francisco VARELA
 Editions du Seuil

Chapitre1 : HISTOIRE NATURELLE DE LA CIRCULARITE

Une main surgit du papier, avançant à tâtons vers un monde plus vaste (*fig. 1*). Son mouvement pour sortir de la surface plane nous paraît désespéré, et pourtant elle y replonge, ébauchant sa propre émergence de la feuille blanche. Deux niveaux se sont enchevêtrés, entrecroisés, et une boucle s'est refermée. Dans ce cas, ce que nous voulions tenir pour deux niveaux distincts se révèle inséparable et une impression de paradoxe apparaît.

Habituellement, de telles éventualités s'appellent des cercles vicieux ; ils sont précisément considérés comme ce qu'il faut éviter. Je suggère, au contraire, que ces cercles ont des vertus créatrices. Dans leur apparente étrangeté, ce sont des clefs pour la compréhension des systèmes naturels et des phénomènes cognitifs. Je propose ici quelques exemples dans ce monde des boucles étranges, à partir de trois perspectives fondamentales, empirique, formelle et épistémologique.

1. La perspective empirique

Dans la gravure d'Escher, nous voyons que chaque main dessine l'autre. Ainsi, elles spécifient mutuellement les conditions de leur production. Cette spécification réciproque les fait émerger de l'arrière-plan comme entité séparée du reste du dessin.

De telles *unités*, se constituant comme distinctes de leur environnement, se rencontrent dans notre expérience ordinaire du vivant. Depuis l'Antiquité, le terme *d'autonomie* s'utilise pour désigner cette observation. Quand je vois un chien changer soudainement de direction pour venir vers moi, je lui attribue généralement l'intention de me rencontrer. La validité de cette attribution me semble moins intéressante que la tentative elle-même d'imputer une intention au chien, sur la base de ce qu'il fait. Ainsi, il est difficile de rendre compte de son (p 19) comportement, à moins d'observer que le chien reçoit les informations en provenance de son environnement, non comme des instructions, mais comme des perturbations qu'il interprète et soumet à ses mécanismes d'équilibration interne. C'est cette propriété particulière que nous appelons autonomie. De fait, lorsque ma voiture ne démarre pas un matin, je n'essaie pas de dire qu'elle me veut du mal, je conçois que cette machine a été faite par l'homme et qu'une telle imputation est impossible.

Le contraste aigu entre les systèmes vivants, dotés d'autonomie, et bien d'autres systèmes naturels et artificiels a fasciné les biologistes depuis Aristote jusqu'au XIX^e siècle, et seule l'extrême diversité de la vie a engendré un étonnement comparable (Schiller 1978).

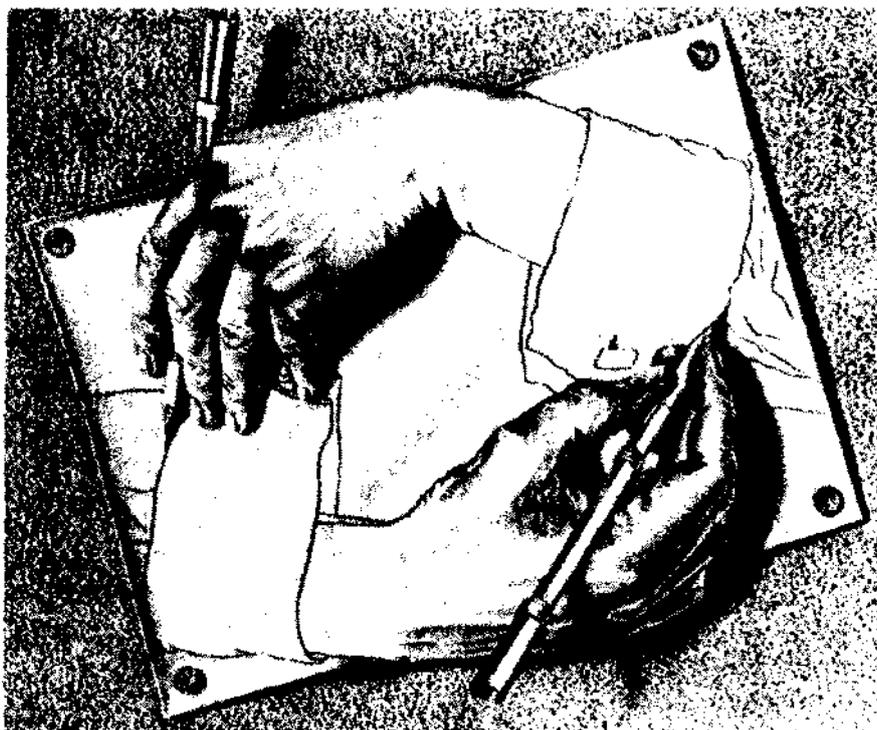


FIGURE 1 M. C.
Escher, *Mains dessinant*.

Puis le thème de l'autonomie a peu à peu disparu dans le brouillard du non-dit avec l'apparition de la génétique et de la biologie moléculaire dans le courant de ce siècle ; parallèlement, les sciences de la conception et de l'ingénierie se sont développées rapidement, entraînant l'essor de la cybernétique et de la théorie de la commande.

Comme conséquence, il est devenu difficile de penser les systèmes vivants en terme d'autonomie, et même de reconnaître que ce nom recouvre quelque chose de précis. La commande, qui est l'envers conceptuel de l'autonomie, peut certainement être vue comme un concept exact ; mais il n'en va pas de même de l'autonomie.

Il n'y a, bien sûr, guère plus de mystère intrinsèque dans l'autonomie que dans la commande. Il suffit de voir que l'autonomie est une expression d'une forme particulière de *processus*, abondamment rencontrée dans la nature. La gravure d'Escher, où des parties se spécifient l'une l'autre, représente précisément un processus de cette forme.

Dans le domaine moléculaire, c'est à travers ce type de processus que la vie se spécifie elle-même et acquiert sa propriété d'autonomie. Une cellule émerge de la soupe moléculaire en définissant et en spécifiant la frontière qui la distingue de ce qu'elle n'est pas. Toutefois, cette spécification des frontières se fait à travers des productions de molécules, qui nécessitent la présence même de ces frontières, il y a donc une spécification mutuelle des transformations chimiques et des frontières physiques. La cellule surgit elle-même de l'arrière-plan homogène ; si le processus d'autoproduction s'interrompt les composants cellulaires cessent de former une unité et retournent à la soupe moléculaire homogène (Maturana et Varela 1980).

La chaîne des opérations se referme, produisant une *clôture opérationnelle*, où les résultats de la production se retrouvent au même niveau que les agents de la production : avec une telle organisation, les distinctions habituelles entre le producteur et le produit, le début et la fin ou encore rentrée et la sortie, cessent d'avoir tin sens.

On sait peu de choses sur l'origine des cellules ; mais des résultats récemment acquis (Eigen et Schuster 1979) sont compatibles avec le concept, juste esquissé ici, de clôture comme condition nécessaire.

A partir du moment où de telles unités autonomes sont apparues, tout un nouveau domaine a pu être engendré, celui de la vie telle que nous la connaissons aujourd'hui. Sur le thème fondamental des boucles étranges dans les productions moléculaires, beaucoup de variations peuvent être jouées, avec, pour résultat, une multitude de cellules différentes.

En fait, il est possible que les cellules actuelles soient apparues comme symbioses d'unités préexistantes elles-mêmes autonomes, dont les mitochondries, les chloroplastes et d'autres organelles constituent aujourd'hui de vagues réminiscences (Margulis 1980). Or, même aujourd'hui, les algues et les champignons s'associent pour former un lichen. Ces cellules peuvent interagir pour constituer de nouvelles unités autonomes; tous les organismes multicellulaires apparaissent au cours de semblables circonstances.

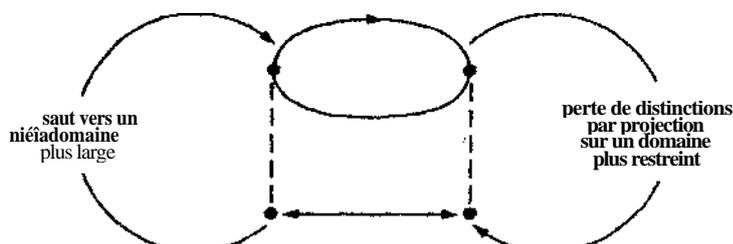
Dans de tels cas, le phénomène essentiel est toujours le même : la clôture opérationnelle d'éléments situés à des niveaux séparés produit un enchevêtrement des niveaux pour constituer une nouvelle unité. Quand l'enchevêtrement cesse, l'unité disparaît l'autonomie surgit à cet entrecroisement, l'origine de la vie n'est pas le moindre exemple de cette loi générale.

