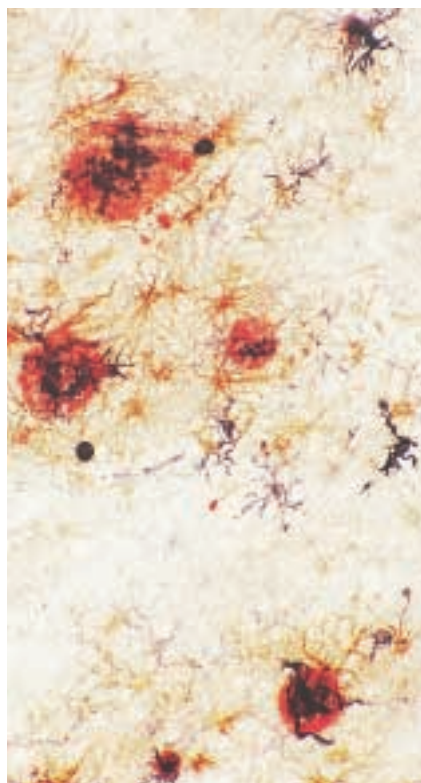




2. LES PLAQUES SÉNILES (les régions arrondies sur la photographie) semblent provoquer les lésions neuronales responsables des déficits de la mémoire chez les patients atteints de la maladie d'Alzheimer et de trisomie 21. Ces plaques contiennent surtout des fragments de la protéine bêta-amyloïde (en rouge orangé), toxique pour les neurones et pour les cellules microgliales (en violet foncé). Les

plaques contiennent aussi d'autres cellules gliales nommées astrocytes (les "étoiles" brunes), ainsi que des axones endommagés et des dendrites (non visibles). Les cellules microgliales favoriseraient la formation de ces plaques. Une fois activées, elles endommageraient directement les neurones en libérant des substances toxiques, dont certaines sont répertoriées sur le tableau.

Les produits libérés par les cellules microgliales : des armes à double tranchant		
Substance chimique	Effets bénéfiques	Effets toxiques
Protéine précurseur de la protéine bêta-amyloïde	Inconnus	Après dégradation, donne la protéine bêta-amyloïde
Cytokines (messagers immunitaires)	Attirent d'autres cellules vers le site d'infection : certaines favorisent la survie ou la réparation des astrocytes ; d'autres combattent les tumeurs	Risquent d'endommager des cellules saines et de déclencher la sécrétion, par d'autres cellules, de substances toxiques
Facteurs de croissance	Favorisent la survie et la réparation des neurones	Inconnus
Enzymes protéolytiques	Participent à la dégradation des microbes et des cellules endommagées	Peuvent détériorer les membranes des cellules saines ; peuvent contribuer à la formation de la protéine bêta-amyloïde
Radicaux oxygénés	Peuvent endommager les membranes, les protéines et l'ADN des microbes	Peuvent endommager les cellules saines et favoriser l'agrégation des protéines bêta-amyloïde

un gros vaisseau qui alimente le cerveau antérieur, le tissu cérébral irrigué par ce vaisseau dégénère rapidement. Au cours des jours qui suivent, des neurones particulièrement vulnérables localisés dans l'aire CA1 de l'hippocampe dégénèrent également. Or les cellules microgliales sont activées dans les minutes qui suivent l'accident vasculaire, bien avant que les neurones de l'hippocampe ne soient détruits (cette activation est mise en évidence par des modifications de forme et par une réaction colorée plus intense) : les cellules microgliales, détectant le danger, tenteraient de protéger les neurones, déclenchant ou augmentant la sécrétion de facteurs de croissance capables de réparer les lésions. En outre, les modifications chimiques qui ont lieu dans la région finiraient par supprimer les régulations des cellules microgliales, qui deviendraient agressives.

Enfin, les cellules microgliales pourraient également participer à l'apparition de la sclérose en plaques, de la maladie de Parkinson et de la sclérose latérale amyotrophique. Les cellules microgliales évoluent aussi avec l'âge, comme en témoigne l'augmen-

tation du nombre des antigènes du complexe majeur d'histocompatibilité qu'elles portent. Ainsi, les mécanismes normaux d'inhibition de la progression vers un état suractivé dangereux se relâcheraient progressivement, ce qui favoriserait la destruction neuronale, et contribuerait à la sénilité et au déclin de la mémoire.

Lueurs d'espoir

Les cellules microgliales sont au banc des accusés dans bien des maladies du cerveau, mais si elles interviennent effectivement, on pourrait les inhiber spécifiquement ou bloquer l'activité de leurs produits. On teste de tels traitements chez des patients atteints de la maladie d'Alzheimer : on étudie sur quelques personnes l'innocuité et l'efficacité d'un agent anti-inflammatoire capable d'inhiber les cellules microgliales activées. Peut-être parviendra-t-on aussi à stimuler la production microgliale de facteurs de croissance protecteurs.

