

FUTUR EMPOISONNE : QUELS DEFIS ? QUELS REMEDES ?

par Adolphe Nicolas



**ACADEMIE DES
SCIENCES ET LETTRES DE MONTPELLIER**

2007

Site WEB: <http://www.biu-montpellier.fr/academie>

Séance du 05/03/2007, Bulletin n°38, pp. 53-60 (édition 2008)

« L'homme est une corde tendue entre la bête et le surhumain – une corde au-dessus d'un abîme... J'aime celui qui ne vit que pour savoir et qui veut savoir afin que le surhumain vive. »

Ainsi parlait Zarathoustra, Friedrich Nietzsche, 1885

Dans un précédent ouvrage, *2050, Rendez-vous à risques*, j'ai tenté de présenter les principales composantes qui façonneront notre avenir, de prévoir leur évolution et d'estimer leur poids respectif dans le changement en cours, qualifié de « changement global » parce qu'il affecte l'ensemble de la planète et tous les secteurs de notre vie. Composante humaine avec la démographie et la pression anthropique qui en résulte, composante climatique avec le réchauffement de l'atmosphère et ses multiples conséquences, composante énergétique avec la question du moteur de notre croissance, composante politique et sociétale enfin, avec l'attitude qu'il conviendrait d'adopter face aux défis à relever. Bien que très rapide, l'avancée des connaissances ne remet pas en cause les données et les idées présentées dans cet ouvrage. Un nouveau livre, dont le titre est celui de cette communication m'est pourtant apparu nécessaire. Car aujourd'hui, trois questions vitales pour l'avenir de l'humanité émergent et se répondent.

Notons aussi, qu'aujourd'hui, on peut démontrer ce qui semblait déjà acquis en avril 2004, lorsque paraissait mon précédent ouvrage, à savoir que le principal moteur du réchauffement climatique actuellement accéléré est bien le gaz carbonique issu des combustibles fossiles, c'est-à-dire celui qui est émis par l'homme. Notre responsabilité est établie.

Première question touchant « notre » gaz carbonique: combien de temps va-t-il séjourner dans l'atmosphère et l'empoisonner ?

Seconde question : peut-on reclure dans les profondeurs continentales ou océaniques le gaz carbonique issu des combustibles fossiles? Renvoyer le dragon dans l'antre souterraine dont il est issu ?

Dernière question, celle de la pénurie du pétrole. Le pétrole, une source d'énergie miraculeuse. À quelle échéance surviendra-t-elle : 2010 ou 2040 ? Il est temps d'ouvrir un débat sur ce sujet essentiel dont l'issue est volontairement masquée par de puissants intérêts.

Le réchauffement climatique en cours

L'actualité récente ne cesse de nous le rappeler : le réchauffement climatique entamé avec l'ère industrielle s'accélère. Il est corrélé avec l'accroissement de la teneur atmosphérique en gaz à effet de serre, pour l'essentiel le méthane et le gaz carbonique. Grâce aux modélisations numériques, la communauté des climatologues, très organisée au plan mondial, nous offre, avec un rapport publié en même temps que ce livre, le rapport GIEC 2007, des projections portant sur l'évolution de la température et de la pluviométrie au cours de ce siècle et bien au-delà.

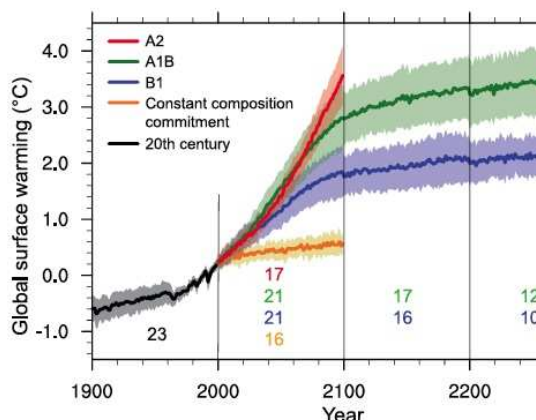


Fig. 1. Evolution sur trois siècles de la température de l'atmosphère, selon 2 scénarios médians de croissance des teneurs de gaz carbonique atmosphérique jusqu'en 2100, suivies d'un palier au delà. (Rapport du GIEC, Février 2007).

