

Le temps, la Terre et les hommes

Autor(en): **Schaer, Jean-Pierre**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Revue économique et sociale : bulletin de la Société d'Etudes Economiques et Sociales**

Band (Jahr): **55 (1997)**

Heft 2: **Temps et santé**

PDF erstellt am: **20.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-140636>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

LE TEMPS, LA TERRE ET LES HOMMES

Jean-Pierre SCHAER

Professeur

La Chaux-de-Fonds

Pour l'homme, le temps c'est un peu l'histoire de l'humanité et celle des civilisations. C'est très peu le présent qui passe si vite, mais qui est essentiel pour notre analyse car lui seul nous donne sans les transformer les éléments du système dans lequel nous sommes plongés. Le futur c'est surtout l'inconnu qui porte nos espoirs et nos craintes. Pour le géologue, historien de la Terre, c'est aussi la mémoire de la planète qui, dans une certaine mesure, peut nous servir de guide pour dire ce dont demain sera fait.

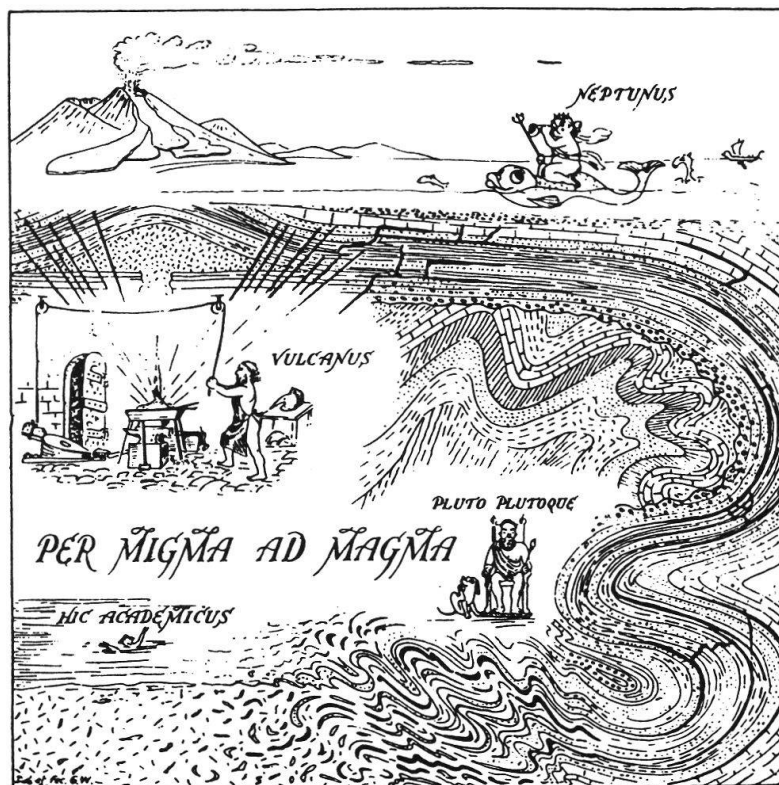
Sur une Terre vieille de plus de 4 milliards d'années, où l'espèce humaine existe depuis plus de 3 millions d'années, l'homme s'inquiète depuis fort longtemps de son destin et de sa survie. Au cours de ces dernières années, l'annonce répétée de l'éminence de catastrophes qui pourraient bouleverser l'ensemble de la planète donne à ces prévisions une actualité de plus en plus pesante. Dans l'incapacité d'apporter des réponses donnant satisfaction, nous avons jugé utile d'examiner tout d'abord les visions du temps que les savants sont parvenus à imposer au cours du développement des sciences. Un examen sommaire du fonctionnement actuel de la Terre illustrera quelques contraintes qu'elle impose à l'homme; en cours de route, on examinera certains effets de l'augmentation de la population mondiale sur l'environnement. Au delà, nous tenterons d'évoquer le proche futur de la terre, de l'humanité ainsi que la façon dont les situations les plus périlleuses peuvent être évitées.

L'appréciation du facteur temps dans les Sciences de la Terre

La possibilité de disposer d'une appréciation crédible de la durée des phénomènes géologiques, et ainsi de placer l'évolution du système terrestre dans une chronologie fiable, est une donnée relativement récente. Elle a été possible à la suite de la découverte de la radioactivité naturelle et de techniques qui se sont imposées dès le début de notre siècle. Cependant, c'est essentiellement depuis les années 50, grâce à des méthodologies et des appareillages adaptés, qu'il est possible d'obtenir dans ce secteur des datations fiables. Actuellement, dans les cas les plus favorables, on parvient à donner des âges dont la marge d'erreur est inférieure à 1‰. Les événements vieux de 140 millions d'années, contemporains de la formation des roches du Jura, sont ainsi connus à quelques centaines de milliers d'années près seulement. Les belles précisions relatives,

laissent ainsi une assez grande incertitude dans l'absolu. On oublie souvent qu'avant la pratique des méthodes physiques, un savant suédois, G. DeGeer, était déjà parvenu à donner, au début de notre siècle, des datations géologiques tout à fait précises. Dans les dépôts d'anciens lacs de son pays, il avait reconnu de fines couches annuelles, les varves; il les avait comptées comme on le fait avec les cernes des arbres; de cette façon, il avait montré que plus de 10'000 ans nous séparent de la dernière époque glaciaire. Cette donnée qui se rapportait à une infime partie de l'histoire géologique de la Terre montrait à elle seule toute l'étendue des temps de l'évolution terrestre. Malheureusement, la méthodologie utilisée n'était applicable qu'à des roches bien particulières et géologiquement très jeunes. Elle incitait cependant à donner crédit à ceux qui, de plus en plus nombreux, jugeaient que les temps géologiques étaient très étendus. En s'appuyant sur des arguments bibliques, leurs opposants les plus extrémistes, dont certains existent encore de nos jours, prétendent que la création du monde ne peut être plus ancienne que de 6'000 années.

Fig. 1 - Cycle de la matière au niveau de la croûte terrestre, d'après une illustration de G. Wilson. Celle-ci reprend et complète une idée proposée d'abord par J. Hutton. Les apports à l'océan des rivières forment les roches sédimentaires; celles-ci sont enfouies en profondeur où elles subissent des transformations (métamorphisme ou fusion); par la suite, elles retournent en surface par l'action des plissements et du volcanisme. Le déplacement sans cesse renouvelé de la matière de l'écorce terrestre présente une analogie partielle avec le mouvement cyclique des planètes.



