

Antoine Godinot
27, rue de l'Arquebuse 51 100 Reims
note de lecture commentée, mai 2002

"Energie et climat"

Actes de la conférence-débat du 23 avril 2001 à l'Académie des Sciences :

C.R.A.S., série IIa, 2001, t. 333, n°12

→ à l'attention des géologues,
ou comment deux articles de cette revue géologique veulent convaincre de
l'impérieuse nécessité de décider de donner le coup d'envoi à la création
d'un centre de stockage des déchets nucléaires en 2006...

I. Les prévisions du GIEC, Groupe Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat, 2001 :

- Le climat s'est réchauffé tout dernièrement, les modèles donnent l'humanité responsable;
- on modélise pour 2100 une montée de la température de 2-3°C, de la mer de 30cm;
- c'est la faute aux énergies fossiles;
- Il faut faire quelque chose au sein de l'Académie !

(J.C. Duplessy, M. Petit, C. Lorius)

II. Energie - première partie, et à l'échelle du monde :

les énergies qui n'ont aucun soucis à se faire parce qu'on en redemande :

- a) Pétrole-gaz (60+% de l'énergie primaire mondiale commercialisée) : La demande est forte et le restera. On devrait pouvoir y répondre pour le XXI^e siècle.
- b) Les énergies renouvelables

(B. Tissot, D. Decroocq, J.L. Bal et B. Chabot)

III. Energie - deuxième partie, et pour la France seulement :

le nucléaire français (1% de l'énergie primaire mondiale commercialisée) : des histoires de poisons, des justifications tordues, des espoirs "attrapés couillons"...

Il faut vite supprimer les déchets comme un problème aux yeux de l'opinion publique. 2006 est une date fondamentale. Pourquoi ? mais pour le bien de l'humanité ! : le climat..., le danger ben laden..., pour construire de nouveaux réacteurs... ! Regardez comme on sait bien faire : les "géologues compétents", la forteresse de Bure, le miracle de "Soulaines", La Hague qui nous débarrasse de la moitié des déchets, et tout ce qu'on pourrait faire dans 2-3 siècles pour la multiplication de l'atome fissile et réduire ces sales déchets en poussière !

(R. Dautray, J.C. André)

COMPTES RENDUS DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES

SCIENCES DE LA TERRE ET DES PLANÈTES EARTH & PLANETARY SCIENCES

2001 — Tome 333 — Série II a — N° 12

Énergies et climat – Actes de la conférence-débat du 23 avril 2001 à l'Académie des sciences

Energies and climate – Proceedings of the Conference held on 23 April 2001 at the Academy of Sciences

- Préface / Foreword
Jean Dercourt 757
- Les perspectives de l'énergie nucléaire dans le cadre des changements climatiques
Robert Dautray 811
- Présentation du contenu de ce numéro thématique / Presentation of this thematic issue
Claude Lorius, Bernard Tissot 761
- Les énergies renouvelables. État de l'art et perspectives de développement
Jean-Louis Bal, Bernard Chabot 827
- Géophysique externe, climat et environnement**
- État des connaissances et incertitudes sur le changement climatique induit par les activités humaines
Jean-Claude Duplessy 765
- Géophysique externe, climat et environnement**
- Réflexions sur le calendrier du débat *Énergies et climat*
Jean-Claude André 835
- L'humanité face à l'effet de serre additionnel qu'elle crée
Michel Petit 775
- Énergies et climat : quels enseignements pour le futur ?
Claude Lorius 841
- Géomatériaux**
- Quel avenir pour les combustibles fossiles ? Les avancées scientifiques et technologiques permettront-elles la poursuite d'un développement soutenable avec les énergies carbonées ?
Bernard Tissot 787
- Tables, tome 333**
- Sommaire / Contents III
- Auteurs / Authors VII
- Mots clés XIII
- Keywords XVII
- Rubrique / Scientific fields XXI
- Experts / Referees XXII
- Économies d'énergie et émission de CO₂ dans le traitement-utilisation des hydrocarbures
Daniel Decroocq 797