2. La perspective formelle

«Donne une fausseté si précédée d'elle-même entre guillemets» donne une fausseté si précédée d'elle-même entre guillemets. Cette proposition en forme de paradoxe (Quine 1971) est une bonne façon de présenter une difficulté présente depuis longtemps en linguistique et en mathématique. En fait, depuis qu'Épiménide le Crétois a eu l'idée curieuse de dire : « Cette phrase est fausse », l'autoréférence a été un casse-tête permanent (Hugues et Brecht 1975 ; Hofstadter 1979). Les phrases de Quine et d'Épiménide violent explicitement la règle suivante : une phrase ne doit pas parler d'une partie d'elle-même. Leur caractère étrange jaillit de cette violation.

Ces complications linguistiques ont un air de ressemblance avec les gravures d'Escher comme avec l'émergence de l'autonomie cellulaire. Deux niveaux, qui sont ici des niveaux de compréhension, devraient rester séparés ; mais ils s'entrecroisent et se confondent pour n'en former qu'un seul.

Curieusement, ce qui semblait complexe mais compréhensible dans le domaine moléculaire acquiert un caractère paradoxal dans le domaine linguistique. Il y est plus difficile d'abandonner le besoin de rester à un niveau de compréhension et de regarder simplement l'énoncé entier comme une unité. Un paradoxe est exactement ce qui ne peut être compris sans aller au-delà des deux niveaux enchevêtrés dans la structure de ce paradoxe. Les phrases de Quine et d'Épiménide demeurent des paradoxes, à moins d'abandonner le besoin de choisir entre le vrai et le faux et de regarder la circularité de l'énoncé comme un moyen propre à spécifier sa signification. Alors, l'énoncé prend pied dans un domaine plus large, et ne redevient contradictoire que projeté dans le domaine plus plat du vrai et du faux.



La preuve la plus intéressante et la mieux connue de la richesse du concept d'autoréférence dans les langages formels et les mathématiques est peut-être le théorème de GÖDEL que je vais utiliser pour tirer quelques conséquences supplémentaires de l'idée de clôture.

L'esprit du théorème de GÖDEL est à nouveau bien illustré par la gravure d'Escher. GÖDEL et d'autres mathématiciens de son époque cherchaient à savoir si les langages formels étaient capables de parler d'eux-mêmes. Dans ce but, il s'est intéressé aux langages formels qui contiennent au moins l'arithmétique. A ce point du raisonnement, les nombres ne sont pas des théorèmes mathématiques ; ce sont des objets mathématiques appartenant au langage de l'arithmétique. Le génie de GÖDEL fut d'entrecroiser ces deux niveaux, le langage formel et les nombres eux-mêmes, dans une boucle étrange : il établit une correspondance entre chaque symbole du langage et un nombre, de telle sorte qu'une chaîne de symboles (un théorème à propos de nombres) puisse aussi correspondre à un nombre. Les détails de la démonstration (Nagel et Newman 1965) n'ont guère d'intérêt ici, mais seulement l'esprit général de la construction de GÖDEL.

A partir du moment où l'entrecroisement des domaines est bien établi, il est aisé de produire un énoncé circulaire comme celui de Quine. Dans le cas de GÖDEL, un tel énoncé prend la forme suivante : «Je ne suis pas un théorème. » L'existence d'un tel énoncé montre que tous les systèmes formels assez riches pour contenir les nombres et l'arithmétique contiennent des expressions bien formées dont on ne peut décider si elles sont ou non un théorème : on dit que ces systèmes formels sont *indécidables*.

Cette indécidabilité au cœur des mathématiques a produit une vague d'insatisfaction chez les mathématiciens. De notre point de vue, il est possible de comprendre le résultat de GÖDEL non comme une limitation mais comme une nouvelle illustration de la façon dont une clôture peut conduire à la constitution d'un domaine autonome : de l'arrière-plan, une unité émerge et spécifie un domaine plus large. Dans le cas de GÖDEL, dès que la boucle se referme et que les niveaux s'enchevêtrent, nous avons l'émergence d'une nouvelle unité dans l'univers linguistique. La similarité avec le domaine biologique est frappante.

Considérons un moment *l'intérieur* de chacune de ces boucles étranges. Dans le cas d'Épiménide, si nous supposons l'assertion vraie, alors elle est conséquemment fausse ; si elle est fausse, alors elle doit être vraie. Sa structure profonde produit une oscillation entre des parties initialement séparées :

E (= « cette phrase est → E doit → E doit → E doit
fausse ») est vrai être faux être vrai

Dans le cas de la cellule, on peut développer le cercle et obtenir aussi une suite infinie :

une membrane → des métabolites → une membrane → ...
est formée sont produits est formée

Dans une unité munie d'une clôture opérationnelle, un comportement *cohérent* et bien *distinct* présente, en fait, une nature particulière : d'un côté, il apparaît comme une opération de l'unité ; de l'autre côté, quand on tente d'examiner l'origine d'une telle opération, on ne trouve rien d'autre qu'une itération infinie de cette opération ; elle ne commence nulle part et ne finit nulle part. La cohérence est, non pas localisée, mais *distribuée* à travers un cercle toujours recommencé, infini dans sa circulation, mais néanmoins fini dès qu'on regarde ses effets ou résultats comme une propriété de l'unité.

On peut encore donner une illustration plus tangible de la même idée : considérons un triangle ; partageons chaque côté en trois de façon à produire une étoile de six sommets (*fig. 6*) ; prenons chaque côté de l'étoile et partageons-le de la même façon.

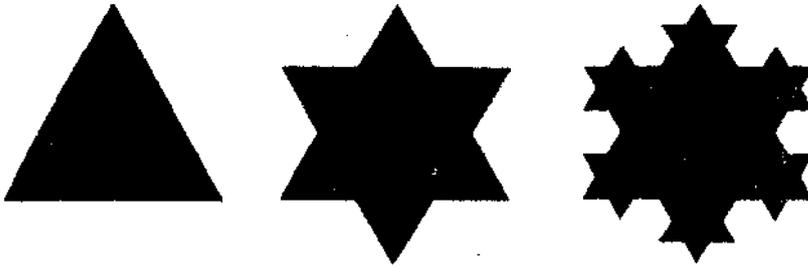


FIGURE 6

25

Répetons le processus à *l'infini* (*fig. 7*). La figure résultante, semblable à un cristal de neige, est d'emblée compréhensible. Comme forme, elle a une cohérence. Pourtant, ce que nous percevons est semblable à une figure mythique, jamais totalement décrite, mais seulement limite d'une itération infinie. A cause de leur dimension fractionnaire, de telles figures sont appelées des *fractals* (Mandelbrot 1978).

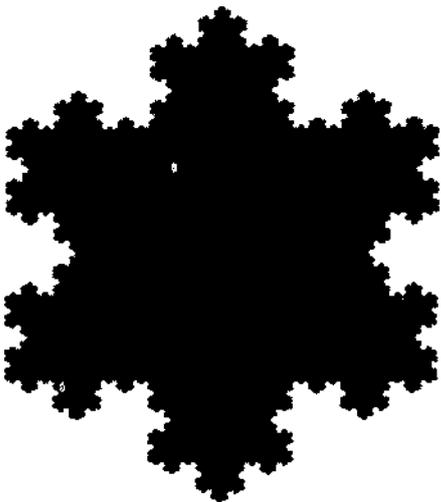


FIGURE 7

Avec l'exemple d'un fractal, on a tous les ingrédients, sous forme visuelle, pour voir comment la clôture d'un processus peut conduire :

a) à une cohérence, toujours distribuée et jamais totalement présente mais compréhensible comme figure « mythique » ;

b) à des propriétés émergentes au niveau de l'unité, qui ne résultent pas de la simple addition des propriétés des composants qui participent au processus.

3. La perspective cognitive

On a développé deux cas, celui de la cellule et du vivant d'une part, et celui des systèmes formels et de l'indécidabilité d'autre part, où la clôture opérationnelle engendre tout un nouveau domaine par l'action, apparemment innocente, d'une boucle se refermant sur elle-même. Maintenant, il faut faire un pas supplémentaire dans notre examen de l'histoire de la circularité, et explorer un autre cas fondamental, où le concept de clôture modifie complètement le paysage : notre *propre* description, notre *propre* activité cognitive.

En fait, quand nous considérons notre propre activité cognitive, on retrouve l'essentiel de ce qui a été exposé dans les deux précédents cas. D'un côté, nos processus mentaux reposent sur un substrat biologique ; de l'autre côté, nos descriptions sont parfaitement capables d'autodescriptions à une infinité de niveaux. Dans le système nerveux, ces deux modes de clôture sont surimposés pour constituer la plus secrète et la plus insaisissable de toutes nos expériences : nous-mêmes.

