



*Réception des Membres élus en 2004
le 14 juin 2005*

L'histoire de la terre et le temps des hommes
Jean Dercourt, Secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences

Depuis une vingtaine d'années et, en particulier, depuis des rapports successifs des groupes d'experts internationaux comme le GIEC (Groupement Intergouvernemental d'Exploration des Climats), on sait que l'accroissement récent des émissions anthropiques de gaz à effet de serre devrait produire un accroissement global des températures. C'est devenu une des principales préoccupations écologiques, économiques et politiques de l'humanité. Pour beaucoup de citoyens dans le monde, l'action de l'homme a déclenché un phénomène unique dans l'histoire de la Terre qui mettrait en jeu sa survivance dans les siècles prochains.

Pendant la même période, des techniques nouvelles : spatiales, sismiques, chimiques, paléontologiques, paléogéographiques et des concepts originaux mettent en évidence la dynamique et, dans quelques cas privilégiés, la cinématique des différentes enveloppes terrestres, depuis le noyau jusqu'à la haute atmosphère. Elles permettent de comprendre le processus et de placer en perspectives temporelles les bouleversements redoutés.

Dans l'opinion publique, les mouvements dans les enveloppes externes de la planète, c'est-à-dire l'atmosphère et les océans, les évolutions redoutées, sont attendues à l'échelle du temps des hommes, des saisons, des années et des siècles. Ils sont d'autant plus redoutés qu'ils ne se seraient jamais produits sur la planète aussi rapidement ni aussi brutalement.

Les mouvements des enveloppes profondes seraient connus, au mieux, à l'échelle du million d'années. Il y aurait donc une discordance majeure entre l'histoire géologique de la Terre et le temps qu'apprécient les hommes.

La multiplication des découvertes et l'approfondissement des données commencent à éclairer le temps des hommes par l'histoire de la Terre, toutes les sciences y contribuent : la présence, depuis l'origine de la Terre, de phénomènes rapides et brutaux est attestée.

Ce bouleversement des idées est suivi par l'Académie dans des colloques et dans ses publications. Je vais tenter de les exposer à partir d'articles publiés dans les Comptes Rendus de l'Académie des sciences et, en particulier, dans des numéros thématiques qui y sont consacrés : ceux conduits par Michel Petit sur "*l'effet de serre*" en 1999 et 2005, sur la "*paléoclimatologie*" par André Berger et Jean-Claude Duplessy en 2004, par Vincent Courtillot sur "*les dynamiques de la Terre*" en 2003, par Jean-Claude Duplessy sur "*les accidents climatiques brutaux et localisés*", enfin, par Henry de Lumley en association avec l'Académie des Inscriptions et Belles Lettres, consacré aux "*climats, cultures et sociétés aux temps préhistoriques*".

* *
*

Avant d'aborder cette présentation, je voudrais rappeler deux vérités de base souvent oubliées. Elles constitueront le décor de mon propos :

1^{er} point : L'énergie initiale affectant la planète Terre, et beaucoup d'autres, est nucléaire. Dans le soleil d'abord, où la nucléosynthèse produit des photons. Ils arrivent sur la surface terrestre perpendiculairement à l'équateur, où ils l'échauffent fortement, et presque tangentiellement aux pôles, où ils l'échauffent moins. La tendance à l'homogénéisation des températures induit la dynamique de l'atmosphère et des océans. En outre, par réactions photosynthétiques, les végétaux stockent l'énergie dans le bois, les charbons, les pétroles, bitumes et les gaz. Par ailleurs, au cœur de la planète, l'énergie nucléaire est issue de la désintégration des éléments instables depuis leur formation dans le nuage stellaire originel. En outre, des éléments radiogéniques sont concentrés en minerais dans les roches magmatiques et dans les roches sédimentaires.

2^{ème} point : La Terre a une histoire, c'est-à-dire un début, un présent et elle aura une fin. Cette histoire est jalonnée par une succession d'époques, chacune caractérisée par sa biodiversité.

L'unité de temps de cette histoire, si elle est toujours l'année, le pas d'une époque à une autre est d'autant plus grand que ces époques sont lointaines. Les plus anciennes s'expriment en milliards d'années, celles du dernier milliard le sont en millions d'années et celui du dernier million, en milliers d'années.

Mais, ces changements d'échelles sont autant de blocages psychologiques. Tout se passe comme s'il y avait deux temps distincts : le temps long où beaucoup d'événements se déroulent, curieux et intéressants, mais sans commune mesure avec ce qui se produit aujourd'hui. Tout se passe comme si l'histoire de la Terre et le temps de hommes étaient distincts. Je voudrais montrer que le temps des hommes n'est qu'une étape dans l'histoire de la Terre et celle-ci nous apprend beaucoup pour celle-là.

