

LA MER AU TEMPS DES DINOSAURES

Nathalie Bardet
Alexandra Houssaye
Stéphane Jouve
Peggy Vincent

Illustré par
Alain Bénéteau

Belin

LA MER AU TEMPS DES DINOSAURES

Nathalie Bardet
Alexandra Houssaye
Stéphane Jouve
Peggy Vincent

Illustré par
Alain Bénéteau

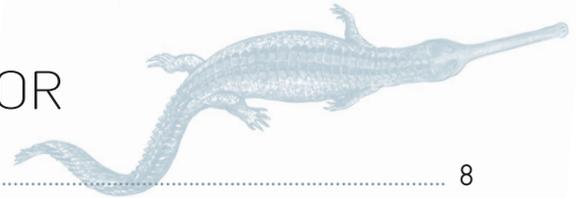
SOMMAIRE

Prologue	4
----------------	---

CHAPITRE 1

POUR PLANTER LE DÉCOR

I Reptiles marins d'aujourd'hui	8
II La valse des continents au Mésozoïque	10
III D'une crise à l'autre... ..	16
IV La vie dans tous ses états !	19



CHAPITRE 2

TOUS AQUATIQUES, TOUS DIFFÉRENTS

I Reptiles ? Qu'es aquo ?	24
II Ils se font tout petits en attendant leur heure	26
III Vive la crise !	28
IV Les reptiles marins du Mésozoïque ne sont pas des dinosaures !	29
V Des reptiles aux grands yeux : les ichthyosaures	30
VI Monstre du Loch Ness et cie : bienvenue chez les sauropterygiens	43
VII Les hupehsuchiens	60
VIII Les thalattosaures : d'énigmatiques reptiles... ..	63
IX Variations autour du crocodile : les crocodylomorphes	66
IX Les tortues : une anatomie unique au sein des vertébrés	75
XI Les squamates : serpents de mer et léviathans !	85



CHAPITRE 3

LE PALÉOZOÏQUE

I Le Paléozoïque supérieur (–300 à –252 ma) : « centre d'essai à la nage » pour reptiles !	100
II <i>Mesosaurus</i> , Alfred Wegener et la dérive des continents	104



CHAPITRE 4

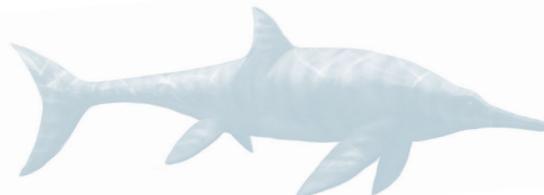
LE TRIAS



I Une période de grands bouleversements	110
II Monte San Giorgio	113
III Guanling... ..	122
IV Une crise méconnue	134

CHAPITRE 5

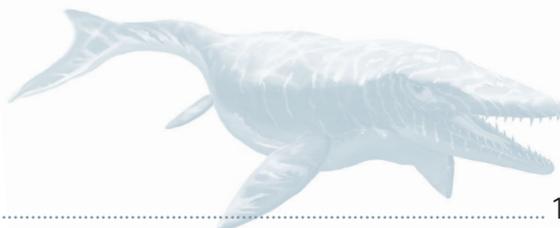
LE JURASSIQUE



I Un nouveau monde	138
II Holzmaden	138
III Oxford Clay	152

CHAPITRE 6

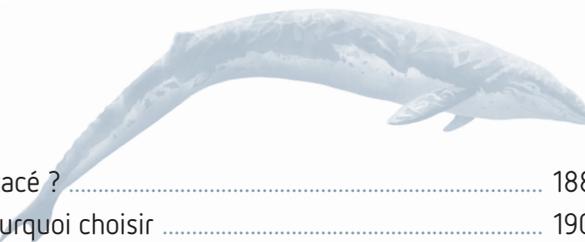
LE CRÉTACÉ



I Champagne	164
II Eromanga	165
III Les Phosphates du Maroc	172
IV L'extinction de la limite Crétacé/Paléogène	179

CHAPITRE 6

LE CÉNOZOÏQUE



I Après la crise... que reste-t-il du Crétacé ?	188
II Des dinosaures... voler ou nager ? Pourquoi choisir	190
III Les mammifères marins	191

Glossaire	200
Références	203
Pour en savoir plus	206
Remerciements	207

PROLOGUE

« Le xvii^e siècle lui-même aurait aimé ces montagnes qui sont plutôt des constructions gigantesques et harmonieuses. Et ce splendide "Désert peint" où les plésiosaures et les ptérodactyles ont laissé la trace de leurs pas ! »

Maurice Ravel, lettre à Roland Manuel du 14 avril 1928, à la suite de sa visite au Grand Canyon lors de sa tournée aux États-Unis en 1928.

Manuel Cornejo, *Maurice Ravel, L'intégrale. Correspondances (1895-1937), écrits et entretiens*, Paris, Le Passeur, 2018, lettre 2171, p. 1071.