| | |
|---|----|
| I. Les prévisions du GIEC sur l'évolution du climat | 4 |
| I.A Les communications de J. C. Duplessy, M. Petit et Cl. Lorius | 4 |
| I.B Commentaires : | 6 |
| Physique de l' "Effet de serre" | 6 |
| Quelle est la part des combustibles fossiles dans "l'effet de serre" ? | 6 |
| Modèles du GIEC : il y a du serpent qui se mord la queue | 9 |
| Les conclusions médiatisées du GIEC n'impressionnent pas tous les scientifiques du climat | 11 |
| I.C. Les risques dévastateurs pour notre société ne sont pas là où les situent ces articles | 12 |
| II. Energie - première partie, et à l'échelle du monde : | 15 |
| Pétrole-gaz : B. Tissot, D. Decroocq | 15 |
| Energies renouvelables : J.L. Bal et B. Chabot | 15 |
| III. Energie - deuxième partie : le nucléaire français : | 16 |
| III.A L'académicien Robert Dautray | 16 |
| Plan du texte de R. Dautray | 17 |
| Géologie : compétence technique versus compétence administrative | 18 |
| une petite clause du secret pour les "géologues compétents" | 18 |
| David et Goliath | 19 |
| Bure voué à rester seul ? | 19 |
| Bure, le laboratoire fantôme | 19 |
| Les aquifères = futures zones de stockage des radionucléides "mobiles" | 20 |
| Bure et le critère de mobilité des quelques 10 000 à 100 000 ans | 21 |
| La définition actuelle de la réversibilité | 22 |
| Les embêtants fûts "B" | 22 |
| Les déchets les plus dangereux | 22 |
| "Soulaines sur sables verts" et ses milliSieverts | 23 |
| L'aquifère des "sables verts" | 23 |
| Modéliser l'interdit certain | 24 |
| Les milliSieverts de "Soulaines" | 25 |
| Le retraitement permet de mettre en application "le principe de dilution" | 29 |
| La solution marine | 29 |
| Radionucléides majeurs | 30 |
| L'excès de leucémies chez les enfants aux abords des usines de retraitement | 33 |
| Le Groupe d'étude Radioécologique Nord Cotentin, GRNC | 34 |
| L'affaire Ruthénium | 34 |
| Protéger les populations "d'une adversité" qui les menace sur le nucléaire | 36 |
| Transmutation des déchets : c'était un mythe | 37 |
| L'innocente demande de la loi Bataille | 37 |
| Des décennies pour faire une démonstration expérimentale | 38 |
| La réalisation en elle-même ne serait possible que sur une unité-temps de plusieurs siècles | 38 |
| Combustibles irradiés MOX : l'addition salée du retraitement | 39 |
| Commande de l'EPR : Framatome attend... | 40 |
| Prolifération : la France Sainte-ni-touche | 41 |
| III.B Jean-Claude André | 42 |
| La "perception" du changement climatique | 42 |
| Les besoins énergétiques | 42 |
| Le calendrier de la filière nucléaire française | 43 |
| Références | 46 |
| ANNEXE I : Le professeur de médecine Académicien Maurice Tubiana et ses amis | 47 |
| Petit rappel de culture générale : la norme 1mSv pour le public | 49 |
| En cas d'accident majeur, chacun a le droit à 1000 mSv/vie | 51 |
| ANNEXE II : Arrêter rapidement 70% du nucléaire français avec le thermique classique aurait un impact totalement négligeable sur l'effet de serre | 54 |
| ANNEXE III : Un vieux rêve devenu mythe : Une industrie nucléaire qui aurait fonctionné des siècles | 55 |
| ANNEXE IV : Hydrogène : tout est bon pour avoir des sous pour lancer une filière HTR | 59 |
| Les Piles à combustible | 60 |
| ANNEXE V : "Soulaines sur sables verts" dans 330 ans : activité massique des déchets | 62 |

I. Les prévisions du GIEC, Groupe Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat, 2001 :

- Le climat s'est réchauffé tout dernièrement, les modèles donnent l'humanité responsable,
- on modélise pour 2100 une montée de la température de 2-3°C, de la mer de 30cm;
- c'est la faute aux énergies fossiles;
- Il faut faire quelque chose au sein de l'Académie !

(J.C. Duplessy, M. Petit, C. Lorius) : 22,5p.

I.A Les communications de J.C Duplessy, M. Petit et Cl. Lorius

• Jean Claude Duplessy (8p.)

Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement, laboratoire mixte CEA-CNRS; Parc du CNRS 91198 Giff-sur-Yvette; désigné membre de la CNE (**Bure**) sur proposition de l'Office parlementaire des choix technologiques en 1994.

• Michel Petit (12p),

CGTI, 20, avenue de Ségur, 75353 Paris SP 07

Michel Petit est ou était directeur des recherches de l'Ecole polytechnique. Il est le rédacteur en chef (avec deux soutiens à l'étranger) des C.R. Geoscience qui remplacent depuis janvier 2002 le traditionnel CRAS série IIa. Il est aussi dans le Comité éditorial, dans les Rédacteurs associés et dans le Comité de rédaction toujours des C.R. Geoscience. C'est Le représentant français au groupe II du GIEC (évaluation des impacts éventuels du réchauffement) et son article est rédigé à l'invitation du comité de lecture des C.R.A.S.IIa.

• Claude Lorius (2,5p)

Laboratoire de glaciologie et de physique de l'environnement, UPR CNRS 5151, université Joseph-Fourier. 5, rue Molière. BP 96 38 402 Saint-Martin-d'Hères cedex

L'article rappelle qu'il importe de relever les défis du développement de notre société, précise-t-il, "**notamment au sein des Académies**" (p. 841).

Le GIEC [IPCC en anglais : Intergovernmental Panel on Climate Change], a été créé en 1988 par l'Organisation météorologique mondiale [WMO en anglais] et le Programme des Nations Unies pour l'environnement [UNEP en anglais]. Parmi les membres français qui contribuent aux rapports, Jean Jouzel directeur du laboratoire de modélisation du CEA et Michel Petit. Le GIEC constate que la fin du 20^e siècle est la plus chaude du dernier millénaire. Cela se voit sur les glaciers de montagne, étendues neigeuses et temps de gel des lacs et rivières. Au cours du XX^e siècle les températures moyennes au niveau du sol ont augmentées de 0,6°C (avec grande variabilité). Les marégraphes indiquent une élévation du niveau de la mer de 10 à 20 cm. L'Antarctique lui ne montre aucun signe de réchauffement. Il n'y a pas d'augmentation de la fréquence des cyclones ni des orages.

Michel Petit écrit que c'est un "*changement climatique*" (titre de son 2^e chapitre). Quelles en sont "*les conséquences déjà observées*" ? : "*il existe un grand nombre d'études, (...) Dans la plupart des cas, les changements allaient dans la direction attendue sur la base des mécanismes connus, la cohérence de l'ensemble ne pouvant être due au hasard (...) L'influence des précipitations existe vraisemblablement, mais n'a pas fait l'objet d'études aussi précises, par manque de jeux de données cohérents, concernant à la fois les précipitations et les phénomènes biophysique qui en dépendent.*" (M. P, p. 777).

En dehors de ce travail de rassemblement de données, le GIEC a structuré des recherches sur les climats anciens et sur les modèles climatiques. Ces derniers "ont bénéficiés des progrès de l'informatique et d'un effort vigoureux de recherche fondamentale." (p. 767). C'est uniquement sur l'aspect modèles que porte les articles de J.C. Duplessy et M. Petit.

Que donnent les modèles sur le connu ?