* *
*

Je vais tenter de le faire en présentant la dynamique des enveloppes internes, puis des enveloppes externes et, enfin, leurs interférences.

Pour aborder les enveloppes internes, je citerai, sans en dire plus, la tectonique des plaques, fort connue de tous car, à chaque tremblement de terre, à chaque émission volcanique, tous les médias l'illustrent et souvent fort bien. Dans le manteau, faits de roches solides mais visqueuses, des courants de convection, dont l'état actuel est de mieux en mieux imagés par tomographie, sont responsables du déplacement des plaques en surface.

Sous le manteau, au-delà de 3000 km de profondeur, le noyau liquide est un fluide de fer fondu de faible viscosité, voisine de celle de l'eau. Il engendre le champ magnétique terrestre.

Le champ magnétique oriente l'aiguille de la boussole, il est d'origine interne, dipolaire, comme si un barreau aimanté était placé au centre de la Terre. Sa valeur d'environ 40 000 nanoteslas à nos latitudes est environ 100 000 fois plus faible que celle du champ magnétique que l'on pouvait obtenir avec un grand électroaimant, celui de Bellevue, par exemple. Mais, ce champ fluctue et sa direction et son intensité varient dans l'espace et le temps (c'est la "variation séculaire"). On observe, par exemple, que la déclinaison, c'est-à-dire l'angle entre le nord indiqué par un compas magnétique et le nord géographique, varie quand on se déplace sur la surface du globe (Christophe Colomb l'avait remarqué lors de son premier voyage), ainsi qu'au cours des années, ce qui oblige à indiquer sa variation en marge des cartes.

La rapidité, à l'échelle humaine, des variations du champ magnétique terrestre, conduit à estimer la vitesse du fluide à la surface du noyau à des valeurs de l'ordre du millimètre par

seconde, c'est-à-dire à celle de l'eau. Courtillet et Le Mouél ont mis en évidence des variations impulsives globales de moins d'une année : les secousses, dont les plus récentes se sont produites en 1914, 1970, 1978 et 1991.

On observe, à l'échelle de la dizaine d'années, des variations de la longueur du jour de l'ordre de la milliseconde, qui ne peuvent être attribuées qu'à l'action du noyau. Ces variations de la longueur du jour sont bien corrélées aux "secousses" de la variation séculaire du champ magnétique, elles-mêmes liées aux mouvements fluides dans le noyau. La corrélation est si bonne que l'identification d'une impulsion de variation séculaire en 1978 a conduit à la prédiction d'un début d'augmentation de la longueur du jour une dizaine d'années plus tard, prédiction qui a été confirmée par les faits. La champ magnétique terrestre engendre une magnétosphère autour de la Terre qui la protège du vent solaire. On ignore encore à quels phénomènes sont corrélées ces variations du champ magnétique.

* *
*

Parmi les enveloppes externes, dans les océans, la circulation dépend de la morphologie des bassins, du régime des vents, des forces de Coriolis liées à la rotation de la Terre et des différences de densité de l'eau.

Les principaux échanges thermiques actuels sont, désormais, bien connus. Les eaux chaudes de surface du Pacifique sud-ouest entrent dans l'Océan Indien, restent sur son bord septentrional, contournent l'Afrique, traversent l'Atlantique à l'équateur jusqu'au golfe du Mexique, d'où elles le traversent à nouveau en rejoignant l'Océan Arctique, entre Groenland et Europe (c'est alors le Gulf Stream). Ce mouvement est compensé par celui des eaux froides profondes. Elles plongent par des tourbillons gigantesques localisés, entre Canada et Groenland, entre Groenland et Scandinavie, elles longent les côtes américaines puis, entre Argentine et Antarctique, se déplacent vers l'est à la base de l'océan austral. Enfin, par paliers, elles remontent en surface dans le Pacifique où elles se dispersent. Ce circuit dure de 1000 à 1200 ans et notre confrère Éric Orsenna vient de le conter avec rigueur et pétillance.

Les courants du passé peuvent être reconstitués car, comme les actuels, ils ont façonné l'architecture des sédiments où les fossiles traduisent les conditions climatiques des dépôts et parfois des transports. On sait ainsi, par exemple, reconstituer les courants marins dans l'Atlantique central depuis son ouverture, il y a 150 millions d'années, de celle de l'Atlantique sud, ouvert il y a 100 millions d'années, et dans l'Atlantique septentrional, il y a 20 millions d'années, ou les conséquences de la fermeture de la liaison Atlantique/Pacifique, il y a 4 millions d'années ; tous traits morphologiques qui affectent fortement les transferts d'énergie, donc les climats.