La vision d'une courte histoire de la Terre qui a longtemps prévalu dans la pensée occidentale, a eu pour le moins deux conséquences. D'une part, pendant longtemps elle a imposé aux hommes l'idée que les paysages qui nous entourent étaient éternels ou évoluaient si peu qu'ils avaient accompagné toute l'histoire de l'humanité et montraient même des vestiges de sa création du monde. D'autre part, la perception quasi statique qu'elle imposait a détourné les géologues de préoccupations touchant à l'avenir de la planète et au devenir de l'environnement et de l'humanité. Ces soucis étaient laissés à d'autres savants, à des théologiens et à des prophètes des temps futurs. Il est parfois bon de rappeler qu'au 18^{ème} et même au 19^{ème} siècle, bon nombre de savants estimaient encore que les roches sédimentaires qui contenaient des fossiles devaient être associées aux bouleversements contemporains du Déluge. L'environnement terrestre pratiquement immuable, émergé des mains de Dieu, s'accordait assez bien avec l'image du monde céleste que les astronomes avaient imposée. Pour Newton et ses successeurs, le système planétaire mis en place par la volonté divine, bien que dynamique, était parfaitement stable. La méthode rationnelle permettait d'y prédire parfaitement les mouvements passés et futurs des astres. Ce résultat qui, pour la première fois, présentait l'analyse temporelle d'un phénomène naturel de longue durée, fut une étape décisive de la pensée scientifique. Il laissait espérer que d'autres évolutions deviendraient bientôt intelligibles lorsque de nouvelles données, de nouvelles analyses parviendraient à mettre en évidence les lois fondamentales qui gouvernent d'autres secteurs de notre environnement dont celui de la Terre toute entière.

Longue durée et catastrophes

Au cours du 18^e et du début du 19^e siècle, par l'analyse des paysages et des roches, des géologues de plus en plus nombreux furent acquis à l'idée que notre terre avait été le siège d'une longue évolution. Buffon (1749-1804) entre autres, dans ses tentatives de connaître l'âge de la Terre par les lois de la diffusion de la chaleur, proposait qu'une durée de plusieurs millions d'années nous séparait du moment où la Terre avait été en fusion. Plus tard, l'Écossais J. Hutton (1726-1796) montrait que certaines roches antérieurement formées à la surface de la terre y étaient revenues après avoir subi les effets de la chaleur des profondeurs (fig.1). Ces cycles - érosion, enfouissement et plissement - plusieurs fois répétés rendaient illusoire tout espoir de découvrir les traces d'un commencement. Ils introduisaient aussi, dans l'évolution de la Terre, le concept de rythmicité déjà largement reconnu dans le ciel et si souvent recherché par l'esprit humain. Pour l'évolution de la planète, toutes ces contributions imposaient de plus en plus l'idée d'une histoire longue et complexe. Elles furent encore renforcées lorsqu'on mit en évidence que les faunes fossiles récentes étaient proches des espèces vivantes, alors que celles des roches anciennes étaient fort différentes et possédaient des caractères primitifs évidents. Lorsque en 1837, Louis Agassiz eut discerné l'importance des phénomènes glaciaires qui, dans sa vision erronée, avaient recouvert la terre entière, il fut persuadé d'avoir saisi

le phénomène responsable de l'extermination des flores et faunes précédentes. Il estimait ainsi qu'après la dernière période glaciaire, lors du rétablissement du climat tempéré, de nouvelles créations étaient apparues pour repeupler la Terre. On était là en face de la dernière page de l'histoire terrestre dont le livre entier avait été une suite répétée de catastrophes dévastatrices et globales, elles-mêmes chaque fois suivies par de nouvelles créations, toujours plus diversifiées toujours plus évoluées. Dans cette perspective, la cyclicité des phénomènes biologiques et par là celle de l'histoire terrestre tout entière s'imposait également avec force. Ce type d'évolution demandait l'intervention de facteurs surnaturels ou naturels inconnus que la science se devait d'identifier quand elle ne se contentait pas simplement de les imposer. On retombait ainsi dans un monde au destin imprévisible qui pour les uns était à la merci du hasard alors que pour d'autres il était guidé par la volonté d'un Dieu encore agissant et souverain. Au cours du 19^{ème} siècle, l'image de la discontinuité de l'évolution biologique a conduit bon nombre de naturalistes à ne donner, dans leur discipline, que peu de crédit au déterminisme qui dominait alors les sciences physiques et l'astronomie.

L'apport de Darwin

Les *Principles of Geology* du célèbre géologue britannique Lyell (1797-1875), un contemporain d'Agassiz (1807-1879), ont été l'une des oeuvres qui a le plus contribué à faire obstacle à la doctrine du catastrophisme que défendaient alors beaucoup de naturalistes et de théologiens. Cette nouvelle approche, qui par la suite a reçu le nom d'uniformitarisme, s'appuie sur l'analyse des phénomènes actuels de la nature; ceux-ci, bien que lents mais continus, sont jugés suffisamment agissants pour expliquer par les lois physiques et chimiques admises l'ensemble des faits reconnus de l'histoire de la Terre. Ce nouvel appel à la notion de continuité fut pourtant souvent critiqué, car il impliquait des temps encore plus étendus que ceux qu'on admettait alors et de plus, il paraissait être en opposition avec les faits biologiques où la plupart des savants se refusaient alors à admettre toute idée de descendance entre les espèces voisines. Au milieu du siècle, la contribution fondamentale de Darwin, l'*Origine des Espèces*, montrait enfin, à ceux qui voulaient bien l'entendre, que les espèces biologiques se modifient graduellement. Largement influencée par les travaux de T.R. Malthus sur la démographie, la théorie darwinienne jugeait que seules les espèces et les individus les plus résistants, les mieux adaptés, parvenaient à faire face aux changements qu'imposait la Nature. Les variations favorables tendent ainsi à être préservées; à long terme, par changements progressifs, elles assurent l'émergence de nouvelles espèces. La théorie de l'évolution, malgré son caractère révolutionnaire, fut, dans l'ensemble, bien reçue dans les milieux scientifiques. Il en fut tout autrement dans d'autres cercles par le fait qu'elle impliquait la filiation animale de l'homme et que de plus elle entrouvrait la porte de l'approche rationnelle et déterministe des phénomènes de la vie.

Héritiers directs de cette pensée, les naturalistes du début de notre siècle, mais surtout ceux de notre génération, ont été plus rapidement qu'ils ne le pensaient confrontés aux problèmes de la gestion de la Terre et à celui de son avenir. Habitants d'un astre dont ils connaissaient les limites, sur lequel les espaces libres n'existent plus, ils ont aussi dû constater l'inquiétante croissance de la population humaine et sa soif de biens matériels qui posaient des contraintes au niveau des ressources disponibles. Certains bouleversements observés ou annoncés menaçaient même les milieux qui devraient assurer la vie. Pour faire face à ces interrogations, il est nécessaire de mieux comprendre les relations et les interférences existant entre la destinée de l'humanité et l'évolution de la planète et en particulier de connaître la marche et les rythmes de la Terre dans le temps.