Il y a 10 ans, certains niaient jusqu'à l'existence des cellules microgliales. Il y a cinq ans, la plupart des médecins auraient ri si on leur avait

dit que ces cellules jouent un rôle important dans la maladie d'Alzheimer ou dans d'autres maladies neurodégénératives. Aujourd'hui, le scepticisme s'estompe : de nombreux neurobiologistes sont convaincus que les travaux sur les cellules microgliales déboucheront sur de nouveaux traitements de quelques-unes des maladies les plus dévastatrices qui touchent l'espèce humaine.

Wolfgang STREIT est professeur de neurosciences à l'Institut de recherches sur le cerveau de Floride. Carol KINCAID-COLTON est professeur de physiologie et de biophysique à la Faculté de médecine de Georgetown.

W.J. STREIT, M.B. GRAEBER et G.W. KREUTZBERG, *Functional Plasticity of Microglia : A Review*, in *Glia*, vol. 1, n° 5, pp. 301-307, mai 1988.

Microglia, sous la direction de M.B. Graeber, G.W. Kreutzberg et W.J. Streit, in *Glia* (numéro spécial), vol. 7, n° 1, janvier 1993.

Neuroglia, sous la direction de H. Kettenmann et B.R. Ransom, Oxford University Press, 1995.

La crise biologique à la transition Trias-Jurassique

GILLES CUNY

Il y a 220 millions d'années, la faune s'est profondément modifiée. Les grands reptiles du Trias ont cédé la place aux dinosaures, et les lignées modernes, dont les mammifères, se sont mises en place.

Depuis l'apparition de la vie sur Terre, les écosystèmes de notre planète ont été fortement perturbés à plusieurs périodes, où de nombreuses lignées animales ou végétales se sont éteintes en peu de temps. La plus connue de ces périodes est la transition Crétacé-Tertiaire, où ont disparu, entre autres, les dinosaures. On dénombre, depuis 410 millions d'années, au moins huit crises analogues, où de nombreuses familles animales ont disparu. De telles crises se sont probablement aussi produites au début de l'histoire de la vie. Toutefois, plus on étudie des phénomènes anciens, plus les fossiles sont rares et difficiles à trouver : aussi d'éventuels bouleversements, même de grande ampleur, peuvent-ils passer inaperçus.

Les crises les plus importantes, parmi celles que nous connaissons, sont au nombre de trois. Il y a 365 millions d'années, 33 pour cent des familles de poissons ont disparu. Il y a 275 millions d'années, 58 pour cent des familles de tétrapodes (les animaux à quatre pattes) se sont éteintes. Enfin, entre le Permien et le Trias, il y a 245 millions d'années, 49 pour cent des familles de tétrapodes ont disparu. En comparaison, 14 pour cent seulement des familles de tétrapodes ont été touchées par la crise de la fin du Crétacé.

Les paléontologues et les géologues essaient de déterminer les causes de ces extinctions en masse. Ils privilégient aujourd'hui les explications de type catastrophe : un événement unique et hors du commun, telle la chute d'une météorite ou une éruption volcanique, serait, par réaction en chaîne, respon-

sable de l'effondrement d'un écosystème et des extinctions qui en résultent. Toutefois la crise qui s'est produite entre le Trias et le Jurassique, où 22 pour cent des familles de tétrapodes se sont éteintes, montre que les choses ne sont pas toujours si simples. Cette crise s'étend sur près de 15 millions d'années, entre la fin du Carnien (il y a 220 millions d'années) et le début de l'Hettangien (il y a 205 millions d'années). Elle est particulièrement importante dans l'histoire de la vie animale : elle marque le début de la domination des dinosaures, qui a duré près de 150 millions d'années. Elle nous intéresse tout particulièrement : la plupart des lignées animales modernes, dont les mammifères, se sont mises en place à cette période.