□ J.C. D "*Le réalisme de la simulation de situations climatiques bien documentées (El Nino, oscillation nord-atlantique, mousson, dernier maximum glaciaire datant de 21 000 ans, optimum climatique datant de 6000 ans) est un résultat encourageant.*" (p. 769).

□ Des résultats de la simulation de l'époque historique du début de l'industrialisation à aujourd'hui sont donnés en figure 5, p. 770. Le GIEC "*attribue aux activités humaines l'essentiel du changement climatique de la seconde moitié du XX^e siècle (avec un seuil de confiance estimé à plus de 0,66). Cette attribution repose sur les nouvelles données acquises, sur la modélisation de l'évolution du climat postérieure à 1850 (fig. 5) et sur la mise en œuvre de nouvelles méthodes d'analyse statistiques des données météorologiques, comparées aux simulations issues des modèles.*" (J.C. D, p. 771).

Application des modèles au XXI^e siècle

Le GIEC estime que la teneur de tous les gaz à effet de serre augmentera (CO₂, CH₄ et N₂O, substituants CFC...). Il note que *"La production de gaz carbonique, entre 1990 et 1998, a crû de 1,4% par an, à un rythme très inférieur à celui observé entre 1970 et 1980, qui était de 2,3% par an."* (M. P., p. 781). Cette baisse n'est pas due au "pays industrialisés". Elle est due aux "pays à économie en transition". Le GIEC pousse donc au développement de la modélisation du futur. Pour un modèle à 2100, il faut définir un scénario d'évolution de l'humanité pour le siècle : croissance de la population, croissance de l'économie, égalité ou non entre zones géographiques, niveau technologique, usage massif ou modéré de combustible fossiles etc. Il est obligatoire de faire des choix arbitraires sur de nombreux paramètres.

- Résultats des modèles pour 2100. Le GIEC présente 7 modèles et prend l'enveloppe qui inclut les 7 résultats :
 - la température devrait avoir monté de 1,4 à 6°C (dans 5 modèles sur 7, l'accroissement est compris entre 2 et 3°C; fig.5, p. 782).
 - La mer devrait monter de 20 à 90 cm (dans 6 modèles sur 7 la montée est comprise entre 28 et 38 centimètres).
 - Dans ces modèles, la réponse de la température à un changement d'émission des gaz à effet de serre est de quelques décennies, celle des océans de quelques siècles (J.C. D, p. 771)
- Conséquences d'après modèles :
 - davantage de vagues de chaleurs, réduction de la saison froide
 - pour l'eau : accroissement de la vapeur d'eau de plusieurs pour-cents. Des zones en pâtiraient, d'autres en bénéficieraient. Il est possible qu'il y ait plus d'inondations.
 - pour l'agriculture : les facteurs impliqués sont multiples (la concentration de CO₂ accroît la photosynthèse mais parasites, etc.), *"modèles dont la crédibilité reste sujette à débats..."* (M. P, p. 779) : meilleurs rendements ici, baisse des rendements là.
 - écosystème : des espèces menacées pourraient disparaître, meilleurs rendement des forêts.
 - Europe : la moitié des glaciers pourraient disparaître; *"le tourisme d'hiver sera gêné par la diminution d'enneigement."* (M. P, p. 781).

Michel Petit n'a pas hésité à écrire dans Le monde du 21/02/01 (p. 2) que l'executive summary (le rapport aux décideurs) de son groupe II du GIEC est *"comme une sorte de bible de l'état des connaissances."* (cité dans Y. Lenoir, 2001, p. 196). J.C. Duplessy finit son article en donnant les résultats de modèles qui sont que, pour un réchauffement supérieur à 3°C pendant plusieurs millénaires, les eaux pourraient monter de 6 à 7 mètres. Dans son résumé M. Petit conclut : *"L'efficacité à long terme des mesures envisagées dépend de façon cruciale de leur généralisation à l'ensemble de tous les pays."* Le contenu de cette phrase sonne étrangement. Car le diagramme de la fig. 7 (M. P, p. 783), montre que pour ce qui est de la consommation d'énergie, la glotonnerie n'est due qu'aux "pays industrialisés". On y lit qu'ils ont consommé plus de la moitié de l'énergie primaire mondiale. Or un petit coup d'oeil dans un atlas rappelle que les "pays développés" représentent à peine 20% de la population mondiale ("L'état du monde 1999" La Découverte, edit. p. 583).

Présentation des modèles par les auteurs

- Points forts :
 - *"Ceux-ci sont maintenant capables de simuler le comportement du système couplé océan-atmosphère-glace-continent."* (J.C. D, p. 767).
 - *"Enfin l'impact des mécanismes naturels imputables au soleil et aux volcans est de mieux en mieux quantifié, grâce aux observations satellitaires. Il est modeste : + 0,3 W m⁻² pour le soleil depuis 1750 (...), soit un effet négatif de courte durée associé aux éruptions volcaniques susceptibles d'introduire des aérosols de sulfate dans la stratosphère"* (J.C. D, p. 769)
- Points faibles :
 - a) *"...la physique des nuages reste un point dur, qui devra faire l'objet de recherches fondamentales intensives."* (J.C D, p. 769).
 - b) *"L'effet indirect des aérosols, dû à la perturbation de la couverture nuageuse du fait de la modification du spectre des noyaux de condensation, reste toujours très mal connu et entaché d'une large incertitude."* (J.C. D, p. 769)
 - c) *Ils "ne montrent pas de manière satisfaisante l'évolution du contraste thermique entre le niveau du sol et la troposphère."* (J.C. D, p. 769).
 - d) *"... un effort majeur reste à accomplir pour comprendre et représenter le couplage entre les variations climatiques, celles de la biosphère et celle des cycles biogéochimiques. Ces études n'en sont qu'à leur tout début et elles font déjà apparaître l'existence de rétroactions fortes qui doivent être documentées. A titre*