Il apparaît que le système nerveux est une partie de notre unité biologique et unité elle-même autonome. Ce qui est moins apparent, c'est que le système nerveux est bouclé sur lui-même de différentes manières.

Tout d'abord, il n'y a pas d'action (sur la motricité, sur la sécrétion glandulaire...) du système nerveux qui n'ait un effet direct à la périphérie sensorielle. De même qu'un neurone agit sur un autre par apposition de leur surface dans une synapse, de même un ensemble de muscles agit sur le système sensoriel à travers des synapses sensori-motrices. Une réaction du genou se produit parce que le tendon est étiré, que les propriocepteurs subissent une traction et que l'activité des neurones de la moelle épinière se modifie, conduisant les muscles à se contracter dans une direction opposée à la traction. Les actions motrices ont des conséquences sensorielles, et les actions sensorielles ont des conséquences motrices.

Mais il y a encore un autre aspect essentiel dans lequel le système nerveux présente une clôture opérationnelle. Quand on franchit le seuil du système sensoriel ou du système moteur, les effets de tels organes sur le système nerveux ne sont pas univoques ; la situation ressemble davantage aux interactions agitées à la Bourse des valeurs. Par exemple, si nous suivons l'activité d'une seule fibre nerveuse depuis la rétine jusqu'au cortex cérébral, nous trouvons une centaine d'autres fibres aboutissant au même endroit et provenant de l'ensemble du cerveau.

Ainsi, l'activité de la rétine ne module que partiellement ce qui se produit dans l'enchevêtrement des neurones.

Mais il y a plus encore. Même si l'impulsion électrique voyage dans une seule direction sur l'axone d'une cellule, bien d'autres substances chimiques voyagent dans la direction inverse : de la sorte, les routes, dans le système nerveux, sont toujours à deux voies. Par exemple, des métabolites de régulation peuvent se former à l'extrémité de l'axone, traverser le corps de la cellule et franchir une synapse pour agir sur un précédent neurone, tout en respectant le flux électrique. Dans le système nerveux, bien d'autres effets semblables commencent juste à être recensés (Dismukes 1979).

Avec ce point de vue sur le système nerveux, nous regardons un comportement comme la manifestation d'une certaine *cohérence* obtenue par la clôture de toutes les matrices d'interconnexion. On peut analyser cette cohérence en séparant le processus dans ses différentes parties : on peut partir de la vision, considérer tous les chemins qui conduisent de l'œil au cortex, puis du cortex au thalamus et au cerveau primitif; ces chemins vont finir par se recroiser et, ensuite, on boucle indéfiniment. Comme pour l'image du fractal, un comportement est assimilable à la figure mythique d'un processus infiniment récurrent.

4. Sujet/objet

Si nous voulons rester cohérent avec ce qui vient d'être dit sur le système nerveux, nous devons adopter le même point de vue au sujet de notre propre expérience. Et, dans ce cas, deux conséquences majeures sont à considérer.

Tout d'abord, nous ne pouvons pas *sortir* du domaine spécifié par notre corps et notre système nerveux. Il n'y a pas d'autre monde que celui formé à travers les expériences qui s'offrent à nous et qui font de nous ce que nous sommes. Nous sommes nous-mêmes enfermés dans un domaine cognitif dont nous ne pouvons nous échapper.

Ensuite, nous ne pouvons pas remonter, d'une manière unique, les traces d'une expérience donnée jusqu'à son *commencement*. Chaque fois que nous essayons de trouver l'origine d'une perception ou d'une idée, nous nous trouvons nous-mêmes replongés dans une sorte de fractal, s'ouvrant sans fin sur d'autres détails et de nouvelles interdépendances. C'est toujours la perception de la perception d'une perception... ou la description de la description d'une description... Nulle part, nous ne pouvons jeter l'ancre et dire : « C'est ici que cette perception prend son origine. »

En découvrant le monde comme nous le faisons, nous oublions tout ce que nous avons fait pour le trouver tel qu'il est. Comme le jeune homme de la « galerie de tableaux » d'Escher nous voyons un monde qui devient le véritable substrat qui nous façonne : la boucle se referme, aucune échappatoire n'est possible ; et, si nous essayons d'en sortir, nous sommes nous-mêmes conduits vers un cercle sans fin, s'évanouissant à l'intérieur d'un espace vide en plein centre de la gravure.

La tradition ¹⁶ suggère que l'expérience relève, soit de l'objectivité, soit de la subjectivité : dans ce cas, le monde existe en soi et nous le voyons comme il est ; dans l'autre cas, nous ne le percevons qu'à travers notre subjectivité. En revanche, si nous suivons le fil conducteur de la circularité, nous pouvons aborder cette question embarrassante d'un point de vue différent où participation et interprétation, sujet et objet sont inséparablement mêlés.

Avec cette interdépendance, on ne peut accorder un pur avantage ni à l'un ni à l'autre, et, quel que soit mon point de départ, il ressemble à un fractal qui reflète justement ce que je suis en train de faire : le décrire. Suivant cette hypothèse, notre relation au monde se fait comme dans un miroir, qui ne nous dit ni ce qu'est le monde, ni ce qu'il n'est pas. Il révèle seulement qu'il est possible d'avoir notre manière d'être et notre façon d'agir, et qu'ainsi notre expérience est viable.

Cette plasticité du monde, ni subjective ni objective, ni une et séparable, ni double et inséparable, peut fasciner. Elle attire l'attention à la fois sur la *nature* du processus comme sur les *limites* fondamentales à notre compréhension du monde et de nous-mêmes. Elle montre que la réalité n'est pas vraiment construite à partir de notre imaginaire ; cela supposerait de choisir, pour point de départ, notre monde interne.

Elle signifie aussi que la réalité ne peut être comprise comme une donnée prédéterminée ; cela fournirait, comme autre point de départ, le monde externe. Elle implique, de fait, que notre expérience ne repose sur *aucun fondement*, mais que nos interprétations proviennent de notre histoire commune d'êtres vivants et d'individus sociaux. De l'intérieur de ces zones de consensus, nous vivons une métamorphose, apparemment sans fin, d'interprétations succédant à des interpréta-

¹⁶ On fait référence ici à la tradition dominante. Il existe différentes traditions alternatives, comme, par exemple, la phénoménologie

tions.¹⁷

Tout cela peut nous amener à comprendre que l'idéal d'objectivité comme élimination progressive de l'erreur par touches successives est, selon les critères scientifiques eux-mêmes, une chimère.

Nous ferions mieux d'accepter complètement cette situation plus difficile et notablement différente d'une existence dans un monde où personne ne peut revendiquer une compréhension de nature universelle. Le monde du vivant, la logique de l'autoréférence et toute l'histoire naturelle de la circularité devraient nous dire que la tolérance et le pluralisme, un détachement de nos propres perceptions et valeurs qui laisse une place à celles des autres sont, et le véritable fondement de la connaissance, et son point d'achèvement. Ici, les actes valent mieux que les mots.

¹⁷ J'ai trouvé l'expression philosophique la plus achevée de cette conclusion dans l'école Madhyamika de philosophie indienne du Moyen âge. On peut consulter à ce sujet l'introduction de F. Streng (Streng 1967)

PAS DE PANACÉE POUR RÉDUIRE LES ÉMISSIONS DE CO₂

LUNDI 19 SEPTEMBRE 2005

ENERPRESSE N° 8910 GROS PLAN Valéry Laramée

La première journée du colloque organisé par l'IFP, le BRGM et l'Ademe l'a montré : capture et séquestration ne sont pas les seules options dont nous disposons pour réduire notre impact climatique. En voici le catalogue raisonné.

Réduction des émissions et stockage géologique du CO₂. L'intitulé du colloque aurait pu le laisser penser : la capture et la séquestration seraient les seules réponses aujourd'hui disponibles pour réduire l'impact climatique de notre société. Entre 2000 et 2050, révèle une récente étude du Club d'Ingénierie Prospective Energie-Environnement (CLIP), les émissions mondiales de CO₂ devraient atteindre 877 gigatonnes (Gt), dont 483 Gt « récupérables » et éventuellement injectables dans le sous-sol. Principalement, les rejets des grandes installations fixes, tels ceux des centrales électriques, les raffineries ou des aciéries. Hélas, il n'existe, pour l'heure, aucune solution de séquestration des émissions des bâtiments ni celles des véhicules (terrestres, marins ou aériens). « Et les transports représentent environ un quart des émissions anthropiques de gaz carbonique », souligne Jean-Claude Gazeau, président de la MIES.

