

la végétation, jusqu'à quatre mètres de hauteur. Ils possédaient de petites dents, incapables de broyer efficacement les végétaux dont ils se nourrissaient : leur estomac contenait des petits cailloux, nommés gastrolithes, qui écrasaient la nourriture. Ces deux groupes sont écologiquement différents et ils n'étaient

pas concurrents : les dinosaures se sont plutôt développés d'une manière opportuniste après la disparition des dicynodontes et des rhynchosaures, victimes de leur spécialisation et de la modification du milieu.

Un important changement climatique entre le Carnien et le Norien

explique ces changements de faunes. Au Carnien, le climat était chaud et humide ; pendant le Norien, le climat était plus sec, voire semi-désertique. Le climat semi-aride a défavorisé les grands reptiles mammaliens brouteurs, dont le système excréteur, à base d'urée, nécessitait beaucoup d'eau. Le système excréteur des dinosaures aurait été à base d'acide urique, plus économe en eau. Leur capacité à se nourrir dans les strates hautes de la végétation était aussi plus adaptée à une végétation plus clairsemée qu'au Carnien, et la position de leurs membres, sous leur corps, leur permettait de se déplacer plus facilement pour trouver leur nourriture. Après l'extinction des reptiles mammaliens, défavorisés dans ce milieu semi-désertique, les dinosaures se sont développés en toute quiétude.

Le développement des dinosaures carnivores serait un contre-coup de ces changements. Avec de grands herbivores plus mobiles, la situation des grands «thécodontes» carnivores était moins confortable. Leur diversité se serait donc réduite, et ils auraient laissé la place aux dinosaures.

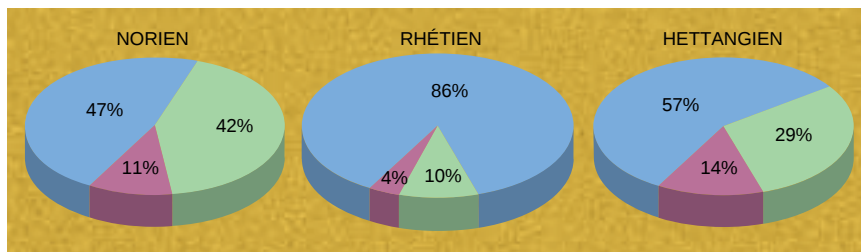
La transgression marine du Rhétien

Après cette extinction de grande ampleur, l'écosystème ne s'est pas stabilisé. En Europe, on observe, un peu avant la fin du Trias, une importante remontée du niveau des mers, la transgression rhétienne. À cette époque, l'Europe est un archipel, pas un continent monobloc. La transgression réduit, sur chaque île, la surface habitable par les reptiles terrestres : ces animaux vivent difficilement, et disparaissent notamment les derniers «thécodontes» et les dinosaures prosauropodes de la famille des *Plateosauridae*. Les animaux de petite taille, tels les mammifères et les reptiles sphénodontes, semblent moins souffrir. Leur petite taille est un avantage considérable pour résister à une diminution de surface habitable.

À l'inverse de ce qui se passe sur les terres, les faunes aquatiques et marines sont favorisées par l'extension de la mer sur l'Europe. Les premiers plésiosaures, reptiles marins au cou allongé, apparaissent, et de nouvelles familles d'ichthyosaures, reptiles marins qui ressemblaient aux dauphins, se développent. Les poissons changent aussi beaucoup, avec l'apparition de poissons à dentition broyeuse très évoluée,



5. PIED DE *PLATEOSAURUS* retrouvé tel quel en Haute-Marne, dans une couche sédimentaire du Norien. Les fossiles du Norien retrouvés ainsi, en connexion, sont rares en France.



6. LES VERTÉBRÉS SE SONT RÉPARTIS différemment dans les modes de vie terrestre (en vert), aquatique (en bleu) et amphibie (en rose) au cours de la crise Trias-Jurassique. On voit nettement les conséquences de la transgression rhétienne qui a considérablement réduit le pourcentage des faunes terrestres.