d'exemple (fig.6), deux simulations indépendantes des bilans de gaz carbonique montrent des variations considérables. Alors que, dans la simulation obtenue à l'aide du modèle de l'IPSI, les forêts continuent à absorber des quantités importantes de gaz carbonique, les sols et la biosphère continentale deviennent des émetteurs de gaz carbonique dans le modèle du Hadley Center, en raison d'une augmentation de l'activité bactérienne liée au réchauffement. Il en résulte la disparition du puits biosphérique continental après l'an 2080 (...). L'accroissement de gaz carbonique dans l'air simulé pour la fin du prochain siècle varie cependant de 50 à 200 ppm entre les deux modèles, ce qui illustre l'ampleur de l'effort de recherche à consentir pour obtenir une évaluation fiable. (...) Les interactions existant entre le climat, la biosphère, les cycles biogéochimiques et l'utilisation des sols constituent donc une source majeure d'incertitude pour la simulation des climats des prochains siècles. " (J.C. P, p. 770).

I.B Commentaire : responsabilité des combustibles fossiles, Validité des modèles;

Physique de l' "Effet de serre"

il n'y a pas de miracle accumulatif, ni d'effet de couvercle. Les molécules qui ont plus de deux atomes interagissent avec des rayonnements électromagnétiques de longueur d'onde bien définie appelées raie d'absorption ("bandes noires", "raies telluriques"). Pour la vapeur d'eau, ces raies sont de 4 à 8 et de 11 à 30 μm . Pour le CO_2 elles sont : 2,7, 4,5 et autour de 15 μm . Or le spectre du soleil au niveau de l'orbite terrestre comprend peu d'infra-rouge en dessous de 5 μm et pratiquement pas au delà de 5 μm . Seules les raies les plus courtes de la vapeur d'eau et du CO_2 peuvent absorber de l'énergie solaire. Le rôle de la vapeur d'eau est capital, elle peut absorber $1/10^6$ de la radiation solaire totale. Par contre, par leurs raies longues (11 à 30 μm) ces molécules interagissent bien avec le rayonnement de la terre (infra-rouge long). Dans les deux cas, le CO_2 est concurrencé par la vapeur d'eau. Mais ces molécules vont chercher à dissiper leur énergie interne et elles ne savent rayonner que comme elles absorbent, selon les mêmes raies spectrales qui correspondent à leur mode vibratoire. La puissance de rayonnement est très dépendante de la température (courbe de radiance spectrale du "corps noir" ou "radiateur intégral", loi Kirchhoff). La puissance émissive est donnée par la surface définie par les raies émissives sur l'axe des x et la hauteur de la courbe de radiance à la température donnée sur l'axe des y (Lenoir, Y. fig. 2, p. 48). Aux températures terrestres, vers 15°C, seules les raies infra-rouge longues peuvent émettre (11 à 30 μm). Un gaz à effet de serre n'est donc qu'un simple transformateur d'énergie radiative. Il résulte du jeu des raies d'absorption/émission que, globalement, vis à vis du rayonnement solaire reçu, l'effet de serre refroidit l'atmosphère actuelle. En effet si une énergie est bien captée des rayonnements solaires par ce biais, l'équilibre se stabiliserait à une température qui est inférieure à celle de la température moyenne de la surface de la terre actuelle. Le déficit est comblé notamment par l'énergie cédée au sol sous forme de chaleur sensible, et de chaleur latente pour l'eau. Par contre l'interaction avec le rayonnement de la terre (infra-rouge long) est équilibrée, et la vapeur d'eau qui absorbe 90% de la chaleur obscure émise par le sol, joue de rôle de valve. Elle empêche ainsi la déperdition de chaleur vers l'espace. Seules les radiations du sol comprises entre 9,5 et 11 μm (bande transparente) peuvent s'échapper en partie. Il est donc plus approprié d'appeler les gaz à effet de serre des gaz émissifs (On a résumé ici : Pédelaborde, P. 1982, p. 54; Lenoir, Y. 2001, chap. I.3)

Quelle est la part des combustibles fossiles dans "l'effet de serre" ?

C'est quelque chose qu'aucun des auteurs n'a pensé à définir. Dans l' executive summary adopté en 1991 par le GIEC, les informations concernant les gaz autres que le CO_2 ne sont plus intégrés dans les courbes d'émission. Mais il est mentionné que les simulations en tiennent compte (Lenoir, Y. 2001, p. 179). Vu le caractère très polémique donné à ces gaz par le GIEC, il est dommage que J.C Duplessy n'est pas rectifié cela dans son article. Les courbes de l'augmentation historique des concentrations dans l'air de tous ces gaz-traces sont spectaculaires mais doivent être traduites en valeurs ayant trait au climat.

Le flux d'énergie radiative émis par l'atmosphère vers le sol est de l'ordre de 327 W/m^2 . **La valeur moyenne calculée du forçage radiatif anthropique à ce jour est égale à environ 2,6 W/m^2 soit moins de 1%** (J.C. D, p. 769, Sadourny, R. 2001, Lenoir, Y 2001, etc.). **C'est donc un forçage doux.** Très dépendant de la température, le forçage n'est pas homogène, il est maximal sous les latitudes inférieures à 30°C et minimal au delà des cercles polaires.

Gaz par gaz, rapportées à la résultante de 2,6 W/m^2 sur le cumul anthropique à ce jour, les contributions sont (Sadourny, R. 2001, p. 335; Lenoir, Y. 2001, p. 54) :

- gaz carbonique : 55 à 60%
- méthane : 18%,
- CFC et substituts : 12-13%,

- protoxyde d'azote : 6%,
- autres sources : 4 à 8 % (Ozone...)