Fossile ! Dès que l'on prononce ce mot, l'imaginaire de tout un chacun se met en marche. Mais à quoi pensent la plupart d'entre nous ? Aux dinosaures bien sûr ! Ces stars ne seront pourtant pas l'objet de ce livre. Non. Mais nous parlerons d'animaux tout aussi fascinants, que beaucoup appellent à tort les « dinosaures marins ». À un moment ou l'autre de notre carrière, spécialistes de reptiles marins, nous avons tous été confrontés à ce problème : comment expliquer que ces reptiles, pour certains aussi grands que d'imposants dinosaures et, qui plus est, contemporains de ces grands reptiles terrestres, n'en sont pas... Rude tâche, vous en conviendrez ! Nous avons relevé le défi et pour ce faire, nous vous convions à un voyage qui débute il y a environ 300 millions d'années (Ma) sur une Terre au visage bien différent de celui que nous lui connaissons aujourd'hui. Les scientifiques estiment en effet que c'est aux alentours de cette période que se

sont produits les premiers retours importants à la vie aquatique au sein des reptiles.

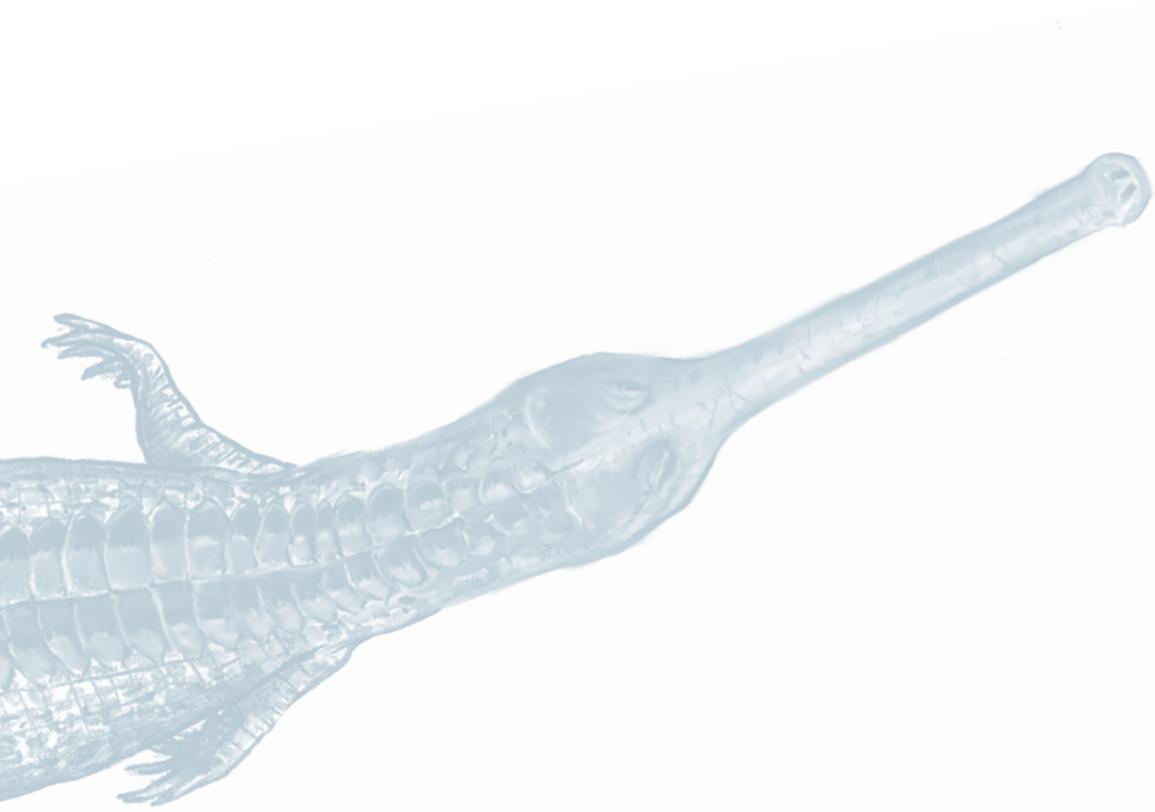
Les reptiles ont ensuite prédominé dans tous les écosystèmes de l'ère mésozoïque (de – 252 à – 66 Ma), considérée comme leur âge d'or, et ont occupé des niches écologiques très variées, aussi bien sur terre, à l'instar des célèbres dinosaures, que dans les airs, avec les ptérosaures, et dans les mers. Il est intéressant de constater que, une petite centaine de millions d'années après la « sortie des eaux » des vertébrés à quatre pattes (tétrapodes) au Dévonien supérieur (entre – 380 et – 360 millions d'années) et leur colonisation du milieu terrestre, un certain nombre de lignées ont pris le chemin inverse. Ainsi, bien avant l'apparition des premiers dinosaures, plusieurs groupes de reptiles s'adaptèrent secondairement et indépendamment au milieu aquatique à partir d'ancêtres terrestres. Sous quelles pressions de sélection s'est faite cette (re)colonisation du milieu aquatique ? La question est encore à l'étude.