Quelles ont été les causes de cette crise ? Alors que les continents actuels étaient rassemblés et formaient la Pangée (l'océan Atlantique n'existait pas), l'évolution de la faune a été différente en Europe et en Amérique du Nord. En Europe, les plus grands bouleversements seraient intervenus entre le Carnien et le Norien, il y a 220 millions d'années ; en Amérique du Nord, la crise aurait culminé à la fin du Trias,

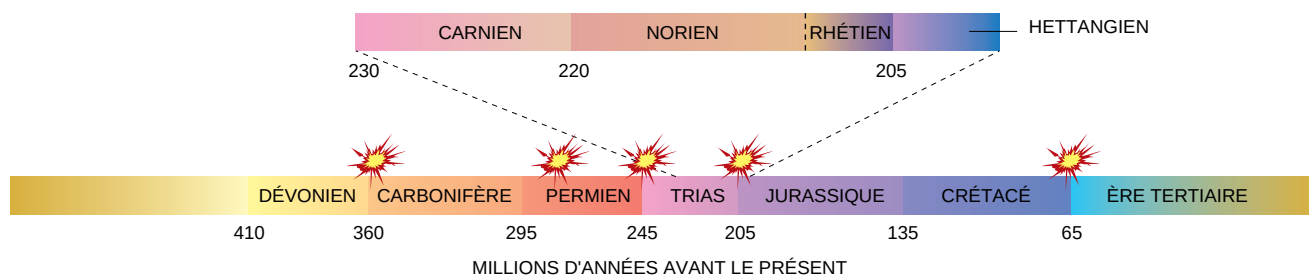
15 millions d'années plus tard. Un mécanisme global est donc peu vraisemblable. Les paléontologues pensent que des variations climatiques régionales, de nature différente et décalées dans le temps, ont modifié assez vite les milieux naturels : les espèces trop spécialisées vis-à-vis d'un biotope, incapables de survivre dans un environnement différent, auraient alors disparu.

Des dinosaures et des mammifères discrets

Les dinosaures, les ptérosaures (leurs cousins volants) et, dans une moindre mesure, les mammifères ont été les principaux bénéficiaires du bouleversement de la faune à la fin du Trias. Au Carnien, il y a entre 230 et 220 millions d'années, les ptérosaures n'existent pourtant pas encore et les dinosaures ne sont représentés que par quelques espèces, dont le rôle au sein des écosystèmes est relativement discret. Les mammifères viennent aussi d'apparaître. On n'en connaît qu'un seul fossile, *Adelobasileus*, dont le crâne dépasse à peine deux centimètres. En revanche, leurs proches cousins, les reptiles mammaliens du

1. PAYSAGES D'EUROPE au Carnien (en haut) et au Norien (en bas). Au Carnien (il y a entre 230 et 220 millions d'années), la faune, reconstituée ici d'après les fossiles découverts à Lossiemouth, en Écosse, est dominée par les «thécodontes». Le carnivore *Ornithosuchus* menace *Stagonolepis*, un végétarien protégé par une cuirasse de plaques osseuses. Un autre reptile végétarien, le rhynchosaure *Paradapedon*, se tient au pied de l'arbre. Au Norien (il y a entre 220 et 210 millions d'années), reconstitué d'après des fossiles découverts en Allemagne, en Belgique, en France et en Italie, de nouvelles formes de reptiles se développent. Les dinosaures sont surtout représentés par le prosauropode *Plateosaurus*, situé à l'arrière-plan, mais aussi par de petits dinosaures carnivores tel *Procompsognatus*, au pied de l'arbre. Les airs se peuplent de ptérosaures, ici *Eudimorphodon* et les premières tortues apparaissent avec, au premier plan *Proganochelys*. Les premiers mammifères, tel *Woutersia* tapi au pied de *Proganochelys*, attendront encore 145 millions d'années leur heure de gloire.





2. LA PETRIFIED FOREST FORMATION, en Arizona, a livré une riche faune de vertébrés du Carnien (en haut, à gauche). En France, dans le Jura, on observe des affleurements datant du Norien (en

haut, à droite). Sur l'échelle des temps géologiques (en bas), les étoiles indiquent les plus importantes crises répertoriées dans l'histoire de la vie.

groupe des cynodontes chiniquodontes, sont bien représentés, par des formes en général de petite taille, avec un crâne dont la longueur est comprise entre trois et six centimètres. Ces animaux formaient une communauté d'insectivores importante et diversifiée.

La faune du Carnien est dominée par des amphibiens et des reptiles dont la plupart sont en place depuis au moins le début du Trias, il y a 245 millions d'années. Les grands reptiles herbivores, mesurant de un à trois mètres de long, sont représentés par cinq groupes : les dicynodontes, les traversodontes, les rhynchosaures, les trilophosaures et les aëtosaures. Les quatre premiers groupes ont en commun des pattes situées sur le côté du corps, peu efficaces pour se déplacer, ainsi qu'un système de mastication très évolué, quoique différent d'un groupe à l'autre. La mâchoire supérieure des dicynodontes possède deux défenses ; les dents postérieures sont absentes. Les végétaux étaient broyés, avant digestion, par un bec corné qui remplaçait les dents grâce à un mouvement de la mâchoire d'avant en arrière. Les traversodontes possédaient des dents postérieures élargies qui permettaient une mastication efficace. Les rhynchosaures étaient, quant à eux, pourvus d'une mâchoire particulière :

les os de l'avant de la mâchoire étaient recourbés, pour former une pince puissante qui permettait à l'animal de couper des plantes dures à ras du sol. Les trilophosaures étaient des quadrupèdes lourdement bâtis, avec des dents postérieures élargies comme celles des traversodontes.