Il existe naturellement des mécanismes modérateurs : à mesure qu'un gaz émissif s'accumule, ses bandes d'absorption tendent à se saturer et l'effet d'accumulation supplémentaire va diminuant. Par exemple, le forçage radiatif naturel du CO₂ est évalué à 50 W/m², en ajoutant 30% de CO₂, nous n'avons accru ce forçage que de 1,4 W/m². Entre les années 1850 et 1950, alors que le cumul était encore faible, la part relative du CO₂ était dominante. Au niveau actuel d'ajout, le CO₂ ne participe qu'à environ 45% du forçage radiatif (IEA/OCDE 1991, fig. 4; Sadourny 2001, p. 337; Lenoir, Y. 2001, p. 54).

Le CO₂ rajouté est donc responsable d'environ la moitié de l'effet de serre d'origine anthropique.

Mais c'est la vapeur d'eau qui est le vecteur essentiel du processus climatique. Il y a 13 000 km³ d'eau-vapeur dans la troposphère, qui est responsable de 90 % des échanges d'énergie via absorption/émission (60% de l'"effet de serre") et chaleur latente, dont les interactions sont extrêmement complexes, avec les propriétés des nuages qui sont très importantes (Pélaborde, P. 1982, p. 59; Lenoir, Y. 2001, chap. I.4 et p. 166). L'eau répond relativement rapidement puisque son cycle ne dépasse guère huit jours (Lenoir, Y. p. 34).

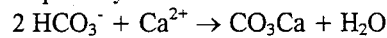
On a cité plus haut J.C. Duplessy qui avertit qu'on ne maîtrise pas les flux du carbone qui transitent par les processus du climat.

| Cycle du carbone (en Gt) | | |
|--|--|---|
| | flux annuels | stocks |
| stock de carbone dans l'océan | | 37 000 à 40 000 ^{(1),(5)} |
| dont carbone organique dissous | | 700 ⁽¹⁾ |
| stock carbone dans les 100 premiers mètres | | 840 ⁽⁵⁾ |
| stock carbone profond | | 36 000 ⁽⁵⁾ |
| flux apporté par le volcanisme sous-marin | 0,2 ⁽⁵⁾ | |
| flux apporté aux océans par l'altération continentale | 0,2 à 0,25 ⁽⁵⁾ | |
| carbone piégé en sédiments marins | 0,2 à 0,25 ⁽⁵⁾ | |
| carbone qui transite dans les deux sens, à travers la surface de la mer | 30 ⁽⁴⁾ à 70 ⁽⁵⁾ | |
| stock actuel de carbone dans l'atmosphère | | 660 ⁽⁵⁾ 770-780 ^{(1),(3)} |
| stock qu'il y avait en période interglaciaire | | 450 ⁽⁵⁾ |
| flux apporté par le volcanisme aérien | 0,05 ⁽⁵⁾ | |
| stock de carbone dans la biosphère (forêts, prairie, humus) | | 2000-2300 ^{(1),(3)} |
| échange atmosphère-biosphère (photosynthèse) dans les 2 sens | 85 ⁽⁵⁾ à 200 ⁽³⁾ | |
| terrestre | 50 ⁽⁵⁾ à 100 ⁽³⁾ | |
| océanique | 35 ⁽⁵⁾ à 100 ⁽³⁾ | |
| émissions anthropiques actuelles | 6 à 7 ^{(1),(2),(3)} | |
| dont combustibles fossiles | | 5 ⁽²⁾ |
| dont déforestation | | 2 ⁽²⁾ |
| estimation de la part anthropique absorbée par l'océan | 2 ± 0,6 ⁽¹⁾ | |
| résidu dans l'air des émissions anthropiques | 3,2 ^{(1),(2)} | |
| Pour passer de masse de carbone à masse de CO ₂ multiplier les chiffres par 3,7 | | |
| ⁽¹⁾ Dandonneau, Y., 1998; ⁽²⁾ Mr. Ciais, GIEC, 1998, reproduit dans Gazette nucléaire 173/174, p. 7; ⁽³⁾ Lenoir, Y. 2001, p. 159; ⁽⁴⁾ Labeyrie, J., La Recherche n° 73, p. 1040; ⁽⁵⁾ Javoy, M. 2001 | | |

Les chiffres varient beaucoup. Tout n'est pas cohérent dès lors qu'on puise chez différents auteurs. Mais deux choses frappent : l'océan est le grand lieu de stockage, la biosphère est le grand moteur des flux. Mais il apparaît que le cycle n'est plus capable d'absorber toutes les émissions anthropiques. En tout cas tout se passe comme si. Parce qu'on comprend au regard d'un tel tableau que la disparition d'un pourcentage de la flore à cause de poisons qu'on rejeterait dans l'environnement pourrait avoir des conséquences sur le cycle du carbone plus importantes que les rejets de carbone fossile. Cela est aussi évoqué pour l'action des UV à l'aplomb du "trou d'ozone" stratosphérique.

- L'IEA/OCDE (1991, p. 17) rapporte que la déforestation a 3 conséquences : i) la matière organique contenue dans le sol s'oxyde assez rapidement en CO₂, ii) le bois et les matières organiques de la forêt partent en CO₂ par combustion ou par phénomènes biochimiques, iii) cela supprime un lieu de stockage par photosynthèse. Il est estimé que 200Gt ont ainsi été relâchés entre 1860 et 1980, dont 2,4 Gt en 1980.