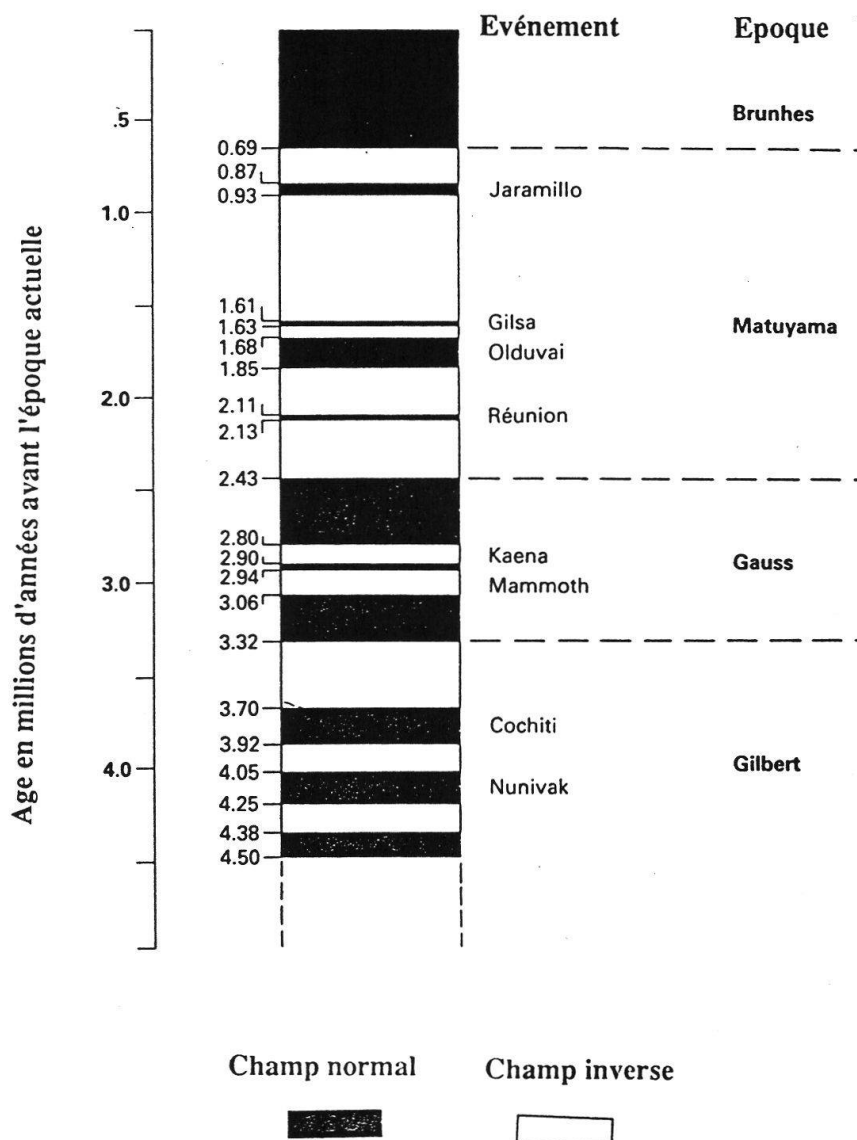
Le temps de la Terre et ses rythmes

En dehors de la rythmicité annuelle et journalière dans laquelle l'homme se sait plongé, il s'est interrogé très tôt pour savoir si son environnement était soumis à des pulsations de plus longues durées ou s'il dépendait d'une évolution linéaire. Les trop nombreuses zones d'ombres qui existent encore dans l'histoire de la planète nous engagent à ne présenter qu'un bref survol des phénomènes affectant l'intérieur de la Terre, sa surface ainsi que ceux touchant le proche espace. Notre recherche va s'intéresser particulièrement aux phénomènes rythmiques qui pourraient nous guider pour connaître le futur.

A l'intérieur de la Terre

Lorsque les roches magmatiques cristallisent en surface, elles acquièrent une faible aimantation stable orientée parallèlement à celle du champ magnétique terrestre. Peu après les années 50, on a découvert que dans des empilements volcaniques se reconnaissaient des alternances répétées de roches possédant un magnétisme de polarité semblable à celui du champ actuel alors que dans d'autres roches il était inverse. Cette observation conduisait à admettre que le champ magnétique terrestre s'était inversé à plusieurs reprises au cours de l'histoire terrestre. Comme le temps nécessaire pour passer d'une polarité à son inverse est géologiquement très bref (environ 1000 ans) et que les périodes inverses et normales s'étendent sur des centaines de milliers d'années, la suite des inversions normales et inverses placées dans une échelle de temps (fig. 2) est devenue une échelle de référence relative parmi les plus précises de la géologie. Les alternances de polarité dans le temps, bien répertoriées pour les derniers 200 millions d'années, ne montrent aucune régularité, aucune rythmicité régulière; elles possèdent des caractéristiques qui s'accordent avec les phénomènes chaotiques générateurs du champ magnétique terrestre présent à l'intérieur du noyau terrestre.

Fig. 2.- Les inversions magnétiques des 4,5 derniers millions d'années. Les échelles chronologiques de ce type doivent être calibrées par des déterminations radiométriques pour donner l'étendue dans le temps des différentes inversions. D'après Smith Peter J. 1981, «Le déplacement des continents».



Sous l'effet des mouvements de convection qui affectent le manteau terrestre, les continents se déplacent les uns par rapport aux autres à la surface de la terre avec des vitesses qui se situent entre 1 et 10 cm/an, soit 10 à 100 km par millions d'années. Il y a un peu plus de 220 millions d'années, toutes les masses continentales de la Terre étaient réunies en un seul bloc entourées par un seul océan. D'autres regroupements et d'autres séparations ont certainement existé au cours de l'histoire terrestre et il s'en produira d'autres dans le futur. Les tentatives visant à mettre en évidence une périodicité régulière dans ces grands rassemblements et les découpages ultérieurs n'ont à ce jour pas trouvé une reconnaissance généralisée. La géométrie renouvelée, chaque fois différente, des masses continentales en mouvement, les particularités locales des masses assurant

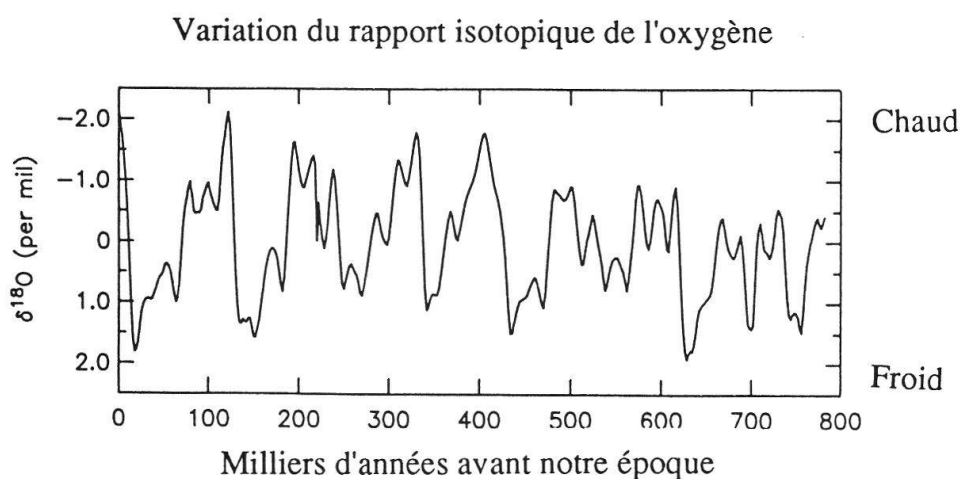
les déplacements font admettre qu'une répétition périodique régulière de tels phénomènes présente bien peu de probabilités. A ce niveau, la Terre doit inventer en permanence des solutions nouvelles avec des pas de temps variables.