Les dicynodontes et les traversodontes sont des reptiles mammaliens, de la lignée qui a donné naissance aux mammifères, tandis que les rhynchosaures et les trilophosaures sont d'une lignée voisine de celle des «thécodontes» qui aboutira aux dinosaures et aux crocodiles. Les aëtosaures sont des «thécodontes» et se distinguent par des membres situés sous leur corps. Ils possédaient, sur le ventre et sur le dos, une carapace de plaques osseuses rectangulaires articulées. Leur système de mastication était peu efficace, formé seulement d'une rangée de petites dents en forme de feuilles.

Les «thécodontes»

Les «thécodontes» sont un ensemble hétérogène de reptiles : de nombreuses controverses persistent quant à leur classification exacte. Le seul point qui fait aujourd'hui l'unanimité est qu'ils se sont divisés en deux lignées principales :

l'une, à laquelle appartiennent les aëtosaures, a donné naissance aux crocodiles ; l'autre a donné naissance aux dinosaures et aux ptérosaures. Les grands carnivores terrestres du Carnien sont représentés par deux ensembles de «thécodontes», les *Rauisuchia* et les *Ornithosuchidae*. Les *Rauisuchia* sont placés sur la lignée qui mène aux crocodiles, tandis que les *Ornithosuchidae* sont placés sur l'une ou l'autre des deux lignées. De grande taille, ils dépassaient parfois trois mètres de long et étaient généralement quadrupèdes. Leurs membres, comme ceux des aëtosaures, étaient placés sous leur corps et leur permettaient de se déplacer facilement et vite.

À côté de ces grands animaux, des carnivores de plus petite taille, de moins de un mètre de long, se nourrissaient plus volontiers de petites proies et de carcasses abandonnées. Un exemple significatif est *Erpetosuchus*, découvert en Écosse. La mâchoire de cet animal de 70 centimètres de long était pourvue, sur le devant, de grandes dents recourbées ; à l'arrière, une crête osseuse édentée servait certainement à broyer les proies, des insectes essentiellement. Comme pour la plupart de ces petits «thécodontes», les relations de parenté d'*Erpetosuchus* sont floues.

Les petits reptiles omnivores constituent un ensemble assez diversifié. On y trouve des «thécodontes», tel *Scleromochlus*, qui ne dépassait pas 20 centimètres de long et possédait des membres postérieurs beaucoup plus développés que les membres antérieurs. *Scleromochlus* était très proche de l'ancêtre direct des dinosaures ou des ptérosaures. Les sphénodontes, cousins des lézards et des serpents, dont le seul représentant actuel est le Tuatara de Nouvelle-Zélande, commencent à se diversifier au Carnien : ils représentent une composante non négligeable des faunes de cette époque. Ils partageaient la niche écologique de nos actuels lézards avec les procolophinides, de petits animaux, aujourd'hui disparus, dont la taille était comprise entre 10 et 30 centimètres et dont l'aspect général rappelle celui d'un lézard massif. Ces animaux portaient sur le crâne des protubérances osseuses dont le rôle était vraisemblablement défensif. Leurs dents massives indiqueraient un régime végétarien ou insectivore.

Enfin les faunes amphibiennes des lacs et des rivières sont dominées par deux groupes : les amphibiens temnospondyles et les phytosaures. Les amphi-

biens temnospondyles étaient représentés essentiellement par des Métoposauridés, au crâne plat et fortement ossifié. Leurs pattes peu développées indiquent un mode de vie plus aquatique que terrestre. La plupart de ces prédateurs dépassaient un mètre de long. Les phytosaures sont des reptiles «thécodontes» dont la morphologie générale rappelle celle des crocodiles actuels, bien qu'ils n'aient aucun lien de parenté direct. Les phytosaures se distinguent par des narines situées au sommet du front et par un museau généralement plus allongé et plus fin. En outre, sur la mâchoire supérieure des phytosaures, c'est l'avant qui est développé pour allonger le museau, tandis que chez les crocodiles, c'est le maxillaire. Ces phytosaures atteignaient six mètres de long.