- La fabrication du ciment a produit 0,136 Gt de carbone en 1986 (contre 0,018 Gt en 1950), en accroissement (IEA/OCDE 1991).
- Les circulations océaniques profondes restituent (upwellings) à l'atmosphère une grande partie du gaz carbonique produit par oxydation du carbone organique issu du plancton dans l'océan profond (Dandonneau, Y. 1998; Lenoir, Y. 2001, p. 83).
- L'extraction de CO₂ du circuit climatique par les coccolithophoridés (dépôts crayeux) ou les massifs coralliens est un exemple des difficultés que l'on peut rencontrer pour reconnaître les échanges (également carbonatogénèse bactérienne, thèse Castanier, Nantes, 1987 présentée dans Géochronique de fév. 89). La fabrication de CaCO₃ qui accompagne la photosynthèse :



fait disparaître deux charges négatives donc augmente l'acidité de l'eau. Cette dernière est alors moins disposée à dissoudre le CO₂ qui est un acide faible (Dandonneau, Y. 1998). Un développement des coccolithophoridés (ou des coraux) a pour conséquence contre-intuitive un flux de CO₂ des eaux de surface vers l'atmosphère. Ce qui n'empêche pas que en même temps il soustrait du carbone sous forme insoluble de carbonate vers les profondeurs. Ce dernier sera stocké en dépôt sédimentaire sur les plates-formes continentales ou sera dissous dans les eaux profondes abyssales. Cette chute continue de débris organiques et les coquilles calcaires du plancton prend environ 1 mois (Javoy, M. 2001, p. 321). Le plancton se renouvelle totalement tous les uns à deux mois (temps de résidence moyenne; Javoy, M. 2001, p. 314). Les facteurs limitants ultimes de la production du phytoplancton marin sont les sel nutritifs, essentiellement phosphates et nitrates (mais certaines cyanophycées marines comme *Trichodesmium* transforment directement l'azote de l'air). Un apport de silice aura aussi une influence sur les flux de CO₂ parce qu'il favorisera le développement des diatomées au dépens des coccolithophoridés (Treguer, P. 2002, C.R. Geoscience 334, 3-11). Le résultat un peu paradoxal est que, vu de l'atmosphère, le bilan de la prise de CO₂ par l'océan est plus élevé qu'avec les coccolithophoridés. Cependant cette dernière situation est celle des périodes glaciaire ou l'érosion libère plus de silice, nous sommes actuellement en phase inverse. L'espèce de coccolithophoridés *Emiliana Huxleyi* prolifère chaque année au point de modifier la couleur de l'océan vu de l'espace (Dandonneau, Y. 1998).

□ Pour ce qui est du méthane, CH₄, une grande part présent dans l'atmosphère résulte de la fermentation intestinales (insectes herbivores, termites...), de la décomposition anaérobie de matières organiques (tourbières, marécages), des rejets du à la biosynthèse (forêts à feuilles caduques). Les mesures fournies par les carottes de glace montrent un parallélisme parfait entre température et concentration du méthane (J.C. D, fig. 5, p. 770; Lenoir, Y. 2001, p. 68). L'accroissement actuel du méthane (0,7 à 1,75 ppmv) est principalement lié aux aspects alimentaires de l'explosion démographique. Les sources sont surtout les rizières puis les panses de ruminants, aussi la combustion de biomasse (décharges...) (Sadourny, R. 2001, p. 333). Les fuites de gaz naturel et dues à l'extraction du charbon sont proportionnellement faibles (<15%, IEA/OCDE 1991, tabl. 1.2).

□ La teneur de l'atmosphère en protoxyde d'azote N₂O augmente (27 à 31 ppmv) à cause du développement de l'agriculture et de son recours massif aux engrais (Sadourny, R. 2001, p. 333) aussi des combustions (IEA/OCDE 1991, p. 20). Les rejets naturels qui font partie du cycle de l'azote sont dus aux processus microbiens (océans, estuaires, sols).

□ CFC (interdits à partir de 2005) et substituts HCFC et HFC : Ces gaz inertes non toxiques sont en très petite quantité mais leur émissivité est 1000 à 10 000 fois celle du CO₂. Ils sont utilisés dans l'industrie du froid, comme solvants, pour les mousses plastiques expansées et comme propulsants pour aérosols. Ils absorbent aussi dans des longueurs d'onde où ne se produisait aucune absorption jusque là. On s'attend à des croissances rapides de production dans l'avenir (sadourny, R. 2001, p. 334, Lenoir, Y. 2001, p. 66 et 203).

□ L'origine de l'ozone troposphérique, O₃, est complexe. Il semble résulter de l'action des UV sur les vapeurs d'hydrocarbure naturels (terpènes émis par feuilles) ou artificiels (imbrûlés). On trouve l'ozone au dessus des forêts équatoriales, des feux de brousses et dans les villes polluées. A noter que c'est un toxique pour gens et plantes (Lenoir, Y. 2001, p.66-67).

□ Par ailleurs l'agriculture, par l'irrigation, a augmenté singulièrement l'évaporation d'eau continentale jusque là piégée. C'est aussi une composante anthropique qui interagit avec le climat (au moins en terme d'énergie), non prise en compte actuellement (Lenoir, Y. 2001, chap. II.4).

En regard de cette phrase de C. Lorius dans l'article de conclusion (p. 842) :

"Les émissions de gaz à effet de serre, notamment du CO₂ sont essentiellement liées à la combustion des carburants fossiles..."

on peut résumer qu'en terme d'effet de forçage radiatif, le CO₂ rajouté est responsable de la moitié de la part anthropique, qu'environ 70% de ce CO₂ provient de la combustion des combustibles fossiles, que donc ce dernier est responsable de forcément moins de la moitié du forçage radiatif anthropique. Et sur l'ensemble des gaz effet de serre anthropiques, la combustion des combustibles fossiles n'est pas responsable de plus de

moitié de l'effet de forçage anthropique. Et l'ensemble de ce forçage est lui même de moins de 1% du flux d'énergie radiative émis par l'atmosphère vers le sol. N'était-il pas important de rappeler ces proportions dans un numéro spécial intitulé "Energie et climat" afin de savoir de quoi on parle ?