On en retiendra aussi de fortes disparités régionales : température et pluviométrie augmenteront d'autant plus fortement que l'on se rapprochera des pôles, surtout dans l'hémisphère Nord ; à l'inverse, dans les zones tropicales, l'inflation de température sera moindre mais, fait grave, la sécheresse se trouvera encore accrue, tout comme dans la zone méditerranéenne. Les nouvelles données et la sophistication des modélisations par rapport au précédent rapport de 2001 ne changent guère ces diagnostics.

Pourquoi le climat change-t-il ?

Aussi loin que les archives géologiques nous projettent dans le passé, le climat changeant de la planète s'est maintenu dans une étroite fourchette de température, celle qui est compatible avec la vie. Tout dérapage de la température déclenche la mise en action de forces de rappel qui la ramènent, à peu de choses près, à son niveau initial. Ainsi, par leurs émissions massives de gaz à effet de serre, les crises volcaniques majeures provoquent une flambée de la température, mais l'altération en surface des roches d'origine profonde, qui fixe du gaz carbonique atmosphérique dans les roches altérées au détriment des silicates, se charge de rafraîchir l'atmosphère (voir l'encadré ci-dessous). Mais l'altération absorbe efficacement le gaz carbonique atmosphérique... à l'échelle de 100 000 ans. C'est une précision d'importance qui inscrit la crise climatique qui s'annonce dans les fluctuations naturelles du climat. On connaît des crises passées, comme celle du Paléocène (55 millions d'années) qui dura 100 000 ans et dont les prémisses évoquent la crise actuelle. Qui est responsable de notre crise ? L'enquête retient deux suspects. Dans une relation ambiguë entre température et teneur atmosphérique des gaz à effet de serre, on montre aujourd'hui, qu'à la différence avec les époques glaciaires, l'irradiation solaire et donc la température ne sont pas à l'origine du dérapage actuel, mais bien l'accroissement de la teneur en gaz à effet de serre. On montre aussi, grâce à l'analyse isotopique du carbone atmosphérique, que son excès actuel, par

rapport à la période pré-industrielle, est dû à la combustion du carbone fossile (celui du pétrole, gaz et charbon). Ainsi est bien établie la responsabilité de l'homme.

Une pompe à gaz carbonique inattendue : l'altération des roches

L'idée que l'activité volcanique puisse contribuer à réchauffer notre climat est assez intuitive. On sera peut-être davantage surpris d'apprendre qu'un effet climatique inverse est associé à l'altération des roches formées en profondeur (granites de la croûte continentale, basaltes et autres roches provenant du manteau) lorsqu'elles sont portées à la surface des continents par les mouvements tectoniques et ainsi mises en contact avec l'atmosphère.

En effet, en présence d'eau et au contact de l'air, les silicates, minéraux constituant ces roches profondes, s'altèrent et se décomposent en libérant, outre la silice, divers éléments. Parmi eux, retenons le calcium et le magnésium, qui réagissent avec le gaz carbonique atmosphérique pour donner naissance aux calcaires (où domine le carbonate de calcium ou calcite) et aux dolomies (riches en dolomite, un carbonate mixte de calcium et de magnésium). La principale réaction chimique s'écrit en simplifiant :

CaSiO_3 (silicate calcique) + CO_2 (atmosphérique) \rightarrow CaCO_3 (calcite) + SiO_2 (silice pouvant cristalliser en quartz).

L'altération des roches profondes, véritable pompe à gaz carbonique, est exacerbée par l'existence de reliefs soumis à l'érosion. Ces derniers sont créés par les mouvements des plaques lithosphériques, qui soulèvent des chaînes de montagnes où affleurent surtout les roches granitiques de la croûte, et par le volcanisme, qui émet surtout des roches basaltiques. On ne peut plus aujourd'hui ignorer la contribution de l'Homme qui est devenu un agent tectonique majeur. L'altération est également sensible à l'humidité, à la chaleur et, facteur moins attendu, à l'activité biologique. En outre, on ne peut pas ignorer la nature des roches soumises à l'altération. Ainsi, le basalte s'altère dix fois plus vite que le granite ou les gneiss de la croûte continentale.