« La capture et le stockage ne sont pas la panacée, mais c'est une partie de la solution », reconnaît d'ailleurs Olivier Appert, président de l'IFP. Une solution limitée aussi par la géologie. Surtout si l'on souhaite injecter le CO₂ indésirable dans des gisements d'hydrocarbures. Une centrale au charbon de 1 000 MW émet environ 6 Mt de gaz carbonique par an. « Or, précise Robert Sokolow de l'université de Princeton, il n'y a que 80 gisements pétroliers capables de stocker de tels volumes. » D'autant que le nombre de centrales thermiques est important : 4 942, selon le dernier décompte du GIEC (cf. Enerpresse n°8909). Il faudra donc trouver autre chose.

C'est d'ailleurs l'avis de Dominique Dron, professeur à l'École des Mines de Paris. « Nous pouvons arriver à diviser par quatre nos émissions de gaz carbonique, car nous avons de nombreuses pistes d'amélioration », juge l'ex-présidente de la MIES.

« Les technologies dont nous disposons aujourd'hui, précise l'ancienne chef de la cellule de prospective et de stratégie du ministère de l'environnement, nous permettent d'ores et déjà de réduire d'un facteur 2 nos rejets. Nous avons 10 à 15 ans devant nous pour mettre au point d'autres technologies, comme le stockage de l'électricité ou la production et la distribution de l'hydrogène, qui nous permettront d'atteindre le facteur 4. »

Une évidence bien comprise à Bruxelles. Philippe Déchamp, de la Direction de la recherche rappelle que « le 7^e PCRD mettra 2 951 Me sur les projets liés à l'énergie, soit deux fois plus que dans le 6^e plan. » Les technologies destinées aux électriciens ou aux raffineries sont connues : oxy-combustion, séparation des gaz, capture en pré-combustion. La gazéification ne semble pas, en revanche, recueillir tous les suffrages. « Son rendement n'est pas suffisant et cela reste très complexe », avance Lars Stromberg de Vattenfall. Pour les transports, la stratégie carbonique est tout autre. « Nous avons plusieurs outils, annonce Alain Morcheoine, le directeur de l'air, du bruit et de l'efficacité énergétique de l'Ademe : les carburants, jouer sur les modes de transport les moins émetteurs et l'organisation générale de la société. » Pour les véhicules légers, les constructeurs travaillent sur le « Stop and go », qui coupe le moteur à l'arrêt ; la réduction des cylindrées ; l'amélioration de l'alimentation. À plus lointaine échéance, on peut imaginer une banalisation des véhicules hybrides. Beaucoup plus loin encore viennent les véhicules électriques qui doivent encore faire leurs preuves, « même

si avec les nouvelles batteries ion-lithium, la peur de la panne est devenue évanescence », estime-t-il.

Les carburants sont eux aussi pléthoriques. « Les biocarburants sont intéressants car le bilan CO₂, du champs à la roue est positif », estime A. Morcheoine. Ce n'est pas forcément le cas de l'hydrogène ou des carburants de synthèse, dont l'écobilan peut (ou non) se révéler désastreux selon leur mode de production, nucléaire ou thermique. « Si nous voulions passer tout notre parc automobile à l'hydrogène propre, nous devrions, soit doubler notre parc électronucléaire, soit planter 320 000 éoliennes, soit installer 8 800 km² de panneaux photovoltaïques. » Et si le choix se porte vers les biocarburants, toutes les surfaces agricoles du pays seront plantées en végétaux à carburants. « Manger ou conduire, il faudra choisir », pour l'expert de l'Ademe. Mais la technologie ne sera pas tout. Certaines réponses passeront par un changement de nos habitudes plutôt que par des années de bancs d'essai. « En Suisse, explique Peter Wiederkehr du ministère autrichien de l'environnement, une expérience de partage de voitures (car sharing) mobilise 60 000 personnes, qui utilisent 1 800 véhicules. Grâce à cette organisation, les gens roulent 20% de moins en voiture et émettent, 60% de CO₂ en moins lors de leurs déplacements. » Bref, résume L. Stromberg : « il n'y a pas de silver bullit. Sinon, on le saurait et on l'utiliserait ». Un éloge de la diversité.

SPÉCIAL SÉQUESTRATION DU CO₂ CAPTURE ET SÉQUESTRATION : UNE SOLUTION QUI POSE BEAUCOUP DE QUESTIONS

Valéry Laramée de Tannenberg

JEUDI 15 SEPTEMBRE 2005 ENERPRESSE N° 8908

A quelques semaines de la publication officielle du premier rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) sur la capture et le stockage du gaz carbonique, l'Institut français du pétrole (IFP), le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM) et l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe) organisent, aujourd'hui et demain, le second grand colloque international français sur ce sujet. Encore objet de moult polémiques, la capture et la séquestration apparaissent désormais comme l'une des solutions pour atténuer l'impact climatique de nos sociétés. À condition de résoudre les nombreux problèmes qui se posent encore aux chercheurs et aux industriels.

État des lieux.

De quoi s'agit-il ?

La capture et la séquestration du carbone (CSC) est l'expression désignant l'ensemble des opérations permettant de séparer le CO₂ des émissions anthropiques de gaz, de le transporter et de l'injecter dans le sous-sol, afin de ne pas accroître la concentration de l'atmosphère en gaz à effet de serre. Encore expérimentale, cette solution apparaît de plus en plus comme incontournable. En effet, la plupart des scénarii énergétiques annoncent une forte augmentation de la demande en énergie. Une énergie qui sera encore, du moins à l'horizon de 2020-2030, majoritairement produite (au moins 80%) par des hydrocarbures. Entre 2000 et 2050, révèle une récente étude du CLIP, les émissions mondiales de CO₂ devraient atteindre 877 gigatonnes (GT), dont 483 GT "récupérables". Les pays industrialisés ayant pour ambition de limiter le réchauffement climatique, il est donc indispensable d'empêcher des

volumes toujours plus importants de gaz carbonique de rejoindre l'atmosphère. D'où l'idée de le capter pour l'injecter dans des structures géologiques profondes et étanches.

Le potentiel de stockage de la planète

A priori, le sous-sol de la planète peut largement absorber nos émissions de carbone. Pour pouvoir être stocké durant de très longues périodes, le carbone doit être séquestré à l'état liquide, voire supercritique. Ainsi, il occupe moins d'espace et surtout peut se dissoudre dans les eaux interstitielles, voire se transformer en carbonates. Pour atteindre de tels états, le gaz carbonique doit donc être injecté à grande profondeur (plus de 800 m), afin que haute pression et température élevée fassent passer le dioxyde de carbone de l'état gazeux à liquide. Sur terre, trois types de formations géologiques semblent appropriées : les aquifères salins, les gisements d'hydrocarbures et les veines de charbon. Selon les études, les chiffres ont la bougeotte.

Les capacités de stockage de ces dernières oscilleraient entre 3 à 200Gt : celles des puits de pétrole et de gaz entre 560 et 1 170 Gt ; enfin, les aquifères pourraient contenir entre 1 000 et 10 000Gt. Malgré de telles incertitudes, notre CO₂ a largement de quoi se loger pendant le prochain demi siècle. Du moins en principe. Car, les industries émettrices de dioxyde de carbone ne se trouvent pas forcément à proximité des sites de séquestration.

Prenons le cas des structures les mieux connues des géologues : les gisements d'hydrocarbures. Le Moyen-Orient et la Russie détiennent 60% du potentiel de stockage, mais émettent, en gros, 10 % du carbone «capturable». A contrario, les trois plus gros émetteurs de CO₂, les Etats-Unis, la Chine et l'Inde ne pourraient injecter dans leurs puits que 14 % des émissions de leurs centrales électriques. Il faudra donc transporter le CO₂ (avec les coûts supplémentaires que cela implique) ou trouver de nouveaux exutoires.

Et pourquoi pas la mer ? Depuis toujours, l'océan est considéré comme une poubelle sans fond. Et de fait, les capacités d'absorption du carbone par le GrandBleu sont considérables, voire illimitées. Selon le GIEC, l'océan a déjà absorbé 500 Gt de CO₂ anthropique depuis le début de la révolution industrielle. Rien ne semble empêcher de dissoudre du gaz carbonique dans la colonne d'eau ou de déverser du CO₂ sur les grands fonds (plus de 6 000m) pour créer des lacs d'hydrates. Certes, mais nul ne sait avec certitude quelles seraient les réactions d'un océan saturé de carbone humain. Pourra-t-il encore perpétuer le cycle naturel du carbone ? Son pH sera-t-il modifié et quelles seraient les conséquences d'un tel bouleversement ?