Validité des modèles du GIEC : il y a un peu du serpent qui se mord la queue

Le GIEC insiste surtout sur les résultats des modèles de l'évolution de la température moyenne du globe. Cette notion de température moyennée mondiale est la seule sur laquelle les modélisations s'accordent à peu près (Y. Lenoir 2001). Il y a un accroissement des gaz "à effet de serre" (CO₂, CH₄, N₂O, CFC, O₃...) anthropique dont on calcule qu'elle conduit à une légère augmentation du flux infrarouge moyen de la troposphère vers le sol. Dans un autre registre, les mesures de température, elles, aboutissent à un bilan d'augmentation de la température moyenne globale de 0,6°C pour la même période.

Regardons les résultats du modèle du Hadley center reproduits en fig. 5 de J.C. Duplessy (p. 770; aussi Lenoir, Y. fig. 6, p. 64). C'est celui là que le GIEC a décidé de montrer. Un scénario appelé "Natural" simule le bilan radiatif d'activité solaire et les éruptions volcaniques les "gaz à effet de serre" gardés constants. Un autre scénario appelé "Anthropogenic" simule une augmentation des "gaz à effet de serre" et sulfate (aérosols). Un troisième scénario appelé "All forcing" simule les changements simultanés des 4 paramètres ci-dessus. "Anthropogenic" donne des valeurs, calées sur celles de départ, qui ne varient guère avant 1970 donc n'expliquant pas les variations antérieures. Mais à partir de 1970, il fait comme la température moyenne observée. "Natural" simule des écarts importants (de +0,3 à -0,2°C) entre 1860 et 1920. Les mesures n'ont pas montré ces écarts et font même l'inverse du simulé entre 1900-1920. Par contre "Natural" produit une augmentation entre 1910-1945 puis une baisse au delà qui peuvent être comparées aux variations observées. Puis il simule une continuation de baisse jusqu'à l'actuel. On retrouve tout cela dans "All forcing": certaines variations comme celles observées sont trouvées via les données de "Natural", d'autres de celle d' "Anthropic" et des variations prévues par le modèle n'ont pas été observées. En 1995 le GIEC avait publié un éclaté de modèle "Anthropogenic". La simulation des "gaz à effet de serre" donnait une augmentation trop élevée de la température moyenne parce qu'elle ne peut simuler la baisse/stagnation de 1945 à 1970. On ne comprenait pas (La Recherche n°283; Y. Lenoir, p. 64). Alors on avait introduit le paramètre à effet inverse, les aérosols sulfatés (il apparaît dans les scénarios du GIEC entre 1990 et 96). Et on tombait pile sur la valeur mesurée à l'an 1990. Quelle fiabilité faut-il donner à ce récent paramétrage alors que J.C. Duplessy écrit que cet effet (aérosols) "*reste toujours très mal connu et entaché d'une large incertitude.*" (p. 769) ? Cela veut dire que le ou les paramétrages (en fonction des pratiques industrielles et des époques) retenus sont arbitraires.

On a le droit de se poser des questions. Dans les années 1990, on nous montrait un effet de serre qui simulait bien l'augmentation de température entre 1915 et 1945, aujourd'hui c'est au scénario "Natural" qu'est dévolue cette tâche. Donc dans les années 90 on ne tenait pas compte du naturel ou on évitait de nous montrer le cumul des deux ?

La climatologie étant l'une des sciences les plus complexes qui soit, on en est presque réduit à juger d'après des résultats de modèles qui appréhendent cette complexité. Or que fait-on. On "règle" les modèles jusqu'à ce qu'ils produisent des valeurs comparables à celles observées. Dès lors que l'on a à faire à des paramètres non maîtrisés, et ils sont fondamentaux, comme l'eau (on "fait pleuvoir" via une formulation empirique réglée à la main pour le contexte local : pôles, équateur, reliefs...; Lenoir, Y. 2001, p. 135), le biogéochimique (voir plus haut ce qu'en dit J.C. D), la circulation des océans ou encore les aérosols, on se guide sur les résultats obtenus qui doivent être de l'ordre de l'attendu. Normal. Puis ensuite, on :

"attribue aux activités humaines l'essentiel du changement climatique de la seconde moitié du XX^e siècle (avec un seuil de confiance estimé à plus de 0,66). Cette attribution repose sur les nouvelles données acquises, sur la modélisation de l'évolution du climat postérieure à 1850 (fig. 5) et sur la mise en œuvre de nouvelles méthodes d'analyse statistiques des données météorologiques, comparées aux simulations issues des modèles.." (J.C. D, p. 771).

Donc on déduit de cette correspondance que l'on a réussi à reproduire les faits, donc à expliquer ce qui se passe... Il y a un peu du serpent qui se mord la queue. Pourtant aux début des années 90, les modèles laissés à eux mêmes (sans rectifications par paramétrages arbitraires) arrivaient à "évaporation de l'océan"... (rapport CEA, 1993, par P. Rouvillois, sur les modèles du Livermore National Laboratory; cité dans Lenoir, Y., 2001, p. 86).

Ces modèles numériques sont des objets artificiels, des outils pour essayer de comprendre. Ils arrivent désormais à rendre compte des grandes lignes de la circulation atmosphérique et des ses variations saisonnières. Mais ils n'ont pas de modèles dynamiques descriptifs de référence ni pour l'atmosphère (cellules de Hadley ? Anticyclones mobiles polaires ?), ni pour les océans (devenir du Gulf stream au nord, de son retour profond vers l'Antarctique, etc.). Comment juger de leur pertinence ? A plus petite échelle, de très nombreux phénomènes échappent au découpage standard de la maille de 300 km × 300 km (couloirs dépressionnaires,

détails des basses couches où circule l'air froid, "équateur météorologique incliné", nuages, cyclones, etc.; Lenoir, Y., p. 134). Les résultats utilisables sont des moyennes.