Empoisonnement au gaz carbonique

Combien de temps le gaz carbonique que nous émettons en brûlant des combustibles fossiles va-t-il empoisonner l'atmosphère et réchauffer le climat ? De sa circulation au sein d'une véritable usine à gaz, retenons que le gaz carbonique est engagé dans des cycles emboîtés, au travers desquels il s'échange entre l'atmosphère et différents niveaux terrestres de stockage ou réservoirs. Le réservoir océanique joue un rôle majeur dans son absorption. Il en paye le tribut par une acidification de ses eaux qui est déjà très préjudiciable aux récifs coralliens et par un risque de saturation vis-à-vis du gaz carbonique (voir encadré ci-dessous).

L'océan profond peut-il absorber notre gaz carbonique ?

L'océan profond est la principale porte d'entrée pour le gaz carbonique vers le réservoir final, géologique. En raison de sa place centrale et du volume de ses échanges avec les autres réservoirs, l'océan profond détient la réponse à notre question. Il contient une masse de carbone gigantesque, 36 000 GtC (milliards de tonnes de carbone), comparée à la masse totale de gaz carbonique injectée par l'homme dans l'atmosphère depuis le début de l'ère industrielle (entre 400 et 450 GtC). Rappelons aussi que, sur les 7 GtC/an que représente le flux de gaz carbonique anthropique vers l'atmosphère, l'océan profond en absorbe aujourd'hui sans barguigner 2 GtC/an qui lui arrivent à travers les eaux de surface.

Un calcul très simple pourrait laisser croire que la totalité de gaz carbonique anthropique sera soluble dans l'océan profond. Comparons ainsi à la masse totale d'eau de l'océan, celle qui est nécessaire pour dissoudre la masse totale du gaz carbonique que nous

aurons brûlé d'ici à quelques siècles. Cette dernière quantité sera plus loin estimée entre 1 000 et 5 000 GtC. La solubilité du gaz carbonique, c'est-à-dire la fraction de ce gaz qui peut se dissoudre dans les eaux de l'océan profond – eaux salées, froides et sous pression – est d'environ un dixième de grammes par litre d'eau (0,01 %). Il suffirait alors d'une masse d'eau de 1 000 ou 5 000 GtC / 0,01%, soit 10 ou 50 millions de Gt d'eau, ce qui est infime par rapport à la masse de l'océan mondial (1,4 milliards de Gt). En d'autres termes, l'océan pourrait théoriquement dissoudre au moins 30 fois plus de gaz carbonique que ce nous pourrions brûler.

Malheureusement, l'affaire relève aussi de la chimie de ce milieu, plus complexe qu'il n'y paraît. La dissolution du gaz carbonique dans l'eau se traduit par une acidification de cette dernière. Or la solubilité du gaz carbonique s'effondre lorsque l'acidité de l'eau augmente. Notre beau raisonnement s'effondre aussi : l'acidification de l'océan résultant de la dissolution du gaz carbonique atmosphérique anthropique diminuera la solubilité de ce gaz, de telle sorte que la totalité de l'excès du carbone lié à l'utilisation des combustibles fossiles ne pourra être épongée « sans conditions » par l'océan profond. Retenons ici que les temps impliqués pour une restauration de l'océan profond sont de l'ordre de 100 000 ans, le temps pour que l'altération des roches de surface apporte à l'océan les carbonates issus de cette altération.

En milieu acide, non seulement la solubilité du gaz carbonique diminue, mais les carbonates de calcium, ces minéraux caractéristiques des calcaires, sont déstabilisés. Conséquences : est ainsi entravée la formation de nouvelles roches carbonatées, qui auraient eu l'insigne mérite de fixer définitivement le gaz carbonique, puisqu'elles l'intègrent dans leur structure cristalline. Plus immédiatement, la dissolution du calcaire, peut gravement affecter certains écosystèmes marins. Ainsi, d'après des travaux qui se multiplient sur le sujet, les effets de l'acidification des océans pourraient être dévastateurs pour les organismes marins fixant dans leur squelette la calcite, dont les récifs coralliens.