Les modifications du Norien

En extrayant les fossiles des couches sédimentaires, on constate une profonde modification de la faune entre le Carnien et le Norien, qui lui est immédiatement postérieur. Les grands reptiles herbivores, les dicynodontes et les rhy-

chosaures disparaissent, tandis que la diversité des traversodontes et des tritylodontes diminue. Les traversodontes ne sont plus connus que par une petite forme européenne, *Microscalenodon*. Seuls les aétosaures se maintiennent avec, en particulier, le genre *Aetosaurus*, dont plusieurs dizaines de squelettes ont été découverts en Allemagne. En revanche, les dinosaures se développent spectaculairement. De un à six pour cent de la faune du Carnien, ils passent à 25, voire 60 pour cent, selon les endroits. Les prosauropodes, surtout, se répandent, tel le genre *Plateosaurus*, en Europe, qui atteignait huit mètres de long. Les dinosaures ornithischiens s'étaient aussi différenciés dès cette époque, mais ils restent discrets : on n'en retrouve que quelques dents dans les couches fossilifères.

Les nouveaux reptiles mammaliens végétariens du Norien, les tritylodontes, sont différents de leurs prédécesseurs. Leur longueur ne dépassait guère un mètre. Comme celle des traversodontes, leur dentition permettait une mastication efficace, avec des postcanines ressemblant aux molaires des mammifères.



3. CETTE RECONSTITUTION DE *PLATEOSAURUS*, un dinosaure sauropode du Norien, est l'œuvre du sculpteur suisse Pascal Rérat.

Parmi les grands reptiles carnivores, on observe la raréfaction des «thécodontes». Un seul *Rauisuchia* semble encore présent en Europe, *Teratosaurus* : il n'est connu que par un fragment de maxillaire. En revanche, les petits dinosaures théropodes se diversifient. Uniquement en Europe, on note la présence de *Procompsognathus*, d'*Halticosaurus* et de *Liliensternus*. Ce dernier pouvait atteindre une longueur de trois mètres. Il faut aussi signaler l'extrême abondance de *Rioarribasaurus* (ou *Coelophysis*) au Nouveau-Mexique : on y a retrouvé plus d'une centaine de squelettes de ce petit dinosaure.

Parmi les petits reptiles de type lézard, les sphénodontes multiplient les genres et les types adaptatifs, avec des formes probablement complètement herbivores et d'autres omnivores. Les procolophonides se raréfient : peut-être disparaissent-ils avant la fin du Norien.

Les mammifères se diversifient aussi : on connaît en Europe pas moins de trois ordres nouveaux de mammifères, les triconodontes, les multituberculés et les symmétrodontes, nommés ainsi d'après la forme de leurs dents. Plusieurs genres ont été dégagés du site de Saint-Nicolas-de-Port, en Lorraine, l'un des gisements les plus riches du monde : il a livré plus d'une centaine de dents de mammifères. La longueur des triconodontes et des symmétrodontes, insectivores, ne dépasse guère celle d'une musaraigne actuelle. Les multituberculés, pas plus grands, ont en revanche un régime alimentaire végétarien et des molaires plus aplaties. Ces premiers mammifères se seraient développés grâce à un mode de vie nocturne, ce qui leur aurait évité une compétition directe avec les reptiles. Les reptiles mammaliens du groupe des cynodontes chiniquodontes, avec des tailles identiques à celles des premiers mammifères, sont encore relativement bien représentés.

Les faunes amphibiens changent peu. Les phytosaures sont toujours présents, mais on note une diminution de la variété des amphibiens temnospondyles.

Outre le développement spectaculaire de nouvelles lignées comme les dinosaures et les mammifères, et l'extinction brutale de certains groupes typiques du Trias, le Norien se distingue



4. DENT DE *THOMASIA*, mammifère primitif, ici photographiée au microscope électronique, retrouvée dans les sédiments du Rhétien, dans le Jura.

par la brusque apparition de lignées que l'on peut qualifier de modernes. Apparaissent d'abord les premières tortues avec *Proganochelys*, en Allemagne et en Thaïlande. Cette tortue de près de un mètre de long, encore imparfaite, est incapable de rentrer la tête sous sa carapace : son cou et sa queue sont hérissés de pointes osseuses à fonction défensive. On note aussi la présence de deux tortues un peu plus modernes, l'une en Allemagne, *Proterochersis*, et l'autre, non encore décrite, en Argentine.

Les premiers crocodiles

Les premiers crocodiles, nommés sphénosuchiens, apparaissent aussi. Ils ont peu de points communs avec les crocodiles que nous connaissons. Ils ne sont pas amphibiens, mais terrestres, légèrement bâtis, hauts sur pattes et rapides. Les crocodiles n'adoptent des traits qui nous sont plus familiers qu'au Jurassique. Les sphénosuchiens terrestres seraient entrés en compétition avec les dinosaures, qui auraient pris l'avantage : les crocodiles n'auraient eu d'autre choix que de se réfugier dans une niche écologique amphibie laissée libre par la disparition des phytosaures. Leur succès y fut impressionnant.