Bref, les tenants de la solution marine n'ont pas encore percé ce monde du silence. Jamais en mal d'imagination, les scientifiques songent aussi à transformer le gaz carbonique en une roche carbonatée, que l'on pourrait stocker à terre, voire utiliser. Le principe consiste à accélérer le processus naturel de formation des carbonates, à partir d'un fluide aqueux et de roches riches en silicate, calcium et magnésium. L'Institut de physique du globe de Paris et le BRGM étudient la possibilité de "carbonater" le CO₂ en l'injectant dans des basaltes. Outre-Atlantique, des chercheurs des universités de Colombie britannique et du Québec tentent de transformer les terrils des mines d'amiante (riches en serpentine) en pièges à CO₂. D'autres expériences visent à réaliser un réacteur dans lequel le gaz carbonique, chauffé, est mis en présence de serpentine ou d'olivine broyées ; la réaction permettant de créer des carbonates. Hélas, pour séduisants qu'ils soient, ces procédés sont encore loin d'être industrialisables. Si l'on devait ainsi neutraliser les émissions d'une centrale au charbon de 500MW (environ 7 200 tonnes de gaz carbonique quotidiennes), il faudrait utiliser de 11 000

à 26 000 tonnes de minerais par jour ! Et pourquoi ne pas vendre aux industriels qui ont en besoin le CO₂ capturé ? Certes, les raffineurs, fabricants de boissons gazeuses, d'urée ou d'extincteurs sont de grands consommateurs de gaz carbonique. Hélas, la demande mondiale n'excède pas 120 millions de tonnes par an. Soit autant que ce que rejette un électricien, comme l'allemand RWE.

Les techniques de capture du CO₂

Pour être efficace et économique, une installation de capture de gaz carbonique doit être mise en service sur une importante source d'émission. Ces gros émetteurs sont bien connus. Selon le GIEC, il s'agit des 4 942 centrales électriques et de production de chaleur en service dans le monde (10,5 GT CO₂ par an), des 1 175 cimenteries, (0,9 GT CO₂ par an), des 638 raffineries (0,8 GT CO₂ par an), des 269 aciéries (0,6 GT CO₂ par an), des 470 usines pétrochimiques (0,4), des nombreuses unités de traitement du gaz et du brut (0,05 GT CO₂ par an), des 303 usines de biocarburants ou utilisant la biomasse (0,09 GT CO₂ par an). Sans oublier quelques dizaines de sources éparses (0,03 GT CO₂ par an). Au total, ces 7 887 sites industriels relâchent environ 13,4 GT de dioxyde de carbone par an. Mais ces rejets ne sont pas tous égaux devant le chromatographe. Seuls les effluents gazeux de 2 % de ces installations ont une concentration en CO₂ d'au moins 95 %. La plupart de rejets de ces usines crachent des fumées dont la teneur en dioxyde de carbone avoisine plutôt les 15 %. L'économie de la capture ne sera pas la même dans les deux cas.

Pour les usines existantes, l'une des technologies appelées, semble-t-il à un brillant avenir, est l'oxycombustion. L'électricien suédo-allemand Vattenfall devrait d'ailleurs la tester dans un pilote industriel. Pour faire simple, il s'agit de substituer, dans la chambre de combustion, l'air par de l'oxygène pur (à 93 ou 95 %). Cette oxycombustion permet d'augmenter la concentration en CO₂ de l'effluent (jusqu'à plus de 80 %) et donc de faciliter la séparation postérieure. Problème : une centrale de 500 MW devrait consacrer environ 15% de sa production d'énergie à la production d'oxygène. Toujours pour les installations existantes, il existe plusieurs technologies de séparation des gaz de combustion. La plus courante de ces techniques post combustion est la capture par des solvants organiques, telle la monoéthanolamine (MEA). D'autres systèmes utilisent la chaux vive, la cryogénisation, des adsorbants solides ou des membranes de filtration. Les constructeurs des usines du futur pourront aussi capturer le CO₂ avant la combustion. Dans ce cas, le combustible fossile est injecté dans un réacteur et mis en présence d'eau et d'oxygène. Il se forme alors un gaz de synthèse, mélange d'hydrogène et de monoxyde de carbone. L'hydrogène peut ensuite être utilisé pour produire de l'énergie (dans une pile à combustible par exemple) sans émettre de gaz carbonique.

Comment le transporter jusqu'au site d'injection ?

Rares seront les centrales, raffineries et autres usines sidérurgiques à avoir sous leurs fondations un sous-sol propre à accueillir d'importants volumes de gaz carbonique. D'où l'importance du transport du CO₂. Compte tenu des volumes à véhiculer et des conditions du transport (sous haute pression), deux modes paraissent aujourd'hui possibles : le bateau et le gazoduc. Depuis 1989, l'entreprise norvégienne HydroGas and Chemicals (filiale de Nork Hydro) exploite quatre bateaux de transport de CO₂. Ces tankers livrent à des industriels

norvégiens du gaz carbonique collecté dans des raffineries. Dans la même veine, des chantiers navals travaillent à la conception de plus gros navires sur le modèle des méthaniers. À l'évidence, c'est tout de même le "carboduc" qui recueille le plus de suffrages. Tout d'abord, parce que le retour d'expérience est important. Voilà plus de trente ans que les industriels américains charrient plus de 40 Mt CO₂ par an via 2500 km de canalisations terrestres. Relativement sûrs (contrairement aux bateaux le taux de fuite est presque nul), ces tubes transportent le gaz à l'état liquide ou supercritique. Ce qui nécessite des recompressions (énergivores) régulières.

Une solution économique ?

C'est évidemment la question qui taraude aujourd'hui tous les décideurs. Devant le nombre de questions encore sans réponse et la rareté des expériences de taille industrielle, les fourchettes de prix ne sont qu'estimatives. Pour une centrale électrique au charbon de 500 MW, le coût de la capture varie de 15 à 75 dollars par tonne de dioxyde de carbone (selon la technologie employée), le transport coûte entre 1 et 8 dollars par tonne de CO₂ et le montant du devis de la séquestration va de 0,5 à 100 dollars la tonne. Au total, la note oscille entre 16,5 et 183 dollars par tonne de gaz carbonique. Une étude de l'Ademe est moins imprécise : entre 30 à 60 euros par tonne, soit 36 à 73,8 dollars. Ce qui reste encore deux fois trop cher, au moins, pour les industriels, en général, et les électriciens en particulier. L'Agence internationale de l'énergie estime, en effet, que si les électriciens des pays de l'OCDE devaient équiper toutes leurs centrales thermiques d'un système de "décarbonisation", cela pourrait leur coûter entre 350 et 440 milliards de dollars en 30 ans.

Le stockage comporte-t-il des risques ?

Officiellement, se débarrasser du CO₂ dans le sous-sol ne présente pas vraiment de risque. Toutefois, même si les formations dans lesquelles se dérouleraient les injections de gaz carbonique sont stables, étanches et bien connues, un accident, géologiques ou technologiques, ne peut être exclu : séisme, rupture de canalisation, etc. Fort heureusement, le dioxyde de carbone n'est pas particulièrement dangereux. Toxique à une concentration de 5% dans l'air et mortel à 20%, le gaz carbonique n'intoxiquerait que les personnes situées à proximité immédiate du point de fuite. Tel n'est pas forcément le cas pour les projets d'injections dans la mer ou sur le fond de l'océan. Une dissolution de trop grands volumes de gaz carbonique pourrait modifier le pH de l'eau. Ce qui ne serait pas sans effet sur la faune et la flore marine. Localement, la création de vastes lacs de CO₂ tuerait probablement toute faune vivante sur les fonds. Enfin, trop carbonée, la mer pourrait ne plus jouer son rôle essentiel dans le cycle naturel du carbone.

Peut-on légalement stocker sous terre du dioxyde de carbone ?

De l'avis de nombreux juristes, le transport du CO₂, notamment en gazoduc, ne semble pas nécessiter d'adaptation réglementaire. Ce qui n'est pas le cas de l'injection. Le droit international (Convention de Londres, Convention Oskar) interdit de se débarrasser de déchets dans la mer. Mais le gaz carbonique est-il, juridiquement, un déchet ? Nul ne le sait encore. Pour tenter d'y voir plus clair, une commission dépendant du secrétariat de la Convention de Londres travaille à la question. Sur terre, les choses ne sont pas plus simples,

d'autant que les législations sont spécifiques à chaque pays. « En France, souligne Michèle Pappalardo, présidente directrice-générale de l'Ademe, il y a encore beaucoup à faire. L'injection de CO2 dans le sous-sol pourrait concerner le code minier, la loi sur l'eau, la loi sur les déchets, la loi sur les installations classées.» Pour commencer.