Le gaz carbonique parcourt les différents cycles en des temps allant de la décennie jusqu'à la centaine de millénaires dans le cas du réservoir géologique, qui correspond à la croûte et au manteau terrestres. Or le gaz carbonique atmosphérique anthropique est issu de ce réservoir géologique et il ne sera définitivement soustrait à l'atmosphère que lorsqu'il l'aura regagné, soit au terme de dizaines de milliers d'années. Cette échelle de temps, conforme à celle des crises géologiques, est donc, hélas, celle de la crise climatique qui s'amorce.

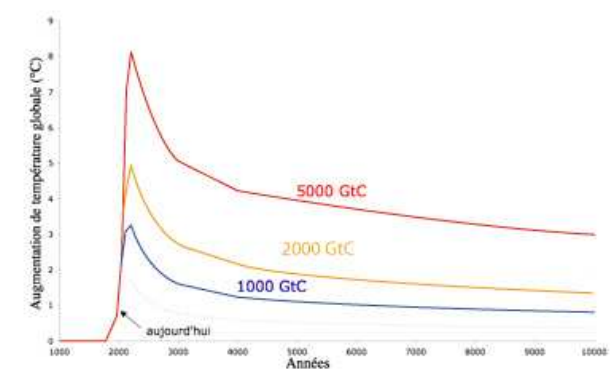


Fig.2. Des scénarios inquiétants : calcul des augmentations des températures au cours des prochaines 10 000 années, selon que la masse totale de combustibles fossiles brûlés par l'homme sera limitée à 1000 GtC (en bleu,) ou sera de 5000 GtC (l'ensemble du stock accessible, en rouge). Partant à l'origine de la température pré-industrielle, on observe un pic thermique, lié au pic d'émissions de gaz carbonique qui baisseront vers 2300, peu après l'épuisement des combustibles fossiles. Dans le scénario bas (1000 GtC), l'augmentation de température attendue d'ici à 200 à 300 ans est de 3°C. Dans le scénario haut (5000 GtC), cette augmentation atteindrait 8°C, menaçant notre survie. (D.Paillard, com.pers.,2006).

La crise énergétique

Cette crise s'exprime clairement à travers les deux diagrammes de la figure 3. Le premier montre qu'au cours du XX^e siècle la consommation d'énergie a été multipliée par 10, portée en fin de siècle par l'envolée du pétrole et du gaz. Le second diagramme rassemble divers scénarios établis pour 2050, avec sur la gauche la situation en 2000. On admet que la demande mondiale sera de 25 unités, soit 2,5 fois plus que celle de 2000 et 25 fois plus que celle du début du XX^e siècle. Les scénarios de gauche « abondance énergétique » excluent tout effort d'économie, prônées au contraire par ceux de droite, avec la « maîtrise de l'énergie ». Celle-ci permettrait, en consentant quelques sacrifices, d'économiser de 30 à 50% d'énergie.

Pour les raisons de survie climatique évoquées plus haut et, tout simplement, par manque des ressources adéquates, les scénarios « abondance énergétique » sont disqualifiés. Considérant qu'ils restent encore très gourmands en énergies fossiles, les scénarios « maîtrise de l'énergie » ne sont guère meilleurs. Que faire ?

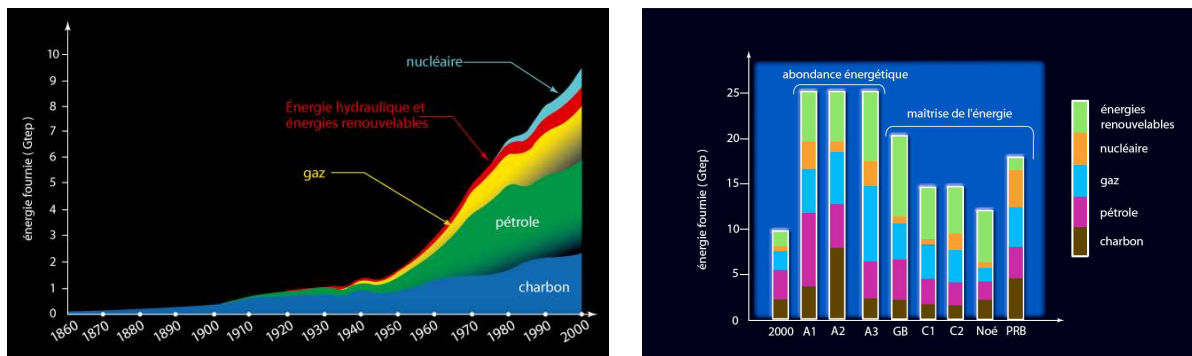


Fig.3. Croissance de la consommation d'énergie et panachage des diverses formes d'énergies. A gauche, du début de l'ère industrielle jusqu'en 2000 et à droite, scénarios énergétiques pour 2050. (A.Nicolas, « 2050-RV à risques », 2004, Belin Ed.).