La troisième lignée nouvelle qui apparaît au Norien est celle des ptérosaures, qui connaît un succès quasi immédiat. Les trois genres actuellement connus en Italie représentent trois familles, différentes par leur alimentation. Selon leurs dents, l'une était piscivore (on a même retrouvé un poisson dans l'estomac d'un fossile), une autre était insectivore, et la troisième avait une alimentation plus variée. On aurait

découvert au moins six genres différents de ptérosaures à travers l'Europe, la moitié n'ayant pas encore été décrite. La taille de ces premiers ptérosaures est modeste : leur envergure ne dépasse pas un mètre. Leur succès est rapide, car il n'y avait à cette époque aucun vertébré réellement volant : la niche écologique qu'ils remplissaient était inoccupée. Quelques reptiles planaient comme l'actuel lézard volant, le draco : leurs côtes thoraciques, très allongées, portaient une membrane qui leur permettait de voler du sommet d'un arbre jusqu'au sol. Ces animaux, qui attei-

gnaient 70 centimètres d'envergure, étaient toutefois incapables d'un quelconque vol battu, au contraire des ptérosaures.

En plus de ces lignées dont l'évolution s'est poursuivie au Jurassique, la diversification des reptiles au Norien donne aussi le jour à des formes éphémères, dont les relations phylogénétiques avec les autres reptiles ne sont pas toujours bien comprises et qui présentent parfois des adaptations surprenantes. *Drepanosaurus*, un petit reptile de 30 centimètres de long que l'on a trouvé en Lombardie, est un bon exemple. À cette époque, la Lombardie était un petit archipel en bordure de l'océan Téthys, et *Drepanosaurus* semble s'être répandu sur un certain nombre d'îles. Il se distingue de tout autre reptile par l'énorme griffe que porte le deuxième doigt de sa main et par la dernière vertèbre de sa queue, recourbée à la façon d'une griffe (à moins qu'il ne s'agisse d'une vraie griffe, colée accidentellement au bout de la queue lors des processus de fossilisation). La griffe hypertrophiée de sa main lui aurait permis de creuser le sol à la recherche d'insectes dont il se nourrissait. La classification de *Drepanosaurus* pose beaucoup de problèmes : est-il sur la branche des lézards et des serpents, ou sur celle des crocodiles et des dinosaures ? En tout cas, il n'a pas laissé de descendance.

La faune du Norien présente de nombreux indices d'une crise importante entre le Carnien et le Norien. Des lignées dominantes apparaissent ou se réduisent considérablement, tandis que d'autres se développent. On voit aussi apparaître un ensemble de nou-

velles lignées. Certaines connaîtront un franc succès, tandis que d'autres disparaîtront aussitôt. Tout se passe comme si, après une extinction brutale, un certain nombre de niches écologiques se libéraient et étaient conquises par des lignées déjà existantes, mais peu représentées, ou par des lignées qui viennent

juste d'apparaître. Cette situation favorise aussi le développement de types adaptatifs nouveaux.

Le principal changement entre le Carnien et le Norien se situe parmi les faunes herbivores, avec le développement des dinosaures. Les dinosaures herbivores ont-ils éliminé les rhyncho-

saures et les dicynodontes en les concurrençant trop fortement? Ces derniers, comme tous les herbivores du Carnien, se nourrissaient au ras du sol, avec des systèmes de mastication très évolués, tandis que les dinosaures prosauropodes, avec un cou allongé, se nourrissaient dans les strates moyennes de

L'extinction des dinosaures, une nouvelle affaire Dreyfus?

Dans une revue spécialisée, Peter Ward, spécialiste des nautes, a fait un parallèle entre le procès d'O. J. Simpson, qui vient de passionner les États-Unis, et celui que l'on fait à la météorite responsable de l'extinction des dinosaures. Il rappelle l'une des phrases clé prononcée par le procureur : il y aurait toujours un doute sur l'identité de l'assassin. Peter Ward ajoute qu'il en est de même des controverses scientifiques : des doutes persistent toujours. Pourtant dans le cas du débat sur la disparition des dinosaures, la cause lui paraît entendue : les preuves apportées jusqu'ici lui suffisent pour déclarer coupable l'objet céleste.

Je n'apprécie guère l'analogie suggérée par mon collègue, qui consiste à traiter sur un même plan une affaire tristement humaine, avec son douloureux contexte social, et cette vaste question scientifique. Passant sur le sous-entendu de son propos, je ferai trois remarques. Dans une enquête policière sur un meurtre, on attache beaucoup d'importance à trois choses : l'examen du cadavre, l'emploi du temps des victimes et des présumés agresseurs, et la nature des armes employées. Dans l'affaire des dinosaures, n'importe quel enquêteur resterait sur sa faim.

