

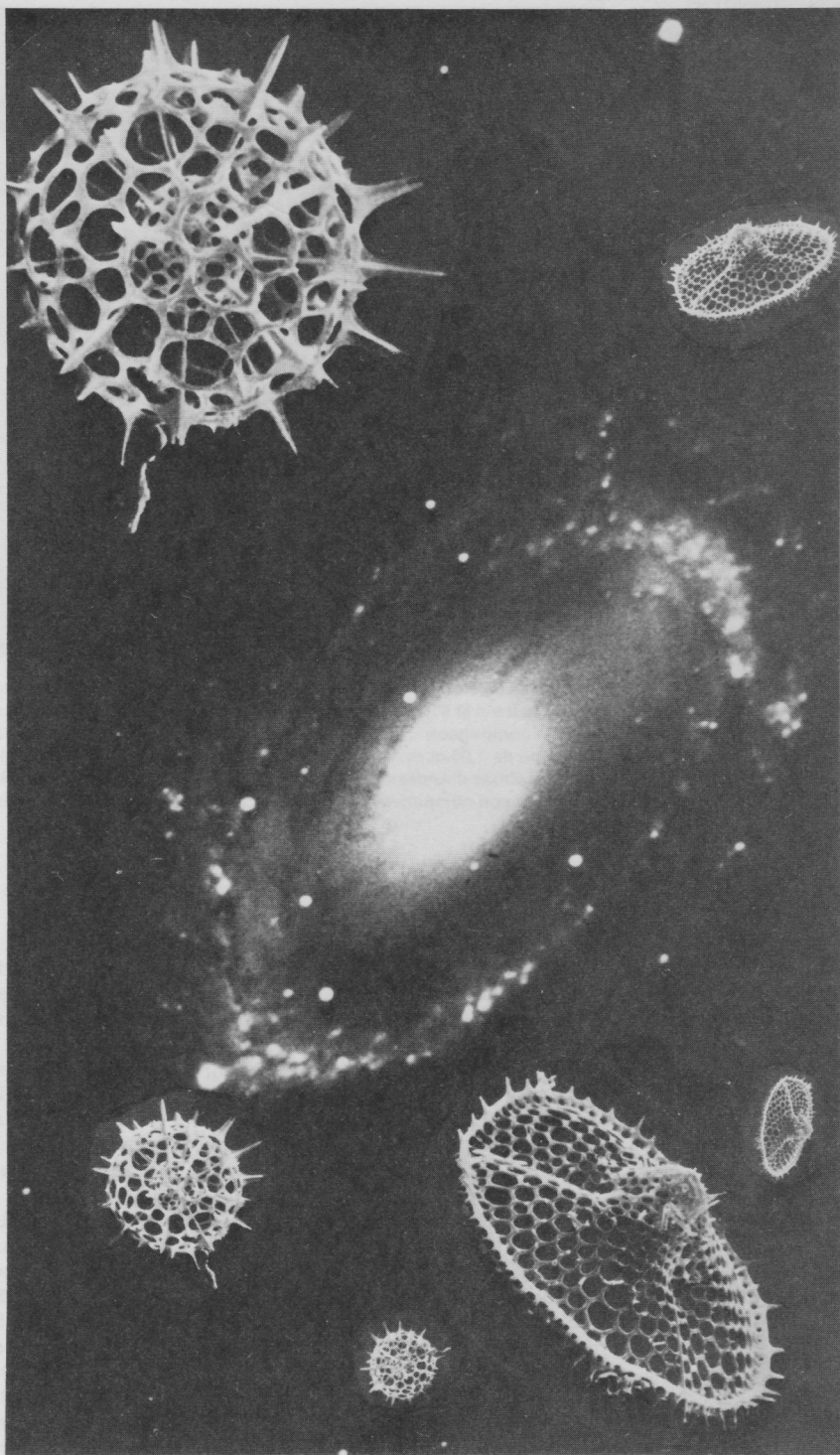
Des catastrophes cosmiques ont-elles perturbé la vie sur Terre ?

Au cours des dix dernières années, de nombreuses controverses se sont développées autour des conséquences possibles des activités humaines sur la composition et la température de l'atmosphère terrestre. Deux problèmes particulièrement ont été soulevés: la destruction progressive de l'ozone atmosphérique qui protège la surface de la Terre de l'effet nocif du rayonnement ultraviolet du soleil et l'impact sur le climat de la combustion des fossiles carbonés libérant du bioxyde de carbone. (Voir *La Recherche* n° 68, p. 510, juin 1976).

Cependant, au cours de ses 4,6 milliards d'années d'existence, notre planète a sans doute connu des événements naturels perturbant périodiquement les conditions à la surface du globe. C'est une idée qui émerge progressivement de recherches menées ces dernières années dans le monde sur ces phénomènes cosmiques qui ont pu influencer l'environnement de la Terre et entraîner notamment l'extinction de certaines espèces animales.

Lorsque la Terre perd son bouclier magnétique.