MICHÈLE PAPPALARDO : «LE STOCKAGE EST UNE OPTION POUR RÉDUIRE LES ÉMISSIONS DE CO2»

**Propos recueillis par Valéry Laramée de Tannenberg
VENDREDI 16 SEPTEMBRE 2005 ENERPRESSE N° 8909**

Consciente des potentialités de la séquestration, la présidente directrice générale de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe) n'oublie pas que cette solution n'est pas la panacée pour réduire les émissions industrielles de gaz carbonique. Un positionnement prudent qui n'a pas empêché le bras armé du ministère de l'Ecologie d'investir sur le sujet depuis plusieurs années. L'Ademe est l'un des organisateurs de ce colloque sur la capture et le stockage du carbone. Or, on n'a pas beaucoup entendu l'agence sur ces questions, ces dernières années. Vous rattrapez le temps perdu ?

La capture et le stockage du CO2 sont des sujets qui, jusqu'à présent, étaient peu médiatisés. Par ailleurs, c'était, et cela reste, un sujet qui préoccupe les organisations non gouvernementales (ONG). De nombreuses associations estiment que les pays industrialisés pourraient croire que la capture et le stockage sont la panacée pour réduire les émissions de gaz carbonique. Ce qui leur permettrait de ne rien faire ailleurs, en développement des énergies renouvelables ou en amélioration de l'efficacité énergétique, par exemple alors que l'option de stocker le CO2 sous terre ne peut être qu'une solution transitoire vers les énergies sans carbone. Enfin, pour le moment, ces technologies restent une option de recherches. Elles ne constituent pas encore une solution. Tout ceci explique une certaine précaution dans notre positionnement.

Vous semblez pourtant moins enthousiaste que d'autres sur ce sujet ...

Non, nous restons prudents, c'est différent. Il faut faire attention à ne pas survendre ce sujet. Encore une fois, cela reste une option pour réduire les émissions industrielles de dioxyde de carbone, pas une solution définitive. Et puis, il ne faut pas oublier que l'on ne peut pas stocker du carbone n'importe où. Une étude du Club d'Ingénierie Prospective Energie-Environnement, financée par l'Ademe, souligne que les régions qui abritent les structures géologiques les plus favorables au stockage (Moyen-Orient, Russie) ne sont pas celles où les émissions de CO2 sont les plus importantes. Le projet de rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat ne dit d'ailleurs pas autre chose. Au-delà de l'identification des sites potentiels il conviendra également de prendre en compte les problèmes d'acceptabilité par les populations locales concernées et prévoir, en amont, les processus de concertation nécessaires. Malgré ces réserves, l'Ademe ne s'est pas montrée timorée, ces dernières années. Depuis 2001, nous finançons des recherches sur la capture, le transport, le stockage du carbone. En cinq ans, nous avons ainsi investi 1,7 million d'euros sur ces sujets. Ce qui, pour l'Ademe, n'est pas mince. Il y a trois ans, nous avons créé, avec le BRGM et l'IFP, le Club CO2, qui est le lieu d'échange, d'information et d'initiative entre les industriels, les chercheurs et l'administration sur les problèmes liés à la capture et au stockage géologique du CO2. Ce

Club n'est d'ailleurs pas seulement un lieu de discussions. Ses membres ont, en effet, été associés à l'élaboration de l'appel à projets lancé récemment par l'Agence nationale de la recherche.

Quels sont les objectifs «carboniques» de l'Ademe ?

Comme d'autres, nous travaillons à la validation de certains concepts émergents, à l'instar des centrales électriques «ready to capture». Les technologies de séparation des gaz ne sont pas encore au point ou restent trop chères pour être commercialisables. L'idée est donc d'aider à la conception de procédés, notamment pour les centrales thermiques-- qui de toute façon seront construites ces vingt prochaines années - sur lesquelles il sera facile d'installer des dispositifs de capture lorsqu'ils seront au point. Depuis des années, nous soutenons financièrement la recherche sur les procédés de combustion propre du charbon. Des technologies que nous utilisons peu en France, mais qui intéressent les électriciens indiens, chinois, voire américains.

Il n'est pas facile de vendre, à l'extérieur, des technologies que l'on n'a pas mises en ouvre en France ...

C'est vrai. C'est pourquoi nous avons soutenu, dans le passé, des installations françaises utilisant la technique du lit fluidisé circulant pour les centrales à charbon afin de disposer d'installations en France. C'est la raison pour laquelle nous pensons souhaitable de réaliser un pilote français de capture et de stockage de CO₂., ainsi que d'autres projets comme des centrales utilisant l'oxycombustion, qui nous semble avoir un avenir prometteur. Il faut évidemment une vitrine française, non seulement pour valider les technologies, mais aussi pour intéresser des clients étrangers, et montrer aux populations que de telles installations ne sont pas dangereuses.

Sommes-nous prêts à mener ce genre d'expérimentations en France ?

Sur le plan réglementaire, il y a encore beaucoup à faire. L'injection de CO₂ dans le sous-sol peut concerner plusieurs textes législatifs ou réglementaires tels que le code minier, la loi sur l'eau, la loi sur les déchets, la loi sur les installations classées, pour commencer. Les pouvoirs publics en sont d'ailleurs conscients puisqu'ils ont confié au Conseil général des Mines une mission sur la nécessaire évolution juridique qu'impose le stockage souterrain du carbone. Il faudra aussi répondre à des questions délicates.

Lesquelles ?

À qui appartiendra le carbone stocké ? Comment fera-t-on pour que le CO₂ injecté soit déductible des émissions des industriels ? Sera-t-il intégré dans le calcul des puits nationaux ? Ces technologies de capture et de stockage seront-elles, un jour, éligibles aux mécanismes de flexibilité du protocole de Kyoto ? Et selon la réponse que les pouvoirs publics donneront le dynamisme «climatique» des industriels sera plus ou moins important.

**LUNDI 19 SEPTEMBRE 2005 ENERPRESSE N° 8910 SPÉCIAL
SÉQUESTRATION DU CO2 Propos recueillis par Valéry Laramée de Tannenberg**

Président de l'Institut français du pétrole (IFP), Olivier Appert dévoile sa vision sur le futur de la lutte pour la réduction des émissions de gaz carbonique. Une stratégie qui passe par une amélioration des moteurs, des carburants et par la séquestration géologique du dioxyde de carbone.

Deux ans après avoir accueilli, à Rueil-Malmaison, un premier séminaire international sur la réductions des émissions de CO2, IFP co-organise avec l'Ademe et le BRGM, un nouveau rendez-vous sur le sujet. Pour quelles raisons ?

Tout d'abord, la connaissance a progressé depuis deux ans. Mais surtout la capture et le stockage du gaz carbonique sont devenues l'un des outils de réduction des émissions de gaz à effet de serre les plus en vue, avec, bien sûr, le développement des économies d'énergie et celui des combustibles et carburants alternatifs, comme les biocarburants. Ce qui n'était pas le cas, il y a deux ans.

Par ailleurs, la prise de conscience a, elle aussi, avancé. Après la publication des rapports Chambolle et Gagnepain, les programmes de l'Agence de l'innovation industrielle et de l'Agence nationale de la recherche considèrent désormais la capture et le stockage du CO2 comme l'une des priorités de notre politique énergétique.

Sur le plan international, l'Union européenne a lancé une plate-forme technologique sur la réduction des émissions de gaz carbonique des prochaines centrales électriques. Enfin, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) doit présenter son rapport sur la capture et la séquestration lors de la prochaine conférence des parties, à Montréal, en décembre prochain.

Les industriels considèrent-ils ces deux technologies comme importantes ?

Oui. Les émissions de CO2 sont un problème incontournable pour les industriels, car aujourd'hui le CO2 a un prix, à la suite de l'ouverture, en janvier dernier, du marché européen des quotas d'émission. L'énergie est au coeur de leurs préoccupations, puisqu'elle est à l'origine d'environ 80% des émissions de gaz carbonique. Ceci explique pourquoi l'IFP a lancé, voici plusieurs années, de nombreux programmes de recherche sur la réduction des émissions de CO2.

Par exemple ?

En partenariat avec les constructeurs automobiles, nous travaillons à la mise au point de moteurs toujours plus propres et plus sobres. Avec les compagnies pétrolières, nous améliorons les procédés de raffinage, pour les rendre notamment moins énergivores et moins émetteurs de CO2. Enfin, bien évidemment, nous travaillons sur les procédés de capture et de stockage du gaz carbonique.

Finalement, ce colloque est tout autant destiné aux scientifiques qu'aux industriels et aux politiques ...