Lors de rares périodes dans l'histoire de la Terre, des calottes glaciaires ont existé aux deux pôles, alors les faibles variations de température liées aux différents cycles de l'orbite terrestre prennent une importance considérable sur les transports d'énergie et donc sur les climats. La planète a amorcé sa plus récente entrée en glaciation il y a 5 millions d'années, en Antarctique et 1 800 000 ans en Arctique. La cyclicité du forçage astronomique sur la température de l'atmosphère se lit dans de petites bulles d'air piégées dans la glace. Et depuis juin 2004, elle est caractérisée jusqu'à 740 000 ans, dans le forage antarctique européen d'EPICA où deux cycles de 400 000 ans scindés en cycles plus courts de 100 000, 41 000, 23 000 et 19 000 ans ont été mis en évidence. Ces étapes de refroidissements/réchauffements se retrouvent dans les sédiments des hautes latitudes. Mais, d'autres variations de la température de l'air fortes et rapides sont superposées aux cycles astronomiques. Dans les bulles d'air des glaciers arctiques, par exemple, à une période froide succède un réchauffement abrupt qui ne dure que quelques décennies, puis une nouvelle période froide reprend pour quelques millénaires. Les changements brutaux de température atteignent 10 à 16° C au Groenland où, par exemple, on

relève 16 épisodes dits de Dansgaard entre 58 000 ans et 28 000 ans avant l'actuel. La durée de chaque épisode n'est pas constante. Des échos de ces variations rapides s'observent en mer. Dans les sédiments alternent des niveaux fins et fossilifères avec des niveaux détritiques, grossièrement classés et dépourvus de fossiles, transportés par les icebergs fossilisant les brutales successions de périodes froides et de périodes chaudes.

Ces variations climatiques tiennent à l'instabilité mécanique des calottes glaciaires et à la circulation océanique plus qu'à des variations de l'insolation. Leur influence sur la circulation dans les océans est importante, par exemple l'afflux de grandes quantités d'eau froide, conséquence de la fonte des calottes glaciaires pendant les réchauffements brefs et intenses, bloque les eaux chaudes du Gulf Stream. Il cesse d'apporter de l'énergie au nord de l'Europe.

* *
*

Je voudrais montrer, maintenant, que la dynamique des enveloppes internes interfère fortement avec celle des enveloppes externes dont elle modifie la composition chimique et le comportement physique. Prenons, tout d'abord, l'exemple des variations de gaz à effet de serre. Partons du plus efficace d'entre eux qu'est la vapeur d'eau. Son abondance est liée à la surface des mers et des océans. Ainsi, au Crétacé, il y a 100 millions d'années, une activité accrue de la dynamique des plaques fait déborder les océans et aboutit à noyer la moitié des continents. L'évaporation accroît la quantité de vapeur d'eau, elle provoque un réchauffement, d'autant plus que l'activité volcanique croît également dans les zones d'accrétion et celles de subduction. La température globale moyenne atteint 5 à 7 C de plus que l'actuel. Toutes les glaces polaires fondent, les différences de température entre pôles et équateur diminuent donc aussi l'activité des vents et des courants et les différences entre les zones climatiques s'affaiblissent. La biodiversité, mais surtout la quantité de matières organiques croît. Plusieurs fois dans l'histoire de la Terre, ce mécanisme s'est répété avec des amplitudes variées.

* *
*

Arrêtons-nous maintenant un instant sur les gaz et les poussières volcaniques. Des panaches montent dans le manteau et construisent en surface de vastes plateaux basaltiques, les uns sur le plancher océanique, les autres sur les continents, on parle alors de trapps. Les trapps ont une surface moyenne de 1 milliard de km² et un volume compris entre 2 et 4 milliards de km³. L'essentiel des éruptions dure en moyenne 1 million d'années. En considérant les seize principales provinces de trapps émises depuis 200 millions d'années, dont les pics d'émission sont datés, on constate la forte coïncidence avec les grandes crises mondiales de la biodiversité, à chaque crise un grand nombre d'espèces disparaît. Elles constituent même les barreaux de l'échelle géologique. Entre les crises, des espèces se renouvellent, prospèrent, une nouvelle biodiversité s'installe lentement. Les coïncidences entre trapps et crises sont trop nombreuses pour ne pas y voir de liens de causalité. Certes, à la centaine de crises de la biodiversité ne sont pas corrélés des événements volcaniques exceptionnels, car beaucoup de plateaux émis sur le plancher océanique ont été engloutis dans les plans de subduction.

Des crises du monde vivant sont dues à l'abondance de gaz à effet de serre, à leur toxicité et à l'opacité des aérosols. Ces causes ont également été évoquées et pourraient survenir lors de la chute de grandes météorites, les effets seraient les mêmes. Trapps et météorites ne sont pas exclusifs, par les deux, la biodiversité souffre gravement.