Quoi qu'il en soit, cette adaptation secondaire des reptiles à la vie aquatique est considérée comme l'un des événements les plus marquants de l'évolution des vertébrés. Ces reptiles sont habituellement qualifiés de « reptiles marins ». Ils correspondent à des animaux très variés tant du point de vue de leur anatomie et de leur taille que de leur mode de vie. Le retour à l'élément aquatique a été rendu possible grâce à de profondes modifications anatomiques et physiologiques qui ont permis à ces différents groupes de survivre en milieu marin et de maintenir leur compétitivité. Ces modifications concernent notamment l'hydrodynamisme, l'équilibre, la locomotion, la thermorégulation, la reproduction, la nutrition, la respiration... et bien d'autres choses encore.

Parmi les reptiles marins les plus connus du grand public, et sur lesquels nous reviendrons tout au long de cet ouvrage, ichthyosaures, plésiosaures et mosasaures occupèrent

souvent le sommet de la chaîne alimentaire. Ils sont emblématiques des reptiles marins mésozoïques. À leurs côtés, on trouve une kyrielle d'autres reptiles, parfois moins connus mais tout aussi surprenants. Certains appartiennent à des groupes qui n'ont plus de représentants dans la nature actuelle, d'autres au contraire sont encore présents aujourd'hui, mais sont bien différents de leurs parents du Mésozoïque : c'est le cas des crocodiles, des squamates et des tortues. Petits ou gigantesques, essentiellement carnivores, les reptiles marins du Mésozoïque ont montré une immense palette adaptative, tant morphologique qu'écologique, que ne reflètent pas leurs représentants actuels. C'est donc leur histoire que nous allons vous raconter. ■





POUR PLANTER
LE DÉCOR

« La tectonique est l'opium du paysage. »

Sylvain Tesson, *Sur les chemins noirs*, Paris, Gallimard, 2016.

« Pour bien peindre un paysage, je dois découvrir d'abord les assises géologiques. »

Paul Cézanne, lettre à Joachim Gasquet,
Joachim Gasquet, *Cézanne*, Paris, éditions Bernheim-Jeune, 1923, p. 83.

Commençons notre récit par ce qui nous est peut-être plus familier et débutons notre voyage dans le temps... par le présent. De nos jours, les reptiles (sans compter les oiseaux qui, du point de vue évolutif, en sont aussi) constituent le groupe de vertébrés amniotes le plus diversifié, avec plus de 9 350 espèces répertoriées. Cependant, malgré l'immensité des mers et des océans, leurs myriades d'îles et leurs

kilomètres de côtes, rares sont les reptiles qui passent l'essentiel de leur temps en mer (fig. 1 et fig. 2). En effet, on ne dénombre aujourd'hui qu'une centaine d'espèces marines. Néanmoins, ce chiffre atteint 250 si l'on considère les espèces faisant des incursions occasionnelles en milieu marin, ce qui reste bien peu comparé aux plus de 23 000 espèces de poissons téléostéens. À quoi ressemblent les reptiles marins d'aujourd'hui ?

I

Reptiles marins d'aujourd'hui

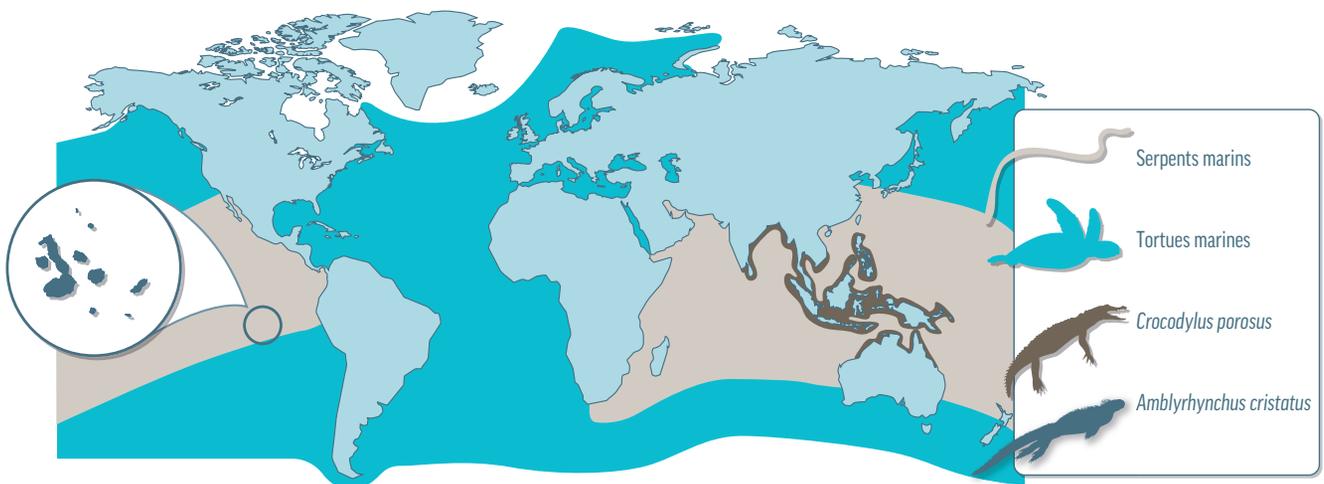
Des serpents marins

Les serpents marins se trouvent être, avec les tortues marines, les reptiles actuels montrant les adaptations les plus poussées au milieu aquatique. Les différentes espèces vivent à la fois en eau douce, saumâtre et en mer. Le groupe des Elapidae aquatiques réunit les serpents exclusivement marins : plus de quatre-vingts espèces et

sous-espèces que l'on trouve principalement dans les zones tropicales et subtropicales des océans Indien et Pacifique.