Absolument. Pour les premiers, il y aura de nombreuses communications de premier plan, à l'instar de la présentation, en avant-premières, des conclusions du rapport du GIEC. Il

est aussi ouvert aux industriels, qui devront s'impliquer fortement dans les grandes opérations de démonstration industrielle. Tout comme les pouvoirs publics, d'ailleurs.

La capture et la séquestration sont donc des sujets qui montent. Mais où en est-on en France ?

L'une des ambitions du programme consacré à la capture et au stockage de CO₂, lancé avec l'appui de l'Agence nationale de la recherche est claire: nous devons avoir un pilote industriel français d'ici 2010-2012.

Un délai qui peut paraître long ...

Lancer une telle opération demande du temps. Il faut trouver les structures géologiques appropriées. C'est-à-dire qu'elles soient tout à la fois un bon réservoir pour de grands volumes de gaz carbonique ; qu'elles ne soient pas trop éloignées d'une grosse source fixe d'émissions de CO₂. Et surtout que l'on démontre aux riverains de cette opération l'utilité et l'innocuité d'une telle opération. Tout cela n'est pas simple. D'autant qu'il reste encore d'autres problèmes à régler avant de commencer une injection de CO₂ dans le sous-sol français.

Lesquels ?

Nous n'avons pas encore de réglementation française, européenne ou internationale pour encadrer juridiquement ce type d'opération. Le rapport du GIEC insiste d'ailleurs sur ces problèmes juridiques. Sur le plan technique, tout n'est pas réglé non plus. Les procédés de capture restent encore chers.

Plusieurs opérations, grandeur nature, de capture et de stockage se déroulent actuellement. Quels en sont les premiers retours d'expérience ?

Les expériences d'injection de Sleipner en Norvège et de Weyburn au Canada nous ont d'abord montré que l'on peut, techniquement, injecter d'importants volumes de gaz carbonique sans risque de fuite. Ces opérations apportent aussi des informations importantes sur le comportement du CO₂ injecté dans de telles structures géologiques (aquifère pour le premier et puits de pétrole pour le second, ndlr) et sur la façon dont on peut contrôler à long terme le comportement du gaz.

De tels résultats peuvent être utilisés sur des formations géologiques comparables. Avec Recopol, en Pologne, nous avons montré qu'il était possible d'injecter du dioxyde de carbone dans des veines de charbon, mais que les volumes injectables n'étaient pas forcément suffisants pour répondre aux besoins d'une grande source fixe. N'oublions pas qu'une centrale électrique au charbon de 500 MW rejette environ 100 millions de tonnes de gaz carbonique en une trentaine d'années.

Que reste-t-il à faire pour que la capture et le stockage deviennent une solution «banale» de réduction des émissions ?

Nous devons encore acquérir des connaissances pour pouvoir mettre au point les technologies. Nous avons identifié ces technologies. Nous devons maintenant ouvrir les serrures.

**SPÉCIAL SÉQUESTRATION DU CO2 PHILIPPE VESSERON :
«LES AQUIFÈRES JOUERONT
UN GRAND RÔLE DANS LE STOCKAGE»**

**Propos recueillis par Valéry Laramée de
TannenberG MARDI 20 SEPTEMBRE 2005 ENERPRESSE N° 8911**

Président-directeur général du Bureau de recherche géologique et minière (BRGM), Philippe Vesseron estime que les structures géologiques les plus propices à la séquestration à long terme du carbone sont les aquifères profonds. Une structure déjà utilisée par Statoil sur le gisement offshore de Sleipner.

Le stockage du CO2, c'est un sujet que le BRGM doit commencer à bien connaître ?

On a encore beaucoup à apprendre. Mais, effectivement, nos équipes travaillent depuis de nombreuses années sur ce sujet, sur des fonds du PCRD ou avec des soutiens de la Commission Européenne ou de l'Ademe. Entre 1993 et 1995, nous avons participé au projet européen Joule, qui a montré l'importance du potentiel de stockage du gaz carbonique en aquifère profond, en quantité et en durée, mais surtout les progrès nécessaires. Cela nous a permis de clarifier les questions à résoudre.

Par la suite, nous avons participé aux recherches associées aux projets industriels d'injection du CO2, SACS, dans le sous-sol de la mer du nord, et Weyburn dans le Saskatchewan canadien. Avant d'intégrer le projet européen GESTCO pour évaluer le potentiel et la faisabilité technico-économique de la séquestration en aquifère profond. Enfin, depuis cette année nous travaillons à la préparation de projets français d'injection de dioxyde de carbone.

Contrairement à d'autres institutions internationales, le BRGM semble parier uniquement sur le potentiel des aquifères profonds. Pour quelles raisons ?

Nous ne parions pas uniquement sur cette structure mais nous pensons qu'elle jouera un très grand rôle dans le bilan mondial des sites de stockages. Tout d'abord, parce que cette structure géologique est très présente dans beaucoup de pays. Ce qui n'est pas forcément le cas des autres types de réservoirs possibles, comme les gisements d'hydrocarbures ou les veines de charbon. Ensuite, la capacité d'entreposage des aquifères profonds est très importante. Pour l'Europe, elle dépasserait 800 milliards de tonnes de CO2. De quoi stocker les émissions de nos sources fixes industrielles, centrales thermiques ou charbon, raffineries etc pendant plusieurs siècles. Par ailleurs, ce sont souvent des structures déjà bien connues. Il reste à travailler sur la modélisation à long terme du stockage et la définition des critères de sécurité. Je suis sûr que c'est là que l'on aura besoin des compétences du BRGM très développées en matière de comportement des aquifères profonds et plus particulièrement sur les interactions eau/roches et eau/gaz/roches.

Enfin, le coût de l'injection dans de telles structures, du moins quand elles sont à terre, tourne autour de 2 à 3 euros par tonne de CO2. Voilà pourquoi le BRGM est persuadé que le stockage du CO2 en aquifère profond fera partie des combinaisons de solutions qui seront mises en oeuvre:

la maîtrise des consommations d'énergie sera accompagnée par plus ou moins de nucléaire dans certains pays, plus ou moins de charbon, plus ou moins d'hydrogène qui sera

produit d'ailleurs pour une part à partir du charbon : dans tous les cas à mon avis il y aura combinaison avec le stockage géologique du CO₂. Il faut donc que nous ayons au préalable défini de manière fiable les feux verts et les feux rouges.

Sur quelles thématiques portent les efforts du BRGM aujourd'hui ?

Dans le programme européen CO₂Store, nous étudions le comportement du CO₂ injecté dans le sous-sol de la mer du Nord et étudions quatre aquifères profonds susceptibles d'être utilisés comme réservoirs. Dans le cadre de Castor, projet piloté par l'IFP, nous travaillons à la validation du concept de séquestration sur trois sites, dont trois offshore. Les premiers résultats de ces programmes ont d'ailleurs servi un peu de feuille de route aux négociateurs du dernier sommet du G8, en juillet dernier.

Au sein de CO₂Remove, qui va débuter au début 2006, nous élaborons des méthodes et des outils de contrôle et de surveillance de trois sites d'injection en Norvège et en Algérie. Enfin, nous allons encore développer nos coopérations internationale notamment dans le cadre du réseau d'excellence du 6ème PCRDCO₂Geonet qui fonctionne depuis un ans et où le BRGM joue un rôle important.

Avec quels pays ?

Depuis le début, nous travaillons avec nos confrères des autres services géologiques européens. Mais avec le programme GeoCapacity, nous allons mener une première coopération avec la Chine dans le domaine de l'évaluation du potentiel de stockage géologique.

Et rien avec les Etats-Unis, que l'on dit pourtant très actifs sur le sujet ?

Si, bien sûr. L'an dernier, la France a rejoint le Carbon Sequestration Leadership Forum (CSLF), le club des pays, institutions et universités travaillant sur la séquestration qu'a créé Washington en 2003. Christian Fouillac, le directeur de la recherche du BRGM est d'ailleurs l'un des représentants français au sein du CSLF.

Revenons en France. Nombreux sont ceux qui souhaitent le démarrage rapide d'un pilote français de séquestration. Est-ce aussi votre avis ?

Oui, absolument. Si nous voulons continuer à apprendre, nous devons disposer, dans les trois à quatre prochaines années, d'un démonstrateur.

À quoi servira-t-il ?

Tout d'abord à vérifier que les résultats de nos simulations, notamment sur les comportements du CO₂, sont exacts dans des conditions réelles de l'aquifère (le CO₂ est alors supercritique et doit le rester durablement). Car tout n'est pas modélisable sur ordinateur. Ensuite, il permettra d'aider le milieu industriel à bien savoir si les coûts peuvent être abaissés. Enfin, il nous aidera à montrer à quelles conditions la séquestration du CO₂ est une solution sûre, y compris sur le long terme.