L'idée que l'ensemble de la surface de la Terre a pu être exposée à des flux de radiations élevés pendant les périodes d'inversion du champ magnétique terrestre date d'une quinzaine d'années. Son auteur, R.J. Uffen, ⁽¹⁾ suggérait que pendant la période d'annulation du champ magnétique l'accès des rayons cosmiques solaires n'était plus limité aux hautes latitudes comme il est actuellement. Il indiquait la possibilité que l'augmentation du niveau de radiations à la surface de la planète ait pu provoquer l'extinction ou la mutation de certaines espèces. Des travaux ultérieurs ont montré que ces effets *directs* seraient probablement négligeables, car l'augmentation de la dose de radiations qui en résulterait resterait très faible par rapport aux conditions « nor-



Certaines espèces marines monocellulaires, telles les radiolaires, se sont éteintes en raison des inversions du champ magnétique terrestre. En effet, ce dernier empêche habituellement l'accès des rayons cosmiques sur la plus grande partie de la Terre mais, lors des inversions, il s'annule laissant des flux de protons (composants essentiels des rayons cosmiques) particulièrement intenses bombarder la Terre. Ces protons modifieraient profondément les conditions de vie sur Terre en entraînant une diminution de la concentration d'ozone. (Nature x 10000, Librairie du Muséum national d'histoire naturelle.)

Des protons, en flux intense, peuvent aussi provenir des supernovae, étoiles subissant dans le ciel des explosions rapides et très violentes, telle celle-ci située dans la constellation de Bérénice. Ces explosions s'accompagnent d'une formidable quantité d'énergie et libèrent les protons des rayons cosmiques piégés dans les débris de supernovae. Encore un phénomène naturel, qui a pu bouleverser considérablement l'environnement terrestre. (Mount Wilson et Palomar Observatories.)

males». Par contre, la corrélation entre les inversions du champ magnétique terrestre et l'extinction de certaines espèces marines monocellulaires telles que les radiolaires est bien établie, au moins dans six cas au cours des 2,5 derniers millions d'années, et ne peut être due à une coïncidence. Le problème consiste donc à trouver par quel lien *indirect* l'inversion de polarité du champ magnétique peut engendrer des bouleversements de l'environnement susceptibles d'entraîner des conséquences catastrophiques sur l'évolution de certaines espèces. Un groupe de géophysiciens du Colorado (3) a proposé un mécanisme basé sur l'effet des rayons cosmiques solaires sur l'ozone stratosphérique par analogie avec les diminutions de concentration d'ozone observées lors des éruptions solaires. On sait, en effet, que lors d'éruptions importantes le Soleil émet une grande quantité de rayons cosmiques parmi lesquels les protons, dont l'énergie s'étend de 10^4 à 10^9 eV, jouent le plus grand rôle. Lorsque leur énergie dépasse 30 MeV, guidés par les lignes de force du champ magnétique, ils pénètrent dans la stratosphère de haute latitude où ils perturbent l'équilibre chimique qui contrôle la concentration d'ozone entraînant une diminution de ce dernier.

Des observations publiées tout récemment viennent de confirmer ces vues. (4) En effet, pendant plusieurs jours au cours du mois d'août 1972, la Terre fut soumise à une intense pluie de protons solaires émise au cours d'une activité solaire inhabituelle. On estime à plus de 200 000 ergs/cm² le flux d'énergie déposé dans la stratosphère au cours de cette période. Conformément aux calculs, une diminution atteignant 16 % dans les régions polaires fut observée dans la concentration d'ozone stratosphérique.

Dans les conditions actuelles, le champ magnétique terrestre joue donc un rôle de bouclier en limitant l'accès des protons aux latitudes supérieures à 60° environ, c'est-à-dire à une région représentant 1/7^e de la surface du globe. Au contraire, en période d'inversion du champ magnétique, le champ s'annule pendant quelques milliers d'années ouvrant ainsi l'accès des rayons cosmiques à la quasi-totalité de la terre. Les averses de protons solaires sont observées depuis une quinzaine d'années seulement et il est téméraire d'établir une statistique sur leur fréquence, leur intensité et plus encore d'extrapoler dans un passé lointain. Il est très possible que durant l'intervalle où la Terre perd sa « protection magnétique » des événements dix ou cent fois plus intenses que celui d'août 1972 aient provoqué une diminution d'ozone atteignant 30 à 40 %. Les calculs indi-

quent que l'effet maximum est observé un à deux ans après le début de l'averse de protons et persiste pendant une dizaine d'années. Il est probable que ces augmentations du niveau de radiation ultraviolette ont influencé considérablement le développement des espèces, mais il est encore trop tôt pour affirmer qu'elles constituent le facteur essentiel à l'extinction de certaines d'entre elles.

Quand une étoile explose au voisinage du système solaire...