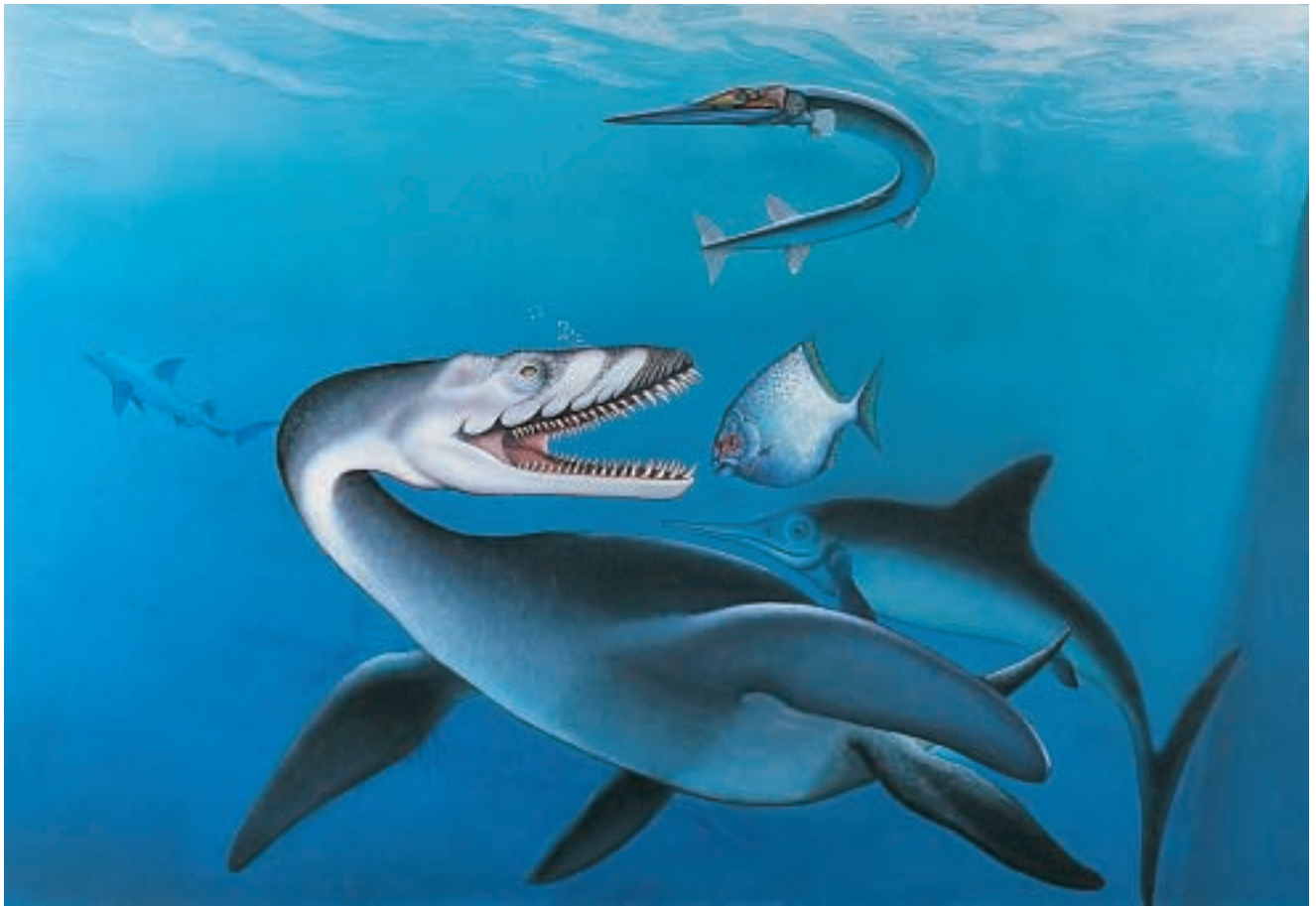
qui se nourrissent d'animaux à coquilles dures. On assiste au développement des premiers poissons téléostéens qui règnent aujourd'hui dans les océans et dans les rivières, ainsi qu'à une explosion de la diversité des requins, avec les premiers requins de type moderne et des formes très spécialisées chez les requins primitifs.