Le volcanisme terrestre, les tremblements de terre sont des phénomènes directement liés à la dérive continentale. Ils en sont des manifestations permanentes et épidémiques de type répétitif. Comme les autres phénomènes de la dynamique interne du globe, ils présentent beaucoup trop d'irrégularités dans leurs récurrences pour que leur activité puisse être prévue.

Les perturbations climatiques

La dynamique exogène de la terre est largement influencée par le climat. Les rythmes journaliers, mensuels lunaires, et annuels ne produisent cependant qu'un faible bruit de fond sur le long terme de l'évolution terrestre. Par contre les variations de certains paramètres orbitaux de notre planète (inclinaison de l'axe de rotation, excentricité de la rotation orbitale et précession des équinoxes) induisent des inégalités d'insolation dont les périodes de 100'000, 41'000, 23'000 et 19'000 années sont considérées comme étant la source des variations climatiques majeures enregistrées durant le dernier million d'années. Dès 1924, de telles propositions avaient été présentées par le savant serbe M. Milankovitch (1879-1958). Sa riche théorie est devenue pour beaucoup une certitude depuis que d'assez bonnes corrélations ont été constatées entre les paramètres orbitaux et les indices climatiques reconnus dans les sédiments océaniques récents (fig.3). En projetant ces données dans le futur, Berger et al. (1988), ont pu suggérer que durant les 6'000 prochaines années, en absence de perturbations d'autres origines, le climat de la Terre devrait poursuivre le refroidissement amorcé il y a 6'000 ans; au-delà, après un léger et assez bref réchauffement, la Terre devrait à nouveau s'engager dans une véritable période glaciaire.

Fig. 3.- Variations du rapport isotopique de l'oxygène dans des sédiments marins profonds. La courbe reflète les changements du volume des glaces de la planète. Elle est une image des variations climatiques dictées par les variations des paramètres orbitaux de la planète Terre. D'après Imbrie et al, 1984.



L'analyse des sédiments récents et des glaces polaires a permis à plusieurs chercheurs de reconnaître que des perturbations cycliques de périodicités plus brèves avaient également affecté le climat terrestre récent. A ce jour, l'accord dans les durées de celles-ci et dans leur signification n'est pas encore suffisamment établi pour que ces données puissent être utilisées pour prédire le futur. De plus les perturbations climatiques que l'homme pourrait provoquer par ses activités au cours des prochaines décennies risquent de se faire sentir bien avant que les pulsations naturelles présentées ici puissent développer leurs effets.

Les perturbations cosmiques

L'exploration spatiale a montré que toutes les planètes et la lune étaient marquées par des impacts de météorites. La Terre n'a pas échappé à ces bombardements qui furent particulièrement fréquents dans la première partie de l'histoire du système solaire. Des chutes spectaculaires se sont encore produites dans un passé récent et d'autres se produiront encore. Les effets des plus gros impacts sont considérables; celui qui a percuté la Terre il y a 65 millions d'années, a eu des répercussions importantes sur l'évolution biologique de la planète et certainement des conséquences majeures sur de vastes surfaces (Ryder et al. ,1996). Les accidents de cette ampleur sont heureusement fort rares. On estime que durant 1 million d'années il existe une probabilité voisine de 3,2 pour qu'un astéroïde de 1 à 2 km de diamètre frappe la terre et y produise un cratère de plus de 10 km de diamètre (Shoemaker E. M. ,1983). Le même auteur estime que, tous les 20'00 à 150'000 ans, une météorite frappe la surface continentale de la planète avec une énergie voisine de 1000 mégatonnes de TNT, pour y former un cratère semblable à celui qui s'est abattu il y a quelque 25'000 à 50'000 ans en Arizona. Dans le temps, les chutes de ces objets petits ou gros, paraissent totalement imprévisibles, tant que les trajectoires ne sont pas déterminées ce qui n'existe que pour une très faible minorité d'entre elles.

Rythme biologique

Avec ses propres contraintes temporelles au cours de l'histoire de la Terre, l'évolution biologique a dû répondre aux modifications climatiques et environnementales que la planète lui imposait. Il en est résulté une suite de modifications, de pulsations que les géologues ont utilisées depuis le siècle passé pour établir une échelle chronologique fort détaillée. Les pas de celle-ci sont basés sur l'apparition et la disparition des faunes reconnues dans les roches sédimentaires des derniers 500 millions d'années. L'échelle est marquée par une suite de coupures plus ou moins nettes; dans certaines de celles-ci, de nombreuses faunes disparaissent soudainement et sont remplacées par des organismes nouveaux. Ces brusques passages furent d'abord interprétés comme les signes de catastrophes ayant modulé l'histoire de la Terre. Par la suite, sur la base de la théorie de

l'évolution biologique, on les a considérées comme le résultat de lacunes passagères d'information provoquées par l'absence de sédimentation durant une période plus ou moins prolongée. Dans les cas où l'enregistrement est continu certains auteurs y voient le signe de pulsations biologiques répondant aux changements chimiques et physiques de l'environnement. Pour d'autres, il s'agit plutôt de l'effet de catastrophes externes ayant ponctué l'histoire de la terre. A ce niveau, l'opposition entre continuité et discontinuité devient fort ténue. On se trouve souvent placé face au problème chronologique de la poule et de l'oeuf où la solution retenue est souvent conditionnée par des options étrangères au problème posé.

La Terre et l'Homme dans le Temps

Actuellement encore, le mythe de la Nature au service de l'Homme est encore fortement ancré dans la pensée contemporaine. Hérité de divers apports culturels, il néglige les luttes que beaucoup d'individus et de groupements ont livrées contre la faim, les maladies et un environnement qui n'est accueillant que depuis peu et encore pas pour chacun. Pour le géologue, la Terre est un astre qui se refroidit lentement; indifférente, elle traverse l'espace en emportant la vie qui s'y est développée et diversifiée. A nos yeux, il est faux de croire qu'elle a été préparée pour l'homme. Celui-ci se trouve en être, pour un temps limité, l'un des passagers accompagné comme le sont d'autres formes de vie. Il a dû et doit s'adapter aux conditions imposées par un environnement dynamique qui change en permanence sous l'effet des perturbations naturelles et de celles que ses propres actions entraînent.

Perturbations naturelles

Aux yeux de la science, les tremblements de terre et les volcans font partie des manifestations de la dynamique terrestre, tous deux liés à son fonctionnement thermique. Pour l'Homme, elles se rangent malheureusement parmi les catastrophes naturelles les plus meurtrières et de ce fait d'importants efforts ont été entrepris pour en limiter les effets et pour parvenir à les prévoir.