Le retour du dragon dans son antre

Une solution nouvelle à la question qui vient d'être posée sur les risques d'emballement de l'effet de serre ne serait-elle pas la capture, puis la séquestration du gaz carbonique ? Dans cette perspective, le stockage dans des réservoirs souterrains peut sembler notre meilleur atout (Fig.4).

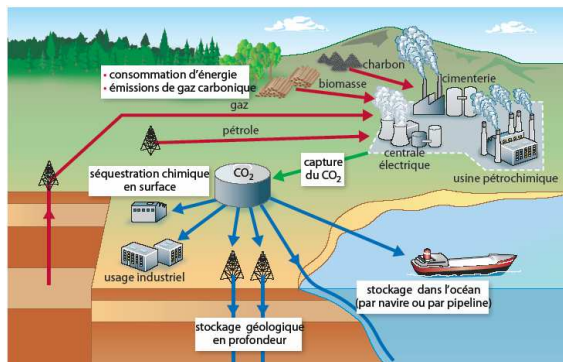


Fig.4. Économie générale des projets de séquestration. Les complexes industriels, centrales électriques, cimenteries, complexe pétrochimiques (parc encadré) consomment de grandes quantités d'énergie (lignes rouges) et engendrent des émissions massives de gaz carbonique. Ce gaz est capté sur place, puis transporté (lignes bleues) par pipeline ou navire méthanier. S'il ne trouve pas de débouché industriel, il est soit séquestré en surface, soit injecté dans le sous-sol pour être stocké, on l'espère, sur des millénaires. Aujourd'hui, la capture puis le stockage du gaz carbonique ne sont pratiqués que pour l'extraction du pétrole. (A.Nicolas, « Futur empoisonné... », 2007, Belin Ed.).

La séquestration dans des roches sédimentaires est assez bien connue : les ingénieurs du pétrole injectent déjà du gaz dans des gisements en fin de vie pour en récupérer les hydrocarbures résiduels. Mais de tels réservoirs seront-ils suffisamment vastes et surtout étanches ? L'injection dans les basaltes, moins familière, nous paraît plus prometteuse, car les capacités de ces roches semblent énormes et le gaz carbonique y serait définitivement séquestré, en raison de réactions chimiques qui lui permettent d'entrer dans la composition de minéraux d'altération, formés au détriment des minéraux du basalte (voir encadré plus haut). Quoi qu'il en soit, si le succès de la séquestration grande échelle demeure encore hypothétique, le renouveau du charbon est, lui, attendu dans la foulée de la prochaine pénurie du pétrole. Ce retour de « King Coal » pourrait bien doper les recherches sur la séquestration, car ce combustible émet bien plus de gaz carbonique que l'or noir. Une révolution industrielle et sociétale pourrait en résulter. Au terme de celle-ci, l'énergie, moins généreusement fournie aux différents consommateurs car l'économie énergétique sera de rigueur, serait surtout électrique, issue de grosses centrales nucléaires et à charbon, ces dernières captant et séquestrant le gaz carbonique qu'elles auraient rejeté dans l'atmosphère. Au côté de cette concentration énergétique, les énergies renouvelables apporteront une contribution plus modeste, mais répartie plus équitablement. Depuis peu, une réévaluation des réserves de charbon ramènerait un horizon se perdant dans les brumes du prochain siècle, à quelques dizaines d'années. Ceci remettrait en cause le relais énergétique attendu du charbon, avant l'hypothétique maîtrise de la fusion nucléaire.

La crise du pétrole, quelle vie au-delà ?