La transgression rhétienne bouleverse un écosystème fragilisé qui sort juste d'une crise importante. Elle ne produit pas une crise catastrophique, mais seulement un réaménagement écologique. Cette transgression rhétienne n'a pas touché toute la planète également. Aux États-Unis, où les couches stratigraphiques n'ont pas enregistré cette montée du niveau des mers, les paléontologues constatent pourtant toute une série d'extinctions, plus brutales qu'en Europe à la même période. Certains contestent parfois l'existence d'une crise à la limite entre le Carnien et le Norien : les extinctions observées seraient progressives, et le grand phénomène d'extinction aurait lieu à la fin du Trias. Cette crise serait courte : en 100 000 ou 200 000 ans, la faune typique du Jurassique serait déjà en place, alors que la transition a duré entre un et quatre millions d'années en Europe.

La météorite en question

La chute d'une météorite est-elle intervenue dans cette crise, comme dans celle de la fin du Crétacé ? Au Québec, à Manicouagan, un cratère d'impact d'un diamètre supérieur à 70 kilomètres serait la trace d'une telle chute. L'âge de ce cratère pose problème : les dernières analyses géochimiques indiquent qu'il daterait du Norien moyen. Des taux d'iridium anormalement élevés dans des couches de la fin du Trias ont aussi été signalés, indiquant un événement extraterrestre, mais ces observations ont été contestées.

En outre, les évolutions de la faune à la fin du Trias sont différentes de celles que l'on observe à la fin du Crétacé : il y a 65 millions d'années, les catégories d'animaux terrestres les plus sévèrement touchées ont été les herbivores. Les quantités de poussières soulevées par l'impact d'une météorite auraient empêché la lumière solaire d'atteindre la surface de la Terre : la photosynthèse aurait été bloquée, privant les herbivores de nourriture. En revanche, les herbivores qui dominent juste après la crise Trias-Juras-



7. À L'EXTRÊME FIN DU TRIAS, selon les fossiles découverts à Provenchères-sur-Meuse, la transgression rhétienne favorise le développement de reptiles marins tels les plésiosaures (au premier plan) et les ichthyosaures (à l'arrière-plan) qui ressemblent au dauphin.

Des poissons au corps très élevé et possédant des dents broyeuses, nommés *Sargodon*, apparaissent aussi à cette époque. *Saurichthys*, un poisson filiforme, et *Hybodus* (à l'arrière-plan à gauche), un requin primitif, existaient quant à eux dès le début du Trias.

sique sont les prosauropodes, les tritylodontes et les ornithischiens. Prosauropodes et tritylodontes sont des lignées en pleine expansion depuis le Norien, et les ornithischiens existaient déjà à la fin du Trias. Les seuls herbivores à s'éteindre dans cette période sont les aëtosaures et les trilophosaures, lignées déjà anciennes, ayant survécu à la crise Carnien-Norien et probablement affaiblies. L'attribution de cette crise à la chute d'une météorite est donc sans fondement.

La transition du Trias au Jurassique est marquée par une crise brutale en Europe à la limite Carnien-Norien et par un simple réaménagement des faunes à la fin du Trias ; en Amérique du Nord, on observe l'inverse. À une échelle globale, on observe l'extinction de lignées majeures à la limite Carnien-Norien, mais aussi à l'extrême fin du Trias. Toutefois dans la première partie du Jurassique, l'Hettangien, le niveau des mers était élevé : nous trouvons surtout des sédiments marins pour cette période. L'Hettangien est

en outre difficile à distinguer des autres périodes dans les environnements terrestres, comme en Amérique du Nord ou en Chine. Comment en ce cas être assuré de l'extinction de certaines lignées à la limite entre le Trias et le Jurassique ? On a ainsi retrouvé dans les carrières d'Hettange, en Lorraine, des dents de phytosaure. Ce site est pourtant la référence internationale qui définit l'Hettangien : les phytosaures, contrairement à ce que l'on croyait jusqu'à présent, ne se seraient-ils pas éteints à la fin du Trias ? Peut-être ces fossiles ont-ils été déposés durant le Trias, arrachés à la roche par un cours d'eau au début du Jurassique et redéposés secondairement dans une mer peu profonde.