D'autres facteurs, extérieurs cette fois à la planète, ont pu également modifier temporairement les conditions physiques à la surface de la Terre. Rappelons brièvement les spéculations élaborées à propos de la rencontre du système solaire avec des nuages d'hydrogène moléculaire au cours du mouvement du Soleil dans la galaxie. Un tel événement aurait pour effet de modifier le climat de la planète en augmentant son albédo (voir *La Recherche* n° 80, p. 616, juillet/août 1977). Mais je voudrais surtout parler ici de l'apparition au voisinage du système solaire de supernovae, ces étoiles subissant une explosion rapide et très violente. Ces explosions s'accompagnent d'une gigantesque quantité d'énergie variant entre 10^{47} et 10^{50} ergs, émise sous forme de rayons X et γ . Par ailleurs, il semble maintenant établi que les particules piégées dans les débris de supernovae, en expansion dans le milieu interstellaire, constituent la source principale de rayons cosmiques galactiques qui bombardent continuellement la Terre. Des chercheurs américains (5) viennent de calculer l'effet sur l'ozone et d'autres constituants atmosphériques de la rencontre avec la Terre d'un reste de supernovae en expansion. Pendant 1 000 à 10 000 ans, la Terre serait soumise à un bombardement 100 à 1 000 fois plus intense que le niveau actuel de rayons cosmiques. Partant de l'équilibre correspondant aux conditions actuelles, ils prévoient une réduction de 64 % à 89 % de la colonne d'ozone selon que la valeur adoptée pour le flux de rayons cosmiques vaut 100 ou 1 000 fois sa valeur actuelle. Simultanément, la quantité totale de bioxyde d'azote augmente d'un facteur 13 à 130. Ces changements de concentration ont pour conséquence d'engendrer une modification de la composition spectrale du rayonnement solaire traversant la stratosphère et, notamment, d'accroître l'intensité dans la partie rouge du spectre. Dans le cas d'une augmentation du flux de rayons cosmiques d'un facteur 1 000, la quantité totale d'énergie lumineuse reçue au sol diminuerait de plusieurs pour cent à toutes les latitudes avec un effet plus marqué vers les pôles.

Pour évaluer les effets de ces catastrophes cosmiques, il faut aussi tenter d'évaluer la fréquence d'un tel événement comparé à l'âge de notre planète. La fréquence de l'explosion d'une supernova dans une sphère de 10 parsecs (6) n'est cependant pas facile à estimer et fait l'objet de controverses. Une petite dizaine seulement ont été observées depuis 1 000 ans dans notre galaxie et ce nombre est difficile à extrapoler. Les calculs les plus raffinés (7) réalisés jusqu'ici sont basés sur le fait que les supernovae sont dans leur grande majorité concentrées dans les bras spiraux de la galaxie. On en déduit qu'environ 50 000 supernovae explosent pendant les 10 millions d'années nécessaires à la traversée d'un bras galactique par le Soleil. On peut donc s'attendre à observer au moins une explosion de supernovae à moins de 10 parsecs du Soleil à chaque passage du Soleil dans un bras spiral, c'est-à-dire tous les 100 millions d'années environ !

Depuis sa formation, la Terre aurait été ainsi soumise plusieurs dizaines de fois aux effets décrits plus haut. Quelles conséquences ces événements cosmiques ont-ils pu produire à la surface du globe ? La modification du rayonnement solaire incident à la surface a pour effet de modifier la température moyenne. Cependant, les estimations diffèrent selon les modèles utilisés : elles prédisent un abaissement de température variant de 0,3 à 3° K. Une première conséquence de ce refroidissement est une diminution de la vapeur d'eau dans la troposphère allant jusqu'à 20 % dans le second cas, ce qui aurait pour effet de décroître l'efficacité de l'effet de serre et d'abaisser encore la température. Le régime des pluies s'en trouverait modifié et une période de sécheresse pourrait apparaître. La photosynthèse étant plus efficace dans le rouge que dans le bleu, celle-ci serait ralentie, avec d'éventuelles redistributions géographiques de la vie végétale. Enfin, la quantité d'azote fixé résultant de la dissociation de l'azote moléculaire et retombant à la surface de la Terre augmenterait sensiblement provoquant également des bouleversements dans la biosphère. Contrairement à la corrélation entre l'extinction des radiolaires et les inversions du champ magnétique terrestre, il ne semble pas exister à l'heure actuelle d'évidence d'extinctions massives qui seraient des conséquences de catastrophes cosmiques de ce type. Beaucoup d'incertitudes subsistent quant à la fréquence de ces événements et aucun modèle satisfaisant n'a encore été développé. Il faudra attendre ceux-ci pour tirer des conclusions plus définitives sur l'importance de ces phénomènes quant au passé et à l'avenir de notre planète.

Jean-Claude Gérard

(1) R.J. Uffen, *Nature*, 198, 143, 1963.
 (2) J.D. Hays, *Bull. Geol. Soc. Am.*, 82, 2433, 1971.
 (3) G.C. Reid, I.S.A. Saksen, T.E. Holzer, P.J. Crutzen, *Nature*, 259, 177, 1976.
 (4) P. Fabian, J.A. Pyle, R.J. Wells, *Nature*, 277, 458, 1979.
 (5) G.C. Reid, J.R. McAfee, P.J. Crutzen, *Nature*, 275, 489, 1978.
 (6) 1 parsec = 3×10^{13} km.
 (7) D.H. Clark, D.H. McCrea, F.R. Stephenson, *Nature*, 265, 318, 1977.