La crise climatique à venir doit être envisagée dans le contexte d'une autre crise, pétrolière cette fois, qui sera plus brutale et, pour un nombre croissant d'experts, pourrait survenir d'ici à quelques années. Le pétrole est une substance unique par sa souplesse d'emploi et par sa concentration en énergie, très supérieure à celle de toutes les énergies renouvelables. De la comparaison de la figure 5 ressort clairement que jamais les énergies renouvelables ne pourront le remplacer. C'est l'extraction sans frein du pétrole qui a permis l'expansion miracle du XX^e siècle, avec la débauche des dépenses énergétiques qui l'accompagne. Nous avons déversé des fleuves de cette substance miraculeuse et n'en laisserons que des flaques à nos enfants !



Fig.5. Une image de la puissance comparée des énergies concentrées et des énergies diffuses. a. Vol d'Orville Wright en 1904, avec un moteur à essence, à la fois puissant et compact. **b.** L'avion à panneaux solaire avec lequel Bertrand Picard projette de réaliser, en 2010, un tour du monde. Afin d'obtenir une puissance suffisante, l'énergie solaire doit être collectée sur une très grande surface : l'envergure de l'avion est de 70 mètres. (« Futur empoisonné... », 2007, Belin Ed.).

Que, faute de réserves suffisantes, la production du pétrole vienne à plafonner et son prix flambera sans espoir de retour, car l'extraction du pétrole résiduel sera de plus en plus onéreuse. Or, comme l'illustre la figure 6, la courbe de la production-consommation est de plus en plus en porte-à-faux par rapport au niveau des réserves. Aujourd'hui, nous ne découvrons qu'un baril de pétrole pour les 2 ou 3 que nous consommons. Pour les experts indépendants des lobbys pétroliers, financiers ou politiques, le point de rupture est attendu vers 2010 avec une marge d'environ 5 ans. Nous sommes peut être déjà dans la Crise !

L'économie mondiale entrera alors dans une grave crise financière et notre mode de vie, fondé sur un pétrole bon marché, s'en trouvera bouleversé. La Crise étant probablement à notre porte, il faudrait s'y préparer dès maintenant, sous peine d'un choc frontal aux conséquences gravissimes.

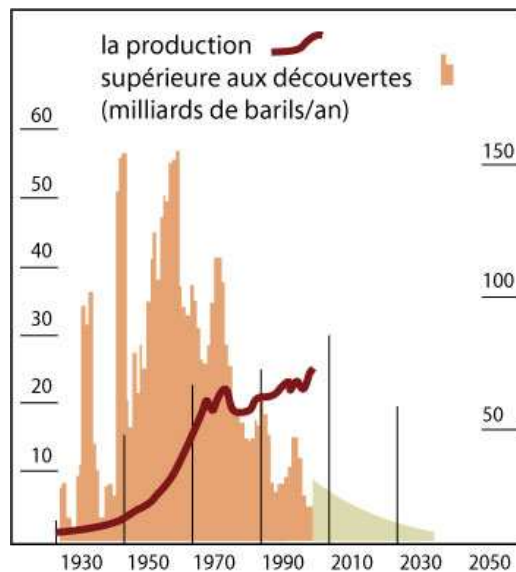


Fig.6. Les données sur la situation actuelle du pétrole dans le monde et les projections. En beige, l'état des découvertes (en milliards barils/an): les grands gisements furent mis à jour dans les années 60-70 et les nouveaux puits sont de plus en plus petits. En rouge, le rappel de l'évolution de la production (en millions de barils/jours) jusqu'en 2006. (J. Schlesinger, 2005).

Le pétrole, cette drogue qui irriguait nos sociétés depuis plus d'un siècle venant à manquer, il faudra supporter un sevrage qui sera d'autant plus douloureux s'il n'est pas été anticipé et préparé. C'est un premier défi pour l'humanité mais qui pourrait nous aider à relever le suivant, le défi climatique. Ainsi, le temps de l'action toujours promise, toujours remise par les hommes politiques, pourrait nous être imposé par cette crise pétrolière plus proche que prévue, aiguillon permettant à l'homme de jeter les bases d'une société fondée sur la maîtrise de l'énergie, une société où la séquestration du gaz carbonique serait un élément majeur pour museler ce dragon, une société régénérée et capable de transcender les graves difficultés climatiques, mais aussi démographiques, au-devant desquelles nous courrons .