Leur caractéristique morphologique la plus visible est la présence d'une queue aplatie verticalement et haute qui sert à la propulsion. Ils sont vivipares, dans le sens où ils donnent naissance à des petits déjà formés (ils ne pondent pas d'œufs), à l'exception du genre *Laticauda* qui est ovipare et le

▼ 1. Carte de répartition géographique des reptiles marins actuels.





seul serpent marin retournant pondre sur la terre ferme. Ces animaux sont connus pour la dangerosité de leur venin. Certains, tel *Hydrophis schistosus*, mesurant environ un mètre trente et dont le venin est bien plus puissant que celui du cobra, sont très agressifs. Néanmoins, il faut noter que beaucoup de serpents marins sont relativement inoffensifs et qu'ils n'injectent pas toujours une grande quantité de venin lorsqu'ils mordent. La plupart vivent près des côtes et seul *Hydrophis platurus* est pélagique (c'est-à-dire qu'il nage en haute mer) et a une grande distribution géographique.

Des tortues marines

Le second groupe le plus diversifié parmi les reptiles marins actuels est celui des tortues, dont toutes les formes marines sont incluses dans les deux super-familles Chelonioida et Dermochelyoidea. Seulement sept espèces réparties en deux familles (Cheloniidae et Dermochelyidae) sont connues. La plus célèbre est sans aucun doute la tortue luth (*Dermochelys coriacea*), seule représentante actuelle des Dermochelyidae. Mesurant jusqu'à deux mètres de long et pesant

entre deux cent cinquante et sept cents kilogrammes, c'est la plus grande des tortues actuelles, marines et terrestres confondues.

Les tortues marines sont présentes principalement le long des côtes tropicales, mais peuvent migrer sur de longues distances et nagent ainsi fréquemment en pleine mer, s'orientant en fonction du champ magnétique terrestre, selon un mécanisme encore très mal connu. Elles ont en quelque sorte un GPS intégré à leur cerveau. C'est ainsi que les tortues marines adultes retrouvent sans aucune difficulté, malgré l'immensité de l'océan, la plage où elles sont nées et où elles retourneront toute leur vie durant pour pondre ! La plupart des tortues marines sont aujourd'hui menacées par les activités humaines, à tel point que certaines espèces, telles la tortue luth et la tortue à écailles (*Eretmochelys imbricata*), risquent de ne pas tarder à rejoindre leurs lointains parents mésozoïques au rang d'espèces disparues.

Un lézard et un crocodile

Étonnamment, les lézards, bien que représentant à eux seuls plus de la moitié des espèces de reptiles

▲ 2. Quelques exemples de reptiles marins actuels :

- (a) le serpent *Hydrophis platurus* (Elapidae) ;
- (b) la tortue luth *Dermochelys coriacea* (Dermochelyidae) ;
- (c) l'iguane des Galapagos *Amblyrhynchus cristatus* (Iguanidae) et
- (d) le crocodile marin *Crocodylus porosus* (Crocodylidae).

actuels, n'ont pas de représentant en milieu marin. Seul l'iguane « marin » des Galápagos (*Amblyrhynchus cristatus*) s'aventure dans les eaux marines. Cet animal, atteignant un mètre vingt de long, dispose d'une queue comprimée latéralement lui permettant de se propulser dans l'eau. S'il passe l'essentiel de son temps sur terre, s'y réchauffant et y nidifiant, c'est néanmoins en mer qu'il va chercher sa nourriture, des algues essentiellement.

De même, aucune de la vingtaine d'espèces de crocodiles présentes sur notre planète ne peut être considérée comme clairement marine. Seul le crocodile d'estuaire (*Crocodylus porosus*), également appelé crocodile marin, est régulièrement rencontré en mer, mais il occupe principalement les milieux côtiers, les rivières, les deltas et les zones marécageuses d'Asie du Sud-Est et d'Océanie. Pouvant dépasser les six à sept mètres de longueur, cette espèce représente aujourd'hui la plus grande espèce de crocodile et aussi l'un des plus grands reptiles vivants.

Certains spécimens se rencontrent régulièrement en pleine mer, parfois à plusieurs dizaines de kilomètres des côtes. En effet, chez *Crocodylus porosus*, il existe une forte concurrence entre les mâles pour occuper les rivières où les femelles viennent s'accoupler. Les jeunes mâles adultes sont donc souvent chassés par les « anciens » plus puissants et errent en mer à la recherche de nouveaux territoires à coloniser. Passant une bonne partie de leur temps sur la plage, ils peuvent néanmoins rester plusieurs jours en mer, utilisant les courants pour naviguer.