L'acceptabilité, c'est un sujet important ?

Il n'y a pas de tables de la loi pour définir de l'extérieur les choses acceptables ou inacceptables. En revanche, nous devons avec ténacité construire des processus de décision ouverts, rationnels et modernes, où chacun puisse avoir accès à tous les arguments, savoir comment la sécurité est réfléchie et contre expertisée, se faire son opinion sur les avantages et les inconvénients. La transparence sera manifestement un élément clé de la qualité et de la robustesse des processus de décision à organiser, au niveau français ou plutôt dans un règlement européen.

C'est pourquoi il me paraît important de proposer rapidement une explicitation des critères de sécurité des stockages. Cela dit, je ne suis pas inquiet de ce que seront les réactions de nos concitoyens en ce qui concerne le stockage de gaz carbonique. Le sujet est plus facile à mettre en commun que les questions de déchets nucléaires à vie longue : il n'y a pas sur le stockage du CO₂ de conflits de principe ni en France ni dans les autres pays. Bien sûr beaucoup de questions restent à résoudre mais tout le monde le comprend bien.

Total lance son premier projet de capture et de séquestration

MARDI 20 SEPTEMBRE 2005 ENERPRESSE N° 8911

C'est un peu dans la confusion que Total a rendu public son premier projet de capture et de séquestration de gaz carbonique. Vendredi, alors que Jean-Michel Gires, directeur du développement durable et de l'environnement, annonçait, au cours du colloque de l'IFP-Ademe-BRGM (cf. Enerpresse n° 8908 et 8909) une annonce prochaine d'un projet de séquestration, son groupe publiait un communiqué un peu plus explicite. Le pétrogazier français y annonce qu'il va consacrer 50 millions d'euros à la construction, à Lacq (donc un réservoir de gaz déplété, nldr), d'une unité pilote de captation et de stockage de gaz carbonique. Ce budget sera aussi consacré, indique Total, au développement d'autres technologies de réduction des émissions de CO₂.

Les experts de l'ONU recommandent l'enfouissement du gaz carbonique.

Du CO₂ séquestré sous terre pour lutter contre l'effet de serre

Par Sylvestre HUET mardi 20 septembre 2005 Libération

<http://www.liberation.fr/page.php?Article=324931>

Dans vingt ans, chaque centrale électrique au charbon ou au gaz pourrait se voir affublée d'un équipement aussi gros qu'elle, destiné à séparer le gaz carbonique de ses fumées puis à l'envoyer, par gazoduc ou navire géant, vers un site d'enfouissement géologique. Cacher ce gaz que l'on ne veut pas voir dans l'air, c'est une idée proposée par les géologues devant le défi du changement climatique. Pas la panacée mais, insiste Michèle Pappalardo, présidente de l'Ademe (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie), une idée «complémentaire des économies d'énergie et du recours aux renouvelables». Le potentiel théorique ? La moitié des émissions de gaz carbonique serait concentrée à la sortie de centrales électriques ou d'usines (sidérurgie, cimenteries...), donc récupérable. Et le sous-sol recèle suffisamment de capacités de stockage. Fortement soutenue par les industriels, pétroliers et charbonniers en tête, cette idée vaut-elle les grands travaux qu'elle suppose ?

Copier la nature. Réunis jeudi et vendredi à Paris, 350 scientifiques, industriels, économistes ou responsables publics se sont penchés sur la question, aidés par un rapport du Giec, le groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat de l'ONU (1). Le rapport donnera un «feu vert à cette option qui offre une maturité technologique, démontrée par des expériences en cours, et un potentiel à la hauteur des émissions», affirme Jacques Varet, directeur de la prospective au BRGM (Bureau des recherches géologiques et minières) et l'un des rédacteurs du rapport.

Les géologues se contentent de copier la nature... ou Gaz de France. «Le stockage géologique du CO₂ existe à l'état naturel, explique Isabelle Czernichowski-Lauriol (BRGM), parfois à l'échelle de milliards de tonnes comme aux Etats-Unis. En France, le gisement de Montmiral, dans la Drôme, contient un CO₂ très pur, à 97 %, exploité pour l'industrie.» Quant à l'industrie gazière, elle gère des stockages souterrains de gaz : 164 milliards de mètres cubes dans le monde pour 500 sites. Mais il y a loin de ces analogues naturels et de ces sites temporaires à un enfouissement généralisé du CO₂ sorti d'usine. Pas question de risquer des remontées subites, susceptibles de provoquer de graves accidents, le CO₂ étant mortel à fortes concentrations le dégazage brutal du lac Nyos, au Cameroun, en 1986, a fait 1 700 morts. Ou des fuites plus faibles mais constantes réduisant à néant l'effet climatique recherché.

Les contraintes géologiques ne sont pas minces. Il faut dénicher les bons sites de stockage. Les aquifères salins (impropres à la consommation) offrent le plus de capacités. Les veines de charbon inexploitées semblent sûres, le CO₂ s'y adsorbe. Les gisements de pétrole ou de gaz épuisés ou en cours d'exploitation seront probablement les premiers choisis. Les pétroliers poussent cette idée, y voyant le moyen d'une «récupération assistée du pétrole directement rentable», se méfie Jacques Varet. Des sites à plus de 800 mètres de profondeur, pour garantir températures et pressions favorables. Des sites recouverts de roches imperméables, pour assurer un confinement de plusieurs siècles. Si des études génériques sont indispensables, «il faudra étudier des milliers de sites à fond, chacun en particulier», prévient Pierre Le Thiez, de l'Institut français du pétrole, afin de s'assurer de leurs caractéristiques, démontrer la sûreté puis organiser une surveillance de longue durée.

Surcoût. Les technologies de séparation ou de transport ne posent pas de problème de principe. Les ingénieurs savent séparer le CO₂ après combustion (par fixation sur un solvant liquide ou un solide), ou avant, ce qui suppose la combustion sous oxygène pur. La difficulté,

reconnaissent-ils, c'est le prix et la régénération du processus. Difficile de doubler ou tripler les coûts de production de l'acier, du ciment, de l'électricité. D'où l'objectif du projet européen Castor (2) de réduire les coûts de capture (énergétiques surtout) à 15-20 euros la tonne de CO₂. Ajouté au transport et au stockage, un tel surcoût ne pourra s'imposer que par une réglementation ou face à une taxation de l'émission de CO₂ à un coût supérieur. Ce qui suppose une action vigoureuse des gouvernements et la conclusion d'accords internationaux du type du protocole de Kyoto de très longue durée. Le défi scientifique, technique, financier et juridique interdit d'espérer une généralisation de la capture et du stockage avant vingt ans au minimum.

Les industriels (3), surtout ceux du secteur pétrolier et gazier, sont prêts à se lancer. Certains flairent la bonne affaire : récupération accrue de pétrole, accès à un futur marché international de permis d'émissions. Mais «les pouvoirs publics doivent être associés au développement des technologies de stockage», soulignait au colloque le ministre délégué à l'Industrie, François Loos. Ces opérations nécessitent «une réglementation rigoureuse et précise relative au choix, à l'usage et à la surveillance des sites». Faute de quoi, ils risquent de se heurter à l'opposition des populations.

Le charbon gagnant. Sur la longue durée, le grand gagnant de cette option serait le charbon dont la consommation mondiale a été multipliée par 2,5 depuis 1950. Mieux réparti, plus abondant, et donc moins cher à moyen terme, que le pétrole et le gaz, c'est lui qui «domine la problématique des émissions au-delà des années 2050 en terme de ressources», rappelle **Jacques Varet**. Etats-Unis, Chine, Inde, Australie, Canada, les grands pays charbonniers sont concernés au premier rang. La France possède une autre carte à jouer, la valorisation de ses compétences en géosciences et en technologies. BRGM et IFP sont ainsi très actifs dans le réseau européen CO₂ net et dans les deux expériences majeures en cours en mer du Nord (plate-forme pétrolière Sleipner) et aux Etats-Unis. L'Agence nationale de la recherche a lancé un appel d'offres de 10 millions d'euros sur le sujet et François Loos soutient l'idée d'un pilote de stockage proposé par le BRGM pour le Bassin parisien.

(1) La version finale devrait être publiée rapidement.

(2) Capture de CO₂ (centrale au charbon, Danemark) et quatre sites géologiques (Espagne, Norvège, Autriche et Pays-Bas).

(3) Total, Air Liquide, BP, Schlumberger...

http://www.rfi.fr/actufr/articles/069/article_38634.asp (Réchauffement du climat. Le stockage du gaz carbonique en expérimentation)