Au XX^e siècle, en terme de moyenne globale, il y a eu deux épisodes séparés d'augmentation de la température d'environ 0,5°C, séparés par un épisode de descente stagnation. L' "effet de serre" des modèles avec leurs réglages ne simule, à la date 2001, qu'une situation semblable au deuxième soit, au mieux, pour tout crédit, une période historique de 30 ans sur 140. Il n'explique plus l'autre. Encore faut-il préciser que ce sont les aérosols sulfatés qui sont devenus le modulateur majeur de ce scénario, sans quoi on a une courbe ascendante continue qu'on ne peut pas comparer à grand chose (courbe éclatée du GIEP 1996, reproduite dans Lenoir, Y. 2001, p. 64). Par ailleurs, il est dangereux de prendre comme référentiel de raisonnement à l'an 2000, un autre modèle : "Natural", puisque ses résultats sont fort fluctuants par rapport aux référentiel de mesure, voir inverse, pour tout le premier tiers de la période historique modélisée, puis sont "cachés" pour le dernier quart si l'on accorde crédit aux agents du scénario "Anthropogenic". Là encore, si la période pendant laquelle les résultats correspondants à ceux observés est due (ou en partie) aux agents modélisés par ce scénario, son crédit historique ne reste que de 40 à 50 ans sur 140.

C'est n'est pas énorme. Donc finalement, sur quelles certitudes se base-t-on pour affirmer qu'il y a un effet de retenue "de plusieurs décennies, jusqu'à ce que l'océan et l'atmosphère aient atteint un état d'équilibre thermique." (J.C. D, p. 771) ? Cela a beaucoup été utilisé par des modélistes en vue au GIEP pour expliquer pourquoi on observe pas le réchauffement prévu par les calculs. Or en juin 91 eut lieu une violente éruption au Pinatubo qui éjecta très haut des millions de tonnes d'aérosols. On pouvait estimer qu'il en résultait une réduction du flux solaire de 3W/m², valeur supérieure à celle du forçage anthropique, et un spécialiste annonça avec son modèle un refroidissement. Celui ci se produisit, et même tout de suite en 1991 et 1992 (-0,5°C). Ce qui fait écrire à Y. Lenoir (2001, p. 153) : "*Pourquoi diable la variabilité climatique s'acharnerait-elle avec constance depuis plus d'un demi siècle à dérober à nos regards les conséquences prédites d'une augmentation de 2,5W/m² du forçage radiatif de l'atmosphère vers la surface, mais s'effacerait-elle miraculeusement pour laisser s'exprimer sans entrave, instantanément et partout l'effet d'une diminution du même ordre du flux solaire pénétrant dans l'atmosphère ?*"

Plutôt que d'avoir établi des certitudes, on semble surtout progresser à tâtons. Il est évident que l'avenir nous réservera encore quelques surprises.

L'une de ces surprises est arrivée par un article de Kahl & al. dans Nature 28 jan. 93. Avec la fin de la guerre froide, la déclassification soudaine de grandes quantités de données météorologiques militaires américaines et soviétiques sur l'Arctique révèle que cette région s'est refroidie entre 1950 et 1990 (en moyenne de -1,5°C). Or tous les résultats des modèles numériques de l'effet de serre prédisent surtout un réchauffement aux pôles. Le résultat est doublement contradictoire parce qu'un réchauffement en altitude a été observé en parallèle au refroidissement de surface ("inversion de température"). Or c'est justement contraire aussi aux résultats des modèles (Lenoir, Y. 2001, p. 146). Est-ce pour cela que J.C. Duplessy a écrit que les modèles "*ne montrent pas de manière satisfaisante l'évolution du contraste thermique entre le niveau du sol et la troposphère.*" (p. 769) ? Les hivers de l'Amérique, Sibérie, Mongolie et Corée du nord ont atteint des records de froid depuis 1990. En février 2001, Mongolie et Corée du Nord avaient de très grandes pertes agricoles à la suite de deux hivers particulièrement froids et périodes sèches (Lenoir, Y., p. 33). Or les modèles numériques prédisent tous une élévation maximale de température en hiver dans les régions continentales situées aux latitudes élevées.

Sur un plan tout autre, celui de la circulation océanique nord Atlantique, J.C. Duplessy n'a-t-il pas écrit dans La Recherche (n°295, fév. 97) que les changements induits par l'effet de serre "*pourraient entraîner un refroidissement rapide de l'Europe occidentale.*" ? (cité dans Lenoir, Y., p. 84).

Il y a donc de grosses incertitudes et des problèmes par rapports aux prédictions. On ne maîtrise pas tout. On utilise pourtant ces modèles sans état d'âme pour prédire le futur, et c'est d'ailleurs ces résultats là et seulement eux, qui bénéficient d'une très large médiatisation. Il est vrai qu'ils sont intrinsèquement indiscutables puisque invérifiables.

Les thèses prévisionnistes soutenues par le GIEC (IPCC) ont eu une consécration historique puisque c'est là l'origine des traités internationaux et leur contenu : la Convention Climat (Rio 1992) et le protocole de Kyoto (1997). En réponse au contenu de ces traités, les américains ont choisi de planter massivement des arbres (1 milliard/an) sans modifier leur consommation en combustibles fossiles et leur agriculture. Depuis 1996, la société norvégienne Statoil réinjecte le gaz carbonique récupéré de l'épuration/séparation d'un gisement de gaz naturel de la mer du nord, en réservoir géologique sous la mer, pour un prix qui est dans la fourchette de celui des taxes sur le carbone imposées dans ce pays. Le "coal and Power system" des Etats-unis est prêt à faire la même chose et réclame même de son gouvernement qu'il fixe simplement les règles du jeu. Si on lui fixe les règles, l'industrie piégera et stockera le CO₂, les capacités de séquestration dans la biosphère, en formations géologiques ou dans l'océan sont énormes (Lenoir, Y. 2001, p. 206-209). Mais c'est l'état français et ses X-