Bien que fascinants à beaucoup d'égards, les reptiles marins actuels, avec peu d'espèces représentées et souvent cantonnés à des zones géographiques relativement limitées, ne constituent donc qu'un bien maigre échantillon par rapport à l'extraordinaire diversité des reptiles marins mésozoïques, nageant dans les mers et océans du monde entier. Alors, en route vers le Mésozoïque !



La valse des continents au Mésozoïque

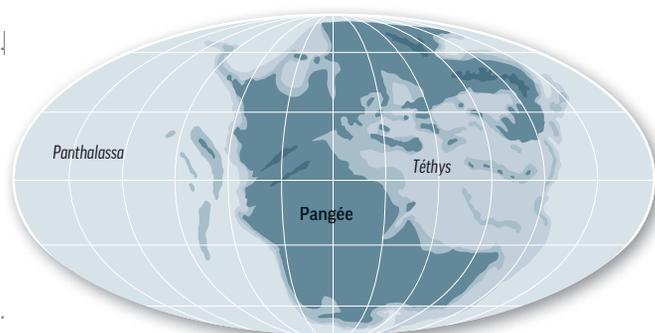
Retournons maintenant dans le passé et plantons le décor de notre voyage auprès des reptiles marins disparus. L'ère mésozoïque, dont le nom vient du grec *meso*, « milieu », et *zôon*, « être vivant », a débuté il y a 252 Ma et s'est achevée voilà 66 Ma. Elle s'étend donc sur 186 Ma au

cours desquels la planète et la vie ont subi de profonds changements. Elle est divisée en trois périodes, le Trias, le Jurassique et le Crétacé, elles-mêmes subdivisées en séries et étages.

Au début du Trias, presque toutes les terres émergées sont réunies et forment un supercontinent

► 3. Géographie terrestre au Trias

Ci-contre en haut, un paléocosystème du Trias supérieur du Maroc. Un féroce rauisuchien (*Arganasuchus*) menace *Moghreberia* (dicynodonte, reptile mammalien). Sur la berge évolue un aétosaure (*Aetosaurus*), petit herbivore cuirassé. Dans l'eau, *Paleorhinus*, un phytosaure piscivore à l'allure de crocodile, observe la scène. **En bas**, un paléocosystème du Trias supérieur d'Allemagne. Le dinosaure *Plateosaurus* (prosauropode herbivore) se nourrit aux côtés de deux *Procompsognathus* (petits dinosaures théropodes carnivores) et de *Megazostrodon* (en bas à gauche), un ancêtre des mammifères.



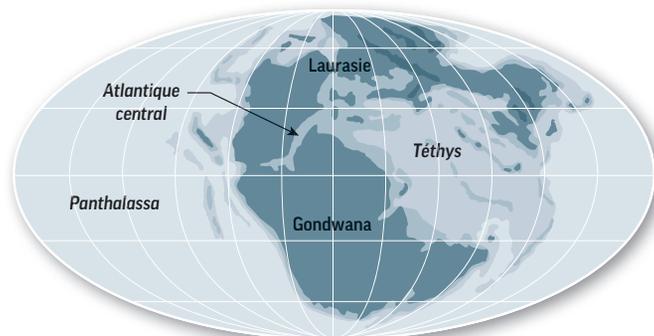




appelé Pangée (fig. 3). À l'est, un océan, la Téthys, s'enchâsse dans ce continent, l'ensemble étant entouré d'un océan géant appelé Panthalassa. Le déplacement des plaques tectoniques entraîne la dislocation progressive de la Pangée dès la fin du Trias. Un rift (fracture de la croûte océanique) orienté est-ouest s'ouvre progressivement entre ce qui deviendra l'Amérique du Nord et l'Eurasie d'une part et l'Afrique et l'Amérique du Sud d'autre part. Ce phénomène a pour conséquence de séparer le supercontinent en deux grands blocs, la Laurasia au nord et le Gondwana au sud, ainsi que de prolonger d'est en ouest la Téthys à partir du Trias supérieur.

Au Jurassique inférieur, l'évolution de la géographie terrestre est notamment marquée par la séparation du Gondwana en deux plaques : la plaque Ouest-Gondwanienne (plaque Arabo-Afro-Sud-Américaine) et la plaque Est-Gondwanienne (île de Madagascar, Inde, Australie et Antarctique). La Laurasia est encore continue depuis les actuelles côtes ouest-américaines jusqu'à Bornéo. Au Trias et au Jurassique inférieur, l'Europe se trouve au sud-est de la Laurasia et l'océan Atlantique central commence à s'ouvrir (le processus est qualifié d'océanisation ; fig. 4).