Où sont les cadavres de dinosaures qui, à un moment donné, si l'extinction a été brusque, ont jonché le sol? Nulle trace. Mieux, c'est l'absence de fossiles de dinosaures dans les horizons du Crétacé supérieur qui conduit à conclure qu'ils se sont éteints. Pourtant, de Solutré à Tendaguru, en passant par les gisements du Nebraska, de Mongolie et d'autres lieux, des hécatombes massives ont laissé des témoignages dans les sédiments. Pour les dinosaures de la fin du Crétacé, pas la moindre accumulation d'ossements et, au total, fort peu de restes. Ceci est vrai aussi pour les animaux marins qui ont disparu à la même époque : pas le moindre lit coquiller où se seraient accumulées des conques d'ammonites. Tous les supposés cadavres se sont, en quelque sorte, évaporés.

Passons à la lecture des éphémérides qui nous renseigneraient sur l'emploi du temps des victimes et de leur agresseur présumé, la météorite. Las, les pages en sont collées et l'on ne peut espérer les effeuiller. L'unité de temps en usage pour ces périodes reculées est de l'ordre du million d'années. J'avoue la déception du paléontologue au regard des résultats obtenus par les méthodes physiques en ce domaine.

Quant à l'agent exterminateur, il aurait laissé sa carte d'identité sur les lieux du crime : une proportion anormale d'iridium. Ce métal est connu au sommet des géochimistes, mais sa fiche est peu remplie. On y lit qu'on le trouve associé en général au platine, mais son histoire

géochimique est obscure. Parmi ses fréquentations, on trouve les minéraux des chondrites, constitutives de la plupart des météorites. Par un raisonnement pour le moins circulaire, on en a déduit que sa présence en signe l'occurrence, et on a négligé les émissions volcaniques actuelles qui, sporadiquement, transportent de l'iridium des profondeurs vers la surface du Globe, et le vaporisent dans les fumées éruptives.

En ce qui concerne l'action dévastatrice de la météorite, les imaginations ont été fécondes. On a spéculé, tour à tour, sur les aérosols et les brumes persistantes qui auraient entraîné un hiver pérenne, et sur un incendie généralisé qui aurait embrasé la Terre. Aucune preuve convaincante n'a été apportée à ces deux fables.

Faut-il donc jeter aux orties de l'histoire tous les travaux et toutes les idées nés depuis l'article fondateur de Luis Alvarez, en 1980? Non. D'abord, dans les années 1980, le scénario de la météorite tueuse a donné à réfléchir aux va-t-en guerre du Pentagone et du Kremlin, qui mesurèrent la vanité du pouvoir de leurs fusées nucléaires et renoncèrent à la course aux armements : si les dinosaures avaient succombé à une catastrophe globale, leurs successeurs bipèdes pouvaient tout aussi bien périr à l'issue d'un conflit nucléaire général. La médiatisation de cette affaire a aussi rendu service à quantité de laboratoires qui ont ainsi justifié l'acquisition d'appareillages coûteux qu'ils utilisent maintenant pour résoudre des problèmes apparemment plus ternes mais aussi passionnants. Les paléontologues, quant à eux, ont sans aucun doute appris à sortir de leur tour d'ivoire pour fréquenter les autres disciplines.

Cette lecture précipitée des feuillets de la Terre pour en arriver à des conclusions caricaturales ne peut être rejetée en bloc, mais on doit maintenant en reprendre le fil plus sereinement. Avions-nous bien évalué la complexité des problèmes que posait, comme toutes les autres crises, l'extinction des dinosaures? Avions-nous les moyens de répondre crûment et de façon univoque à cette question? Je ne le crois pas. Nous n'avons pour le moment consulté qu'une infime fraction des archives, difficiles à lire, qui peuvent nous apporter la lumière sur le sujet. On a cependant fait un constat essentiel : la crise entre le Crétacé et le Tertiaire est l'occasion d'une vague d'extinctions très sélectives. Que sait-on des processus écologiques qui, à cette échelle de temps, débouchent sur la sélection d'espèces? C'est sur cette base qu'il faut reformuler les questions.

Jean-Louis HARTENBERGER
Institut des sciences de l'évolution,
Université de Montpellier 2

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.