Les tremblements de terre

Malgré les importantes sommes investies, la prédiction des tremblements de terre reste décevante. A ce jour, il n'est toujours pas possible de les localiser par avance avec précision dans le temps et l'espace, ni de faire des prédictions sur leur intensité. La croûte terrestre semble être un matériaux par trop hétérogène pour qu'on parvienne à résoudre prochainement ce problème, si on n'y parvient jamais. Même si ces obstacles pouvaient être surmontés, on voit mal les mesures qui devraient être adoptées lorsque d'importantes secousses seraient attendues aux abords des grandes cités menacées que

sont Los Angeles, Tokyo ou Pékin. L'évacuation de tant de monde dans des délais limités paraît soulever des problèmes insurmontables. On doit aussi être conscient que lorsque de fortes secousses frappent dans de telles agglomérations, les dégâts matériels et les victimes dépendent pour une très large part des lourdes infrastructures de communication et d'habitation qu'impose la vie moderne. Bien que la sécurité des constructions puisse être améliorée, il est à craindre que ce facteur de progrès ne parvienne pas à compenser l'accentuation des maux provoquée par l'extension démesurée des cités

Le volcanisme

Les manifestations volcaniques, même celles de modeste intensité, peuvent parfois être très meurtrières. Ainsi, celle du Nevado del Ruiz en Colombie fit en 1985, avec une éruption de moins d'un km³, plus de 22'000 morts. Elle fut pourtant insignifiante par rapport à celle du volcan Tambora (Indonésie) qui en 1815 projeta quelque 40 km³ de matériaux; de grandes quantités de cendres et de CO² gagnèrent alors la haute atmosphère. Le vaste écran solaire ainsi formé provoqua sur l'ensemble de la planète de sérieuses perturbations climatiques; sur la côte Est des USA, ce fut « the year without summer », et dans nos régions « l'année du blé cher ». Il y a 75'000 ans, toujours en Indonésie, l'éruption du volcan Toba, probablement la plus conséquente produite depuis que l'homme habite la Terre, fut marquée par 2800 km³ de projections (30 fois le volume du lac Léman), accompagnées par l'injection dans l'atmosphère de 1 à 10 milliards de tonnes de CO². Cette perturbation atmosphérique sans précédent fut si importante que certains auteurs ont suggéré qu'elle aurait servi d'amorce à la dernière glaciation; mais cette hypothèse a été récemment remise en question. Au cours des prochaines décennies, on parviendra probablement à établir un contrôle des principaux volcans du monde pour limiter, dans une certaine mesure, les dévastations qui se produisent dans la zone proche de ces édifices. Mais, comme on l'a constaté en 1991 aux Philippines, lors de l'explosion du Pinatubo, même en ayant pris des mesures adéquates, on a tout de même enregistré la destruction partielle ou totale de 100'000 habitations et la mort de 360 personnes. Lors de tels événements, les dispositions préventives ne parviennent qu'à limiter l'étendue des destructions; elles ne peuvent pas, dans ces régions très peuplées, les supprimer. Elles n'ont, de plus, aucun effet sur les perturbations atmosphériques qui, dans le cas de très grosses éruptions, auront toujours des incidences sur l'ensemble de la Terre.

L'exemple des tremblements de terre comme celui des volcans montrent que les catastrophes naturelles ne seront probablement jamais totalement maîtrisées par l'homme et la science. Elles resteront une menace pour l'homme, particulièrement par les actions dévastatrices et meurtrières qu'elles entraînent dans les grands centres urbains.

Perturbations humaines

La vie ne peut exister sans entraîner des transformations du milieu dans lequel elle se développe. L'introduction de nouvelles espèces dans un environnement donné s'accompagne toujours de changements perceptibles. Au début, les transformations sont souvent lentes et affectent des étendues restreintes. C'est ainsi que s'est d'abord fait sentir l'arrivée de l'homme sur la Terre. Avec le temps, son influence a sensiblement augmenté. Sa maîtrise du feu, ses activités de chasseur puis de cultivateur ont conduit à généraliser ses atteintes à la faune et à la végétation; elles ont ainsi entraîné la transformation partielle ou totale des paysages dans lesquels il s'est établi; un exemple particulièrement révélateur est offert par les environnements de la Méditerranée dont l'aspect primaire n'existe plus depuis fort longtemps déjà. L'accroissement de la population mondiale et le développement industriel font qu'actuellement l'homme, à lui seul, est devenu sur la planète le plus important facteur de transformation de l'environnement. Sachant que chaque année 100 millions d'êtres humains supplémentaires viennent grossir la masse des consommateurs, il est nécessaire de s'interroger sur les effets de cette course en avant (cf. Cohen, 1996). Elle sera évoquée par deux problèmes sensibles, celui de la consommation des combustibles fossiles et celui des besoins en eau.

Besoins énergétiques et climat

Les besoins énergétiques du monde sont actuellement couverts à 90% par les combustibles fossiles. Les réserves de charbon qui assurent près du 40% de ce marché restent importantes et pour ce type d'approvisionnement, aucune pénurie n'est à craindre pour plusieurs centaines d'années. La situation est très différente au niveau des produits pétroliers, gazeux et liquides; là, les réserves, surtout celles qui peuvent s'obtenir à bas prix, sont limitées (30-50 ans peut-être). Pour un temps, dans ce domaine, l'exploitation des schistes bitumineux pourra assurer la relève. Elle demande cependant des investissements considérables qui se traduiront par un relèvement considérable des prix ainsi que d'importants bouleversements des politiques énergétiques. Au niveau mondial, dans un passé récent, ce sont essentiellement les combustibles fossiles qui ont permis le développement spectaculaire de la civilisation occidentale; malgré leur bas prix, ils sont cependant restés inaccessibles aux populations les plus défavorisées de la planète. Celles-ci ont recours au bois pour assurer leurs besoins énergétiques, avant tout destinés à l'alimentation. Se faisant, elles exercent une pression croissante sur les maigres forêts et par là sur les sols qui perdent leur protection face à l'érosion. Dans la plupart des régions où existent ces pratiques, l'environnement est déjà particulièrement fragile; il ne peut donc supporter ces nouvelles charges, qui s'ajoutent à celles d'une forte pression démographique.

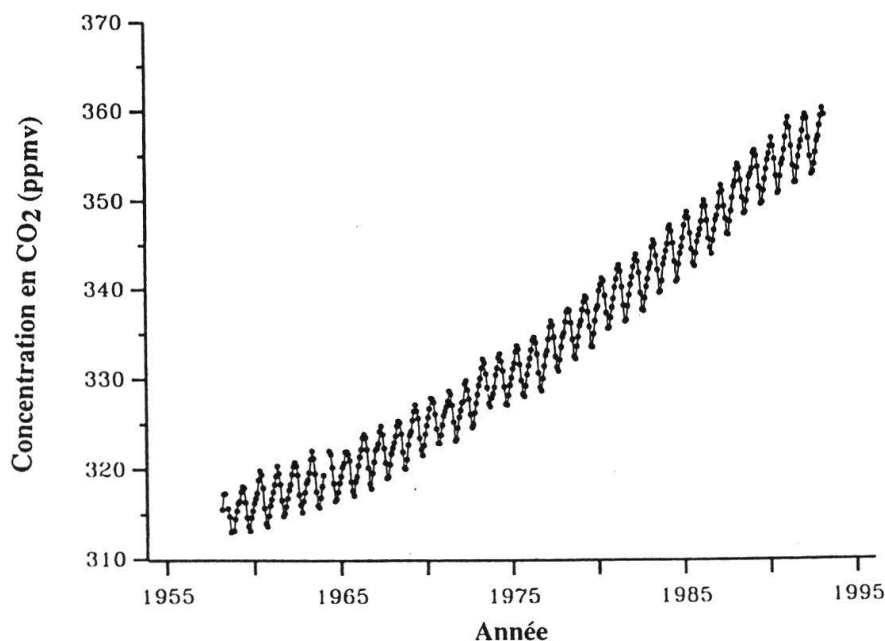


Fig. 4 - Augmentation de la concentration du CO₂ dans l'atmosphère terrestre mesurée à Hawaii. Les fluctuations annuelles périodiques sont liées à l'activité biologique (Boden Thomas A. et al. 1994).