Puis, au Jurassique supérieur, les mouvements des plaques tectoniques entraînent la formation des Andes en Amérique du Sud et de la Sierra Nevada en Amérique du Nord. L'océan Téthys atteint alors sa largeur maximale, avec une dorsale océanique active orientée est-ouest qui s'étend de l'Australie aux Caraïbes. Mais il



◀ 4. Géographie terrestre au Jurassique inférieur. En haut, une scène de vie en Antarctique. Deux mâles *Cryolophosaurus* (dinosaur carnivore de 6 à 7 m de long) se disputent un territoire.



commence à se refermer au Jurassique terminal, du fait de la migration de l'Afrique vers le nord et de sa rotation dans le sens contraire des aiguilles d'une montre. L'Atlantique, pendant ce temps, est en phase d'ouverture dans sa partie nord (fig. 5). Au Crétacé inférieur, le Gondwana se sépare en trois plaques : l'Inde qui commence à dériver vers le nord, l'Australie et l'Arabie-Afrique-Amérique du Sud qui continuent à être soudées (fig. 6). Au cours du Crétacé, une mer intérieure (Western Interior Seaway) se met en place progressivement en Amérique du Nord. L'ouverture de l'Atlantique Nord se poursuit et sépare, à la fin du Crétacé, l'Eurasie de l'Amérique du Nord tandis que l'Atlantique Sud s'ouvre rapidement, séparant l'Afrique de l'Amérique du Sud. Les deux Amériques, jusqu'alors séparées, commencent à se rapprocher. Au Crétacé supérieur, le Gondwana est morcelé en quatre plaques : Inde, Australie-Antarctique, Arabie-Afrique et Amérique du Sud (fig. 7). La Téthys est prise au piège dans un double étau : au Sud l'Afrique, l'Inde et l'Australie, qui remontent vers le Nord et plongent sous elle; au Nord l'Eurasie, sous laquelle elle-même plonge. C'est ce double glissement de plaques les unes sous les autres (phénomène de subduction) qui fait se refermer la Téthys peu à peu au cours du temps. C'est à partir de ces affrontements de plaques que se dessinent les reliefs alpins et pyrénéens. La



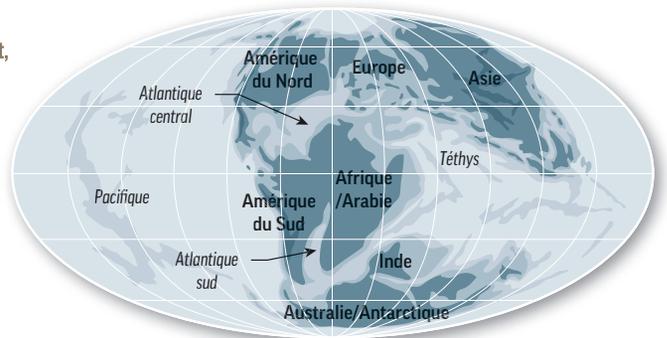
Téthys occidentale, quant à elle, commence à se refermer et la communication entre la Téthys et l'Atlantique disparaît, tandis que l'Inde poursuit sa dérive vers la plaque asiatique.

Au cours du Cénozoïque (à partir de – 66 Ma), la Téthys se referme presque complètement et l'Inde entre en collision avec la plaque eurasiennne formant ainsi la chaîne de montagnes de l'Himalaya (fig. 8). Néanmoins, l'âge de cette collision reste sujet à discussion car, même si les données géologiques indiquent pour la plupart une période d'isolement maximum de l'Inde au Crétacé supérieur et une collision avec l'Eurasie à – 55 Ma, les données paléontologiques indiquent quant à elles une collision antérieure, ayant eu lieu avant la fin du Crétacé. Un passage vers l'Arctique se forme entre le Groenland et l'Europe vers – 55 Ma.

▲ 5. Géographie terrestre au Jurassique supérieur. **En haut**, une reconstitution de « la plage aux ptérosaures », à Crayssac dans le Lot. Célèbre pour ses nombreuses empreintes de pas de ptérosaures (reptiles volants), de dinosaures théropodes, crocodiliens, etc., ce site a permis aux scientifiques de reconstituer ce milieu côtier du Jurassique supérieur de manière très précise.



► 6. Géographie terrestre au Crétacé inférieur. **En haut**, un paysage du Crétacé inférieur d'Europe avec un couple de grands sauropodes brachiosauridés, un groupe d'iguanodons et un ptérosaure. **En bas**, un paysage du Crétacé inférieur de Chine. Le tyrannosauroidé *Yutyrannus* défend un cadavre de *Beipiaosaurus* (théropode) face à deux petits *Dilong* (théropodes). À gauche, *Confuciusornis* prend son envol alors qu'un discret *Jeholodens* (petit mammifère) se réfugie dans un arbre à droite. Deux ptérosaures survolent le lac.



► 7. Géographie terrestre au Crétacé supérieur.

En haut, un paysage du Crétacé supérieur de Mongolie. Le dinosaure théropode *Citipati* (oviraptoridé) défend son nid face à deux *Tsaagan* (dromaeosauridés). Des *Protoceratops* (cératopsiens) évoluent à l'arrière plan et le petit *Gobipteryx* (énanthiornithe) se réfugie dans un cyca en haut à gauche. **En bas**, un paysage du Crétacé supérieur d'Amérique du Nord. *Triceratops* s'apprête à charger un *Tyrannosaurus* pour protéger son petit.