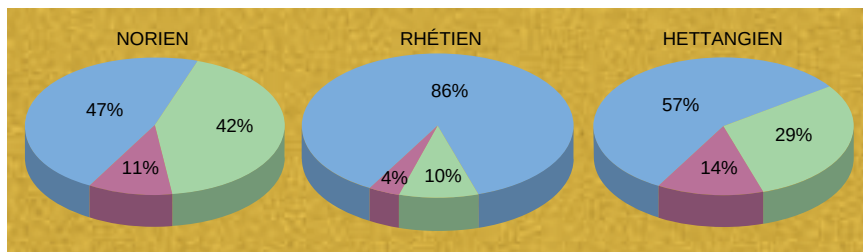
La transgression marine du Rhétien

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.

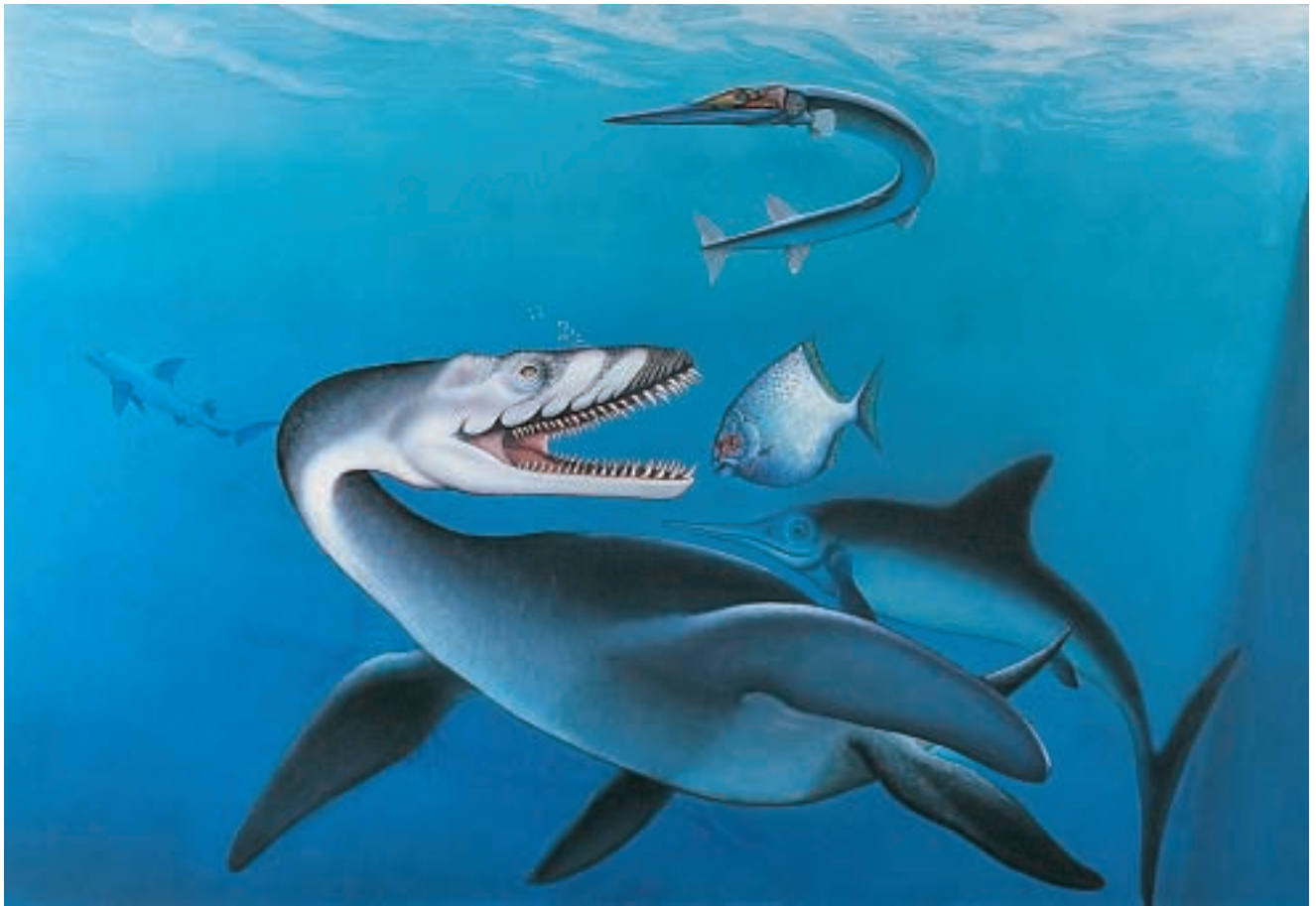
qui se nourrissent d'animaux à coquilles dures. On assiste au développement des premiers poissons téléostéens qui règnent aujourd'hui dans les océans et dans les rivières, ainsi qu'à une explosion de la diversité des requins, avec les premiers requins de type moderne et des formes très spécialisées chez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