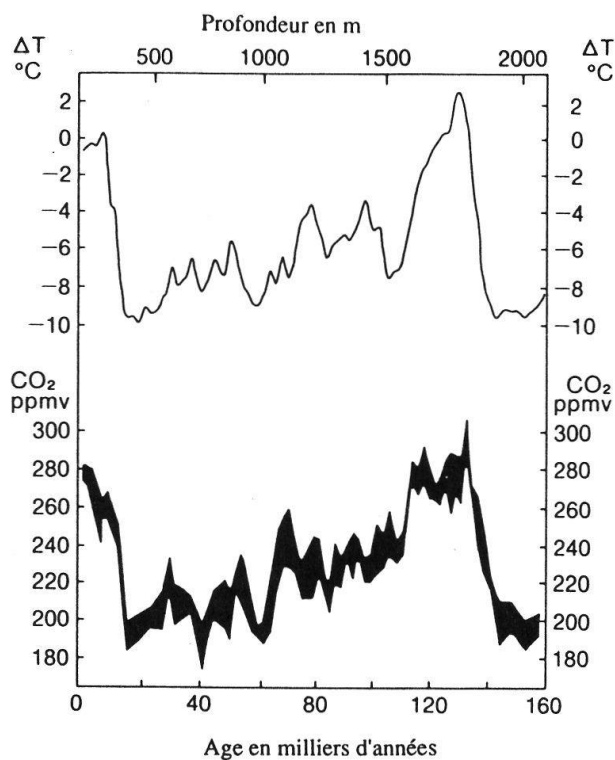


Fig. 5. - Corrélation entre les teneurs de l'atmosphère en CO₂ - courbe inférieure - et les variations de la température - courbe supérieure - depuis le dernier interglaciaire. Déterminations faites à partir des gaz piégés dans les glaces de l'Antarctique (d'après Bar-mola et al. 1987, in Watson R.T. et al. 1990).

Les grands consommateurs de combustibles fossiles, dont nous sommes, provoquent, quant à eux, une atteinte à l'environnement beaucoup plus insidieuse car leurs effets ne sont pas immédiatement perceptibles. Le gaz carbonique produit lors de la combustion et rejeté dans l'atmosphère s'y accumule (fig.4); au cours des prochaines décennies, il pourrait, par son effet de serre, entraîner 2 à 3°C d'augmentation moyenne de la température à la surface de la Terre. Ces prévisions alarmantes, actuellement soutenues par la plupart des scientifiques, se basent sur les constatations suivantes (Bolin, 1995) : a) Au cours des derniers siècles, la teneur en gaz carboniques de l'atmosphère a augmenté régulièrement, en proportion avec l'évolution de la consommation des combustibles fossiles; b) Depuis la dernière époque glaciaire (de 125'000 ans jusqu'à nos jours), les températures à la surface de la Terre ont suivi une évolution parallèle aux variations de la concentration du CO² dans l'atmosphère, des températures élevées accompagnant toujours les fortes teneurs en CO² (fig.5); c) Même si l'on parvenait à la stabilisation des rejets de CO² au niveau actuel - une impossibilité face aux enjeux économiques et politiques qui seraient touchés - ceux-ci doubleraient tout de même vers l'an 2100 par rapport à la situation préindustrielle avec une augmentation de 2 à 3°C de la température; d) Pour obtenir sans tarder la stabilisation de la teneur de l'atmosphère en CO², il faudrait immédiatement réduire la consommation de 50 à 70% et passer par la suite à des réductions plus importantes encore. Cette dernière remarque illustre l'ampleur des difficultés rencontrées pour arrêter à son niveau actuel une évolution déjà bien éloignée de «l'état naturel».

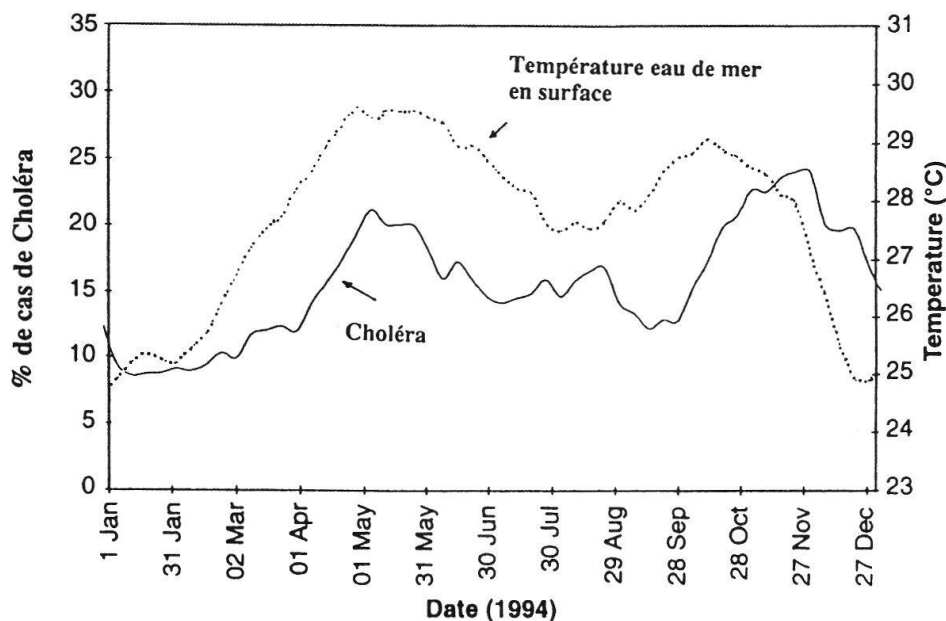


Fig. 6. - Relation entre la température de l'eau de mer en surface et les cas de choléra au Bangladesh, d'après Colwell, Science, 20 dec. 1996.

Depuis plusieurs décennies, les températures enregistrées sur la terre sont à la hausse et au cours de ces dernières années, de nombreux scientifiques ont montré que l'augmentation était particulièrement sensible. Dernièrement, ce fait a cependant été mis en doute par un groupe de chercheurs qui, pour leur démonstration, ont utilisé les températures obtenues par satellites plutôt que celles prises au sol (Spencer 1996). Malgré cette dernière donnée un peu rassurante, la situation reste sérieuse car les changements climatiques qui sont à craindre pourraient perturber la stabilité politique de très nombreuses nations. Au cours des prochaines décennies, d'après les prédictions les plus largement retenues, les modifications climatiques entraîneraient a) des perturbations des régimes actuels de précipitations, b) le déplacement des zones favorables aux cultures céréalières, c) l'accentuation des zones désertiques, d) la montée du niveau marin, e) la propagation de maladies infectieuses, malaria et choléra entre autres (fig.6), f) la réduction des glaciers de montagne dans une proportion de 30 à 50% g) la diminution de l'étendue des régions touchées par le pergélisol. Ce dernier facteur pourrait entraîner la reprise des grands glissements et des éboulements qui se sont produits après la dernière glaciation. (les deux dernières remarques qui touchent les zones de montagnes ont été incluses pour montrer la globalisation du phénomène et situer quelques conséquences physiques prévues dans nos régions)

Les craintes exprimées ici sont le reflet de projections sur l'avenir; en raison de la complexité des mécanismes en jeu, l'éthique scientifique se refuse à les présenter comme des certitudes même si leur probabilité paraît très élevée. La gravité de la situation tient également à l'ampleur des perturbations qui sont à craindre et au fait qu'une fois installées, les modifications climatiques redoutées demanderont, dans le meilleur des cas, plusieurs décennies pour qu'on puisse en atténuer les effets. Et comme on le sait, une fois la crème sortie du tube, il n'est pas facile de la remettre en place.