* *
*

Nous venons d'évoquer l'accroissement des gaz à effet de serre, mais il est des circonstances où ils diminuent. Dans les chaînes de montagnes jeunes, les reliefs sont forts, les pluies, l'érosion et les altérations considérables. Les minéraux, en s'altérant, consomment du CO², la couverture végétale est en grande masse piégée dans les sédiments, elle stocke le CO². Il en est actuellement ainsi dans la chaîne alpino-himalayenne. Cette chaîne se forme depuis 70 millions d'années et, depuis 25 millions d'années, le relief est très élevé, le régime des moussons prend l'importance qu'on lui connaît aujourd'hui et la diminution du CO² s'intensifie, ce qui réduit l'effet de serre sur l'ensemble du globe. Les modèles numériques suggèrent que ce soit là une cause possible du refroidissement global et, depuis les 5 derniers millions d'années, s'installe progressivement un régime glaciaire aux pôles, fait d'alternance de périodes très froides et d'autres plus chaudes, liées à la cyclicité astronomique.

Cette même histoire s'est produite il y a 300 millions d'années, à l'occasion de la formation de la chaîne varisque, des glaciations s'installèrent aux pôles, accompagnées par la plus grande crise de la biodiversité des temps fossilifères, 95 % des espèces vivantes fossilisables disparurent.

* *
*

Je conclurai en rappelant que des bouleversements climatiques interviennent à diverses unités de temps (la décennie, le millénaire), leur ampleur varie et, avec elle, les sévérités des crises de la biodiversité. Plus les événements sont anciens, moins leur vitesse est précise et il est tentant de confondre imprécision des datations et durée des phénomènes ; ce qui conduit à considérer qu'autrefois ils étaient lents et réguliers et aujourd'hui, rapides et saccadés. Depuis peu, on sait qu'il n'en est rien. Il existe une spécificité des temps glaciaires peu fréquents dans l'histoire de la Terre : alors une extrême sensibilité des températures aux variations, même faibles font passer des masses d'eau considérables du solide au liquide et réciproquement. Ainsi, la cyclicité des rayonnements solaires joue, alors, un rôle considérable.

Les très brutales et brèves modifications des températures, même si elles ne résultent pas d'un forçage astronomique, ont un rôle majeur dans les océans et sur les climats, donc sur les biotopes. Les hommes, comme tous les êtres vivants suivaient les déplacements de leur biotope, comme en témoignent les industries lithiques : pierre martelée, taillée, polie. Ceci cessa d'être une règle absolue lorsque l'homme maîtrisa le feu, il y a 400 000 ans. Depuis lors, à chaque grande période de refroidissement étendant la surface des glaces et des sols gelés, en permanence, des populations, grâce au feu, s'adaptèrent à ces conditions de vie extrêmes et restèrent sur place en modifiant leur mode de vie. Des migrations de populations continuaient cependant, de moins en moins importantes au fur et à mesure que la technologie progressait. Néanmoins, les populations qui ne maîtrisent pas les technologies suivent leur biotope sur des milliers de kilomètres, par saccades, par crises, qui correspondent au rythme des phénomènes naturels. Ils abandonnent ou réoccupent les territoires qui leur sont les plus favorables.

Actuellement, l'effet de serre additionnel, c'est-à-dire anthropique, fait craindre que l'homme déclenche un phénomène brutal et rapide, le modeste accroissement de température pouvant, par exemple, déclencher l'éclatement de bulles de méthane piégées dans les sols gelés injectant dans l'atmosphère de très grandes quantités de gaz à effet de serre. D'aucuns suggèrent qu'un phénomène naturel pourrait compenser ce réchauffement anthropique. Rien n'appuie cette hypothèse puisqu'aucune cyclicité de phénomènes brutaux et rapides n'a été mise en évidence. Ils sont aujourd'hui imprévisibles. Les technologies actuelles qui peuvent contribuer à limiter les émissions de gaz à effet de serre doivent être mises en œuvre, être améliorées et des énergies libres de toute émission de gaz à effet de serre, et en particulier l'énergie nucléaire,

doivent être développées. Elles réduiront les migrations qui se sont plusieurs fois accomplies dans le passé et même dans l'histoire.

Mais, tous les continents, tous les peuples exposés, ne bénéficient pas de ces technologies avec la même efficacité ; ils seraient amenés, comme nos ancêtres, à entreprendre des migrations en masse en suivant leur biotope si les peuples riches de leur technologie ne réagissaient pas. Dans ce but, l'Académie des sciences, avec les autres Académies des pays du G8 ont proposé aux Chefs d'États qui vont se réunir, du 6 au 8 juillet, de prendre deux décisions. Pour l'une, elles ont été rejointes par les Académies de Chine, du Brésil et de l'Inde, elles adjurent les gouvernements de prendre les mesures nécessaires pour réduire les émissions de gaz à effet de serre. Pour l'autre, rejointe par les Académies africaines, elles les adjurent de prendre toutes dispositions pour que l'Afrique accède aux données scientifiques et technologiques. Souhaitons d'être entendus.