◀ 8. Géographie terrestre au Cénozoïque. Un paysage de l'Éocène de Messel en Allemagne (- 56 Ma à - 34 Ma). *Gastornis*, un grand oiseau terrestre arpente les rives d'un lac aux côtés de deux *Propalaeotherium* (ancêtre de la famille des chevaux). L'oiseau *Messelornis* se nourrit sur le bord en bas à gauche sous les yeux d'*Europolemur* (lémurien) qui surplombe la scène dans un arbre. Un crocodile à l'affût, dans l'eau, et le vol de deux *Idiornis* complète la scène.



D'une crise à l'autre...

L'histoire de la vie sur Terre n'est pas un long fleuve tranquille : si l'évolution et le renouvellement des espèces (dont la durée de vie est limitée) au cours du temps est un phénomène normal et continu, son fil en est parfois brisé par de grandes périodes d'extinctions en masse, provoquées par certains changements drastiques de l'environnement, qui remettent à zéro les compteurs : certains groupes s'y

éteignent, d'autres prennent le relais par la suite. Ces épisodes de crise furent parfois d'une telle envergure que les géologues s'en sont servis pour marquer les subdivisions des temps géologiques. De grandes coupures chronologiques ont ainsi été placées au niveau des crises biologiques qui portent aujourd'hui leurs noms : Permo/Trias, Trias/Jurassique et Crétacé/Tertiaire.

REMERCIEMENTS

Pour nous avoir gracieusement et généreusement fourni divers renseignements et certaines illustrations, nous tenons à remercier :

- Allemand, Rémi (Department of Anthropology, University of Toronto, Canada)
- Buffetaut, Eric (CNRS, École normale supérieure, Paris, France)
- Cazes, Lilian (CR2P - Centre de Recherche en Paléontologie - Paris, CNRS, MNHN, Paris, France)
- Chapman, Sandra (The Natural History Museum, Londres, Grande-Bretagne)
- Chun, Li (Institute of Vertebrate Paleontology and Paleoanthropology, Beijing, Chine)
- Colin, Cécile (Galerie de Paléontologie et d'Anatomie comparée, MNHN, Paris, France)
- Cuny, Gilles (Laboratoire d'Écologie des hydrosystèmes naturels et anthropisés, Université Claude Bernard Lyon 1, Villeurbanne, France)
- Cornejo, Manuel (Association « Les Amis de Maurice Ravel », Saint-André-lez-Lille, France)
- Dejouannet, Jean-François (UMS2700-2AD, Galerie de Paléontologie et d'Anatomie comparée, MNHN, Paris, France)
- El Hammoumi Idrissi, Aïcha (Office chérifien des Phosphates Media Group, Casablanca, Maroc)
- Falconnet, Jocelyn (MNHN, Paris, France)
- Fernandez, Sophie (CR2P - Centre de Recherche en Paléontologie - Paris, MNHN, Paris, France)
- Hauff, Rolf (Urweltmuseum Hauff, Holzmaden, Allemagne; www.urweltmuseum.de)
- Jacquot-Haméon, Justine (MNHN, Paris, France)
- Jagt, John (Natuurhistorisch Museum Maastricht, Maastricht, Pays-Bas)
- Kear, Benjamin (Museum of Evolution, Uppsala University, Uppsala, Suède)
- Khadiri Yazami, Oussama (Office chérifien des Phosphates, Khouribga, Maroc)
- Khaldoune, Fatima (Office chérifien des Phosphates, Khouribga, Maroc)
- Klug Christian (Paläontologisches Institut und Museum, Universität Zürich, Suisse)
- Lemzaouda, Christian (CR2P - Centre de Recherche en Paléontologie - Paris, CNRS, MNHN, Paris, France)
- Letenneur, Charlène (CR2P - Centre de Recherche en Paléontologie - Paris, MNHN, Paris, France)
- Loubry, Philippe (CR2P - Centre de Recherche en Paléontologie - Paris, CNRS, MNHN, Paris, France)
- Marozsán, Imre (Letter Product Management Directorate, Philatelic Department, Budapest, Hongrie)
- Martill, David (School of the Environment Geography and Geosciences, University of Portsmouth, Portsmouth, Grande-Bretagne)
- Maxwell, Erin (Staatliches Museum für Naturkunde, Stuttgart, Allemagne)
- Muizon, Christian de (CR2P - Centre de Recherche en Paléontologie - Paris, CNRS, MNHN, Paris, France)
- Ősi, Attila (MTA-ELTE, Lendület Dinosaur Research Group, Hungarian Academy of Sciences, Budapest, Hongrie)
- Pérez Garcia, Adán (Universidad Nacional de Educación a Distancia, Madrid, Espagne)
- Rieber, Hans (Universität Zürich, Suisse)
- Rieppel, Olivier (Section of Earth and Planetary Sciences, The Field Museum, Chicago, USA)
- Roux, Aurélie (Photothèque / Vidéotheque, MNHN, Paris, France)
- Scheyer, Torsten (Paläontologisches Institut und Museum, Universität Zürich, Suisse)
- Sciau, Laurent (Millau, France)
- Sciau, Jacques (Musée municipal de Millau, France)
- Tong, Haiyan (Palaeontological Research and Education Centre, Mahasarakham University, Maha Sarakham, Thaïlande)

CRÉDITS PHOTOGRAPHIQUES

● Pour toutes les illustrations de l'ouvrage : © Alain Bénéteau/2021, sauf p. 54b (Jean-François Dejouannet), 84h (Charlène Letenneur) et 192 (Justine Jacquot-Haméon).