L'utilisation des combustibles fossiles fut et est encore, dans notre civilisation, un apport énergétique déterminant du bien-être matériel et des possibilités de croissance économique. Cependant, seul 1/5 de la population mondiale (pays de l'OECD) dispose largement de ce pouvoir et contribue à lui seul au rejet de 80% des gaz à effet de serre. Le reste de la population mondiale, faute de moyens, ne participe qu'au 25% de la consommation des combustibles fossiles. Les stratégies énergétiques futures ne posent ainsi pas seulement le problème de la réduction, mais également celui de la répartition des sacrifices. Il paraît impensable qu'on impose aux plus défavorisés de limiter leur accès aux ressources énergétiques qui nous ont permis de nous affranchir des travaux les plus pénibles. Les réductions devraient donc essentiellement se faire au niveau des nations à forte consommation. Dans l'immédiat, faute de planifications adéquates, l'abaissement des rejets ne semble pouvoir être envisagé que par une utilisation plus rationnelle et économique de l'énergie. Au delà de cette mesure aux effets limités, des

changements substantiels ne pourront être obtenus que si la recherche en matière d'énergie favorise et soutient avec vigueur les efforts vers les solutions écologiques ; il faudra probablement aussi reprendre l'examen des options nucléaires pour autant que des issues raisonnables puissent être trouvées, si elles existent, au niveau de la gestion des déchets.

L'eau

Le développement de la vie sur notre planète n'a été possible que grâce à la présence de l'eau. Globalement, les quantités disponibles sont suffisantes mais elles sont distribuées de façon si inégale que, dans un proche avenir, on doit s'attendre à un accroissement sensible de l'état de pénurie chronique que connaissent déjà certaines régions. La situation est particulièrement alarmante puisque la disponibilité de cet élément conditionne la santé des populations comme celle de l'environnement.

Sur notre Terre, même après l'arrivée de l'homme, la circulation de l'eau est restée l'élément essentiel de la toilette des continents (Fyfe, 1994). En conduisant les eaux à l'océan, les fleuves emportent les éléments chimiques que les pluies ont extraits des roches et ils évitent ainsi, tant bien que mal, que se produisent localement en surface des accumulations de produits toxiques; pour que les sols puissent être régénérés, ils emportent également vers les plaines fertiles et la mer, leurs charges solides de minéraux résiduels accompagnés de matière organique (fig.1). Depuis peu cependant, pour permettre une meilleure gestion locale des ressources hydrauliques, pour utiliser les potentiels hydroélectriques et pour augmenter l'irrigation, les hommes perturbent ce système d'évacuation naturel. Ils canalisent ce qui peut l'être et forment derrière de vastes barrages d'importantes retenues. Dans ces aventures, comme celle du Nil, ils apportent des bénéfices immédiats, mais se préoccupent peu ou rarement de leurs conséquences à long terme. Actuellement, le barrage d'Assouan se remplit de sédiments fertiles mais inutiles puisque sous l'eau; il produit, il est vrai, une énergie très appréciée et permet d'étendre et de mieux alimenter des terres irriguées; cependant il prive de ses apports fertiles la basse vallée et va jusqu'à provoquer un appauvrissement de la pêche en Méditerranée orientale par réduction des appoints nutritifs qu'il y apportait. En Asie Centrale, la culture intensive du coton a condamné de vastes terres devenues trop salées par l'évaporation continue des eaux d'irrigation, alors que pour les mêmes causes, la Mer d'Aral a subi un assèchement partiel mais dévastateur. Ces graves échecs ont eu le mérite de faire planer le doute sur des projets plus vastes encore comme celui du détournement vers le Sud des grands drainages nordiques que sont le Mackenzie au Canada et la Léna en Sibérie. Il n'en reste pas moins que les entraves à l'écoulement des eaux vers la mer se multiplient, le plus souvent sans en analyser les conséquences à long terme.

Parallèlement à ces modifications, l'augmentation de la population mondiale conduit à une demande croissante d'eau pour assurer les besoins de l'agriculture. Celle-ci, de plus en plus intensive, ajoute sa charge de produits polluants (engrais et pesticides) aux rejets industriels et à ceux des grandes agglomérations. Non seulement les disponibilités en eaux courantes se trouvent réduites et contaminées, mais les nappes profondes sont atteintes. Cet état n'épargne pas les pays industrialisés; il conduit dans les pays les plus défavorisés à des situations particulièrement alarmantes. Là et surtout dans les grandes agglomérations qui bourgeonnent un peu partout, les concentrations humaines ne disposent souvent que de systèmes rudimentaires de distribution d'eau; ceux qui devraient assurer l'évacuation des déchets solides et liquides sont encore plus précaires voire, inexistantes. Pour remédier à de telles situations, il faudrait pouvoir avoir recours à d'importants investissements qui ne sont pas disponibles pour ce genre d'actions sans rentabilité à courts et moyens termes. La situation sanitaire critique des grandes agglomérations s'étend bien au-delà de leur propre périmètre, particulièrement là où elles ont la chance d'être drainées par un grand fleuve. Alors qu'il assurait l'approvisionnement traditionnel des zones rurales avales, il devient ainsi leur malédiction, comme cela se constate souvent en Inde.

Dans de nombreux pays, même là où les problèmes de qualité ne se posent pas de façon critique, il existe actuellement une situation de disette face aux besoins en eau, directement liée à l'accroissement de la population. De plus en plus fréquemment, sur la scène internationale, on assiste à des conflits régionaux juridiques ou armés pour garantir l'accès à ce bien précieux. Le plus souvent, la situation est aggravée par les prélèvements pratiqués à l'amont; à l'aval, ceux-ci sont jugés abusifs car ils limitent les possibilités de développement ou transforment le régime traditionnel des cours d'eau. Les conflits portant sur la qualité chimique ou biologique de l'eau sont également en augmentation. Les longs pourparlers juridico-politiques auxquels ont été et sont encore confrontés les pays riverains du Rhin en sont une parfaite illustration. Il est évident qu'à ce niveau, la Hollande a de quoi être inquiète, elle qui reçoit annuellement en solution, par ce fleuve, plus d'un million de tonnes de chlorures, 3'500 tonnes de phosphates et 10 millions de tonnes de cadmium (La Rivière, 1989).