La corrélation exacte des formations géologiques situées sur des continents différents est aussi difficile. Ce que l'on nomme Rhétien en Amérique du Nord représente-t-il la même période que ce que l'on nomme Rhétien en Europe ? De telles incertitudes peuvent-elles modifier notre vision globale des événements

de la fin du Trias ? Seule la découverte de nouveaux sites fossilifères à travers le monde nous permettra de répondre à ces questions, car la paléontologie est avant tout une science de terrain.

Gilles CUNY est paléontologue au Département de géologie de l'Université de Bristol.

Les dinosaures, Dossier Pour la Science, septembre-novembre 1993.

The Beginning of the Age of Dinosaurs : Faunal Change across the Triassic-Jurassic Boundary, sous la direction de Kevin Padian, Cambridge University Press, 1986.

Louis de BONIS, *Évolution et extinction dans le règne animal*, Masson, 1991.

Eric BUFFETAUT, *Grandes extinctions et crises biologiques*, Mentha, 1992.

Jean-Michel MAZIN et Gilles CUNY, *Plateosaurus et l'histoire des dinosaures*, Cercle Girardot, Lons-le-Saunier, 1992.

In the Shadow of the Dinosaurs : Early Mesozoic Tetrapods, sous la direction de Nicholas C. Fraser et Hans-Dieter Sues, Cambridge University Press, 1994.

L'origine des glaciations

WALLACE BROECKER

Dans le passé, les températures sur Terre ont varié de plus de dix degrés en quelques dizaines d'années seulement. De tels sauts climatiques auront-ils encore lieu ?

Les 10 000 dernières années ont été exceptionnelles dans l'histoire de notre planète : jamais, depuis 100 000 ans, le climat n'avait été si régulier ni si stable. Des carottages dans la glace du Groenland ont révélé, pendant la dernière glaciation, une série de vagues de froids et de réchauffements d'au moins 1 000 ans chacune, qui ont élevé ou abaissé la température hivernale moyenne, en Europe du Nord, d'environ dix degrés en seulement dix ans. Ces brusques changements sont indiqués par les poussières atmosphériques, et les quantités de méthane et de précipitations conservées dans les couches de glace.

La dernière véritable période froide, longue d'un millier d'années et nommée Dryas récent (le dryas est une fleur de toundra dont l'habitat s'est considérablement étendu à cette époque), s'est terminée il y a environ 11 000 ans. On en trouve des traces dans les sédiments marins de l'Atlantique Nord, dans les glaciers morainiques de Scandinavie et d'Islande, et dans les lacs et les marécages maritimes du Canada et d'Europe du Nord. Le Nord-Ouest des États-Unis a aussi connu un refroidissement important.

De nombreuses observations indiquent que le refroidissement du Dryas récent touchait toute la planète. Le réchauffement du plateau polaire de l'Antarctique s'est interrompu pendant cette période, les glaciers de Nouvelle-Zélande ont avancé et, dans le Sud de la mer de Chine, les proportions des diverses espèces de plancton ont changé radicalement. La concentration en méthane dans l'atmosphère a diminué de 30 pour cent. Seuls les relevés de pollens effectués dans certaines parties des États-Unis

ne montrent aucune trace de refroidissement du climat à ce moment.

Pourquoi le climat s'est-il ainsi refroidi ? Le fera-t-il à nouveau, et quand ? Les climatologues pensent aujourd'hui qu'une modification soudaine de la circulation de la chaleur et du sel, dans les océans, perturberait considérablement le climat planétaire. Des cellules de convection géantes, semblables à des tapis roulants, circulent dans les océans (voir la figure 1). Dans l'Atlantique, par exemple, les eaux chaudes s'écoulent en surface, vers le Nord ; près du Groenland, l'air arctique qui les refroidit les fait plonger à une grande profondeur et former un courant qui voyage vers le Sud jusqu'à l'océan Antarctique. Là, les