L'avenir

Le siècle que nous allons bientôt quitter nous a apporté la certitude du long passé de la Terre. Il s'était ouvert à une époque où le déterminisme scientifique faisait encore espérer que l'augmentation des connaissances sur la situation du présent et celles des lois gouvernant le monde permettrait de dominer le passé aussi bien que de prévoir l'avenir. Tout paraissait soumis à des lois strictes qui contraignaient une évolution dont le destin semblait accessible à l'intelligence. Avec les années, malgré une progression sans précédent des données de base et une maîtrise toujours plus poussée des lois

physiques fondamentales, les savants sont de plus en plus conscients que l'avenir n'est pas à la portée de la science. On sait maintenant que même si l'univers se trouvait sous la dépendance de systèmes simples et déterministes, ceux-ci ne conduisent pas obligatoirement vers des évolutions prévisibles du fait que l'indétermination des conditions aux limites ne peut pas être levée. De plus, on est conscient que de nombreux phénomènes naturels sont fonction de systèmes non linéaires ou qu'ils relèvent de phénomènes chaotiques. Dans tous ces cas, les trajectoires dans le temps de ces systèmes imposent des limites à la prévision qui n'est pas fondamentalement modifiée par l'augmentation de l'information. Ainsi donc, à long et moyen terme, le détail de notre avenir nous échappe et les actions requises pour lui donner le cours de notre choix sont illusoire. Pour sa part, la reconstitution du passé qui pourrait être un autre chemin pour approcher l'avenir, restera toujours prisonnière d'une information partielle et souvent partielle. A celui qui y cherche les solutions du futur, elle n'apporte que le reflet de ses propres visions.

Approche globale et conclusions

Malgré l'impossibilité d'établir une prédiction assurée, il serait faux de renoncer à se préoccuper du futur, car celui-ci n'est pas seulement fonction du hasard. Notre destin, celui de la Terre, est largement dépendant de nos actions actuelles et futures. Les analyses faites en direction du court terme gardent leur validité. A ce niveau, avec des résolutions temporelles variables en fonction des sujets traités, l'apport des données scientifiques reste valable, car elles tracent les tendances et représentent un guide précieux pour éviter les pires écueils.

Ainsi que nous l'avons présenté ci-dessus, l'humanité paraît actuellement engagée vers un avenir qui s'annonce particulièrement troublé, avec pour toile de fond, un environnement naturel, accueillant et hostile tout à la fois. A la base des évolutions prévisibles, dont certaines prennent l'allure de catastrophes¹, se situent toujours des questions de croissance: celles du bien-être, de la consommation et de la démographie. Sur ce dernier point, notre insistance pourrait faire croire que nous sommes prisonniers d'une d'idée fixe sur laquelle convergent toutes nos craintes. Notre intention vise plutôt à placer les graves questions de l'accroissement de la population mondiale et celui des grandes cités au centre d'un débat où se retrouve l'eau, l'énergie, la santé et l'accès aux biens de consommation associés à la richesse (Cf. Cohen, 1996). Ces sujets complexes sont intimement connectés et il est nécessaire de les aborder conjointement en les plaçant dans leur cadre culturel et environnemental régional. Cette nécessité apparaît souvent comme l'une des plus sérieuses entraves aux recherches de solutions globales et

¹ Le Bras, Hervé (1996) et d'autres auteurs ne partagent pas notre point de vue; ils estiment «que tout est bien dans le meilleur des mondes possible». Les problèmes d'ozone, de CO², etc. sont fabriqués par les scientifiques et la démographie trouvera sa solution!.

peut ainsi conduire à donner la préférence à des actions autoritaires. Il est cependant important de ne pas méconnaître les effets des restaurations traditionnelles qui souvent constituent les pires retards aux évolutions souhaitées. On peut aussi se demander si le respect que l'on doit avoir pour les cultures différentes ne nous impose pas d'éviter d'entraîner dans notre sillage ceux qui se trouvent encore en marge de la globalisation des échanges économiques et culturels qui transforment le monde. Les barrières de toutes sortes qu'exigent de telles solutions ne cessent de montrer leur inefficacité. Les chocs culturels amplifiés qu'elles préparent pour demain soulignent les risques de ses solutions trompeuses. Le développement démographique, économique et celui des communications a transformé la Terre en un ensemble où l'espace et le temps ont été réduits. Pour autant que certains égoïsmes s'estompent, cette situation devrait permettre d'atténuer les différences les plus marquées et par là, faciliter l'approche globale des problèmes critiques du proche futur.

Les questions complexes évoquées ci-dessus demandent de façon urgente des solutions globales, c'est-à-dire internationales. La rencontre de Rio et celles qui l'ont suivies représentent de modestes pas en avant. Tenant compte de l'urgence des actions qui devraient être entreprises, il importe de ne pas relâcher les efforts politiques pris dans cette direction, surtout lorsqu'on constate que la lutte pour la domination des marchés et l'accumulations de profits restent pour beaucoup l'unique préoccupation.

BIBLIOGRAPHIE :

a) ouvrages généraux :

Allègre Claude, 1900 : *Économiser la planète*. Ed. Fayard, Paris.

Cohen Joel E., 1996 : *How Many People Can the Earth Support?* Norton New York.

Le Bras Hervé, 1996 : *Les limites de la planète*. Flammarion Paris.

Stone Christopher D. : *The Gnat Is Older than Man. Global Environment and human Agenda*. Princeton University Press, 1993, 341 p.

b) articles spécialisés:

Boden Thomas et al. eds., 1994 : *Trends '93. A compendium of data on global change*. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory.

Bolin B. et al., 1995 : Changements climatiques 1995, Deuxième rapport d'évaluation du GIEC, Organisation météorologique mondiale et Programme des Nations unies pour l'environnement. 64 p.

Colwell Rita R., 1996 : Global Climate and Infectious disease: The Cholera Paradigm. *Science*, vol. 274, p. 2025-2031.

Fyfe William S., 1994 : The role of Earth Sciences in Society. *Nature & Resources*, Vol. 30, Nos. 3&4, p.4-7.

Imbrie et al., 1984 : The orbital theory of Pleistocene climate: support from a revised chronology of marine $d^{18}O$. In *Milankovitch and Climate, Part I*, Berger A.L. et al., eds., 269-305, Dordrecht, Holland, D. Reidel.

La Rivière, J. Maurits 1989 : L'eau en péril. *Pour la Science*, No. 145, 56-64.

- Ryder G. et al., 1996 : The Cretaceous Tertiary Event and Other Catastrophes in Earth History, *Special Paper, Geological Society of America*.
- Shoemaker Eugene M., 1983 : Asteroid and comet bombardment of the earth. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, Vol.11, 461-94.
- Smith Peter J., 1981 : The Earth as a magnet. In *The Cambridge Encyclopedia of Earth Sciences*, D.G. Smith Ed. 109-123, Cambridge University Press.
- Spencer Roy W., 1996 : 1995 the warmest year, that wasn't. *State of the Climate Report*, 9-11.
- Watson R.T., et al. 1990 : Greenhouse Gases and Aerosols. In *Climate Changes*, Houghton John T. et al. Intergovernmental Panel on Climate Change, University Press, 1-40.