● Infographies et squelettes : Thomas Haessig, sauf p. 90h (Sophie Fernandez).

Les références complètes des données peuvent être trouvées p. 203 à 205.

Abréviations : MNHN : Muséum national d'Histoire naturelle, Paris ; NHMM : Natural History Museum Maastricht ;

SMNS : State Museum of Natural History Stuttgart.

p. 9hg : iStock/Ken Griffiths ; p.9hd : iStock/Rawlinson-Photography ; p. 9bg : iStock/Kunhui Chih ; p. 9bd : iStock/Tammy616 ; p. 21 : Stéphane Jouve/avec l'aimable autorisation de Sorbonne Université ; p. 27 : données citées de Modesto S. P. et Anderson J. S. (2004) ; p. 30-31 : données citées de Bardet N. *et al.* (2014) ; p. 34 : données citées de Motani R. (2005) ; p. 37 : données citées de Motani R. *et al.* (1999) ; p. 38 : données citées de McGowan C. et Motani R. (2003) ; p. 40 : © Science Photo Library/Akg-images ; p. 41 : © Nathalie Bardet ; p. 43 : données citées de Bardet N. *et al.* (2014) ; p. 44 : données citées de Croft *et al.* (2017) et de Rieppel O. (2001) ; p. 48 : Wikimedia/CC BY-SA 3.0/Ninjatacoshell ; p. 50hg : © Peggy Vincent/avec l'aimable autorisation de Sorbonne Université ; p. 50gb : données citées de Sato T. *et al.* (2013) ; p. 54h : © Peggy Vincent/avec l'aimable autorisation du MNHN ; p. 54b : © Jean-François Dejouannet/UMS 2700 CNRS/MNHN ; p. 61 : données citées de Chen X. H. *et al.* (2014) ; p. 63 : données citées de Bardet N. *et al.* (2014) ; p. 64b : © Peggy Vincent/avec l'aimable autorisation du MNHN ; p. 67dh : données citées de Bardet N. *et al.* (2014) ; p. 68b : © Peggy Vincent/avec l'aimable autorisation du MNHN ; p. 69 : © Stéphane Jouve/avec l'aimable autorisation du MNHN ; p. 70 : Wikimedia/CC BY-SA 4.0/Ghedoghedo ; p. 74 : © Stéphane Jouve ; p. 75d : données citées de Bardet N. *et al.* (2014) ; p. 77 et p. 78h : données citées de Nagashima H. *et al.* (2009) ; p. 78b : données citées de Schoch R.R. et Sues H.-D. (2015) ; p. 80 : données citées de Cadena E.A. et Parham J.F. (2015) ; p. 81 : Wikimedia/CC BY-SA 4.0/Ghedoghedo ; p. 84h : © Christian Lemzaouda/CR2P/CNRS/MNHN/reconstitution Charlène Letenneur/CR2P/MNHN ; p. 84b : © Nathalie Bardet/avec l'aimable autorisation du NHMM ; p. 86h et 87 : données citées de Bardet N. *et al.* (2014) et de Bardet N. *et al.* (2008) ; p. 86b : données citées de Russell D. (1967) ; p. 89g : © Alexandra Houssaye ; p. 89d : données citées de Rage J.-C. et Escuillié F. (2000) ; p. 90h : © Sophie Fernandez, CR2P/MNHN ; p. 91h : données citées de Houssaye A. *et al.* (2013) ; p. 91b : données citées de Lindgren J. *et al.* (2011) ; p. 92 : © Nathalie Bardet ; p. 94 : © Philippe Loubry/CR2P/CNRS/MNHN et données citées de Bardet N. *et al.* (2015) ; p. 95 : Wikimedia/Jan Arksteijn ; p. 96 : © Nathalie Bardet et données issues de Cuvier (1808) ; p. 97h : © Nathalie Bardet ; p. 97b : © Nathalie Bardet avec l'aimable autorisation du NHMM ; p. 101 : © Philippe Loubry/CR2P/CNRS/MNHN ; p. 102 : © Peggy Vincent/avec l'aimable autorisation du MNHN ; p. 105b : données citées de Wegener A. (1915) ; p. 110 : © Poste Hongroise (Magyar Posta) ; p. 113 : © Hans Rieber (Universität Zürich, Suisse) ; p. 114 : données citées de Renesto, S. et Stockar, R. (2009) et de Sharp Z. D. *et al.* (2000) ; p. 118 : données citées de Braun J. et Reif W. E. (1985) ; p. 122h : © Li Chun (IVVP, Beijing, Chine) ; p. 122b : données citées de Benton M. J. *et al.* (2013) ; p. 123 : données citées de Hagdorn H. *et al.* (2007) ; p. 129 : données citées de Kardong K. V. (1995) (milieu) et de Moreira C. A. *et al.* (2019) (droite) ; p. 130-131 : © Alexandra Houssaye ; p. 132 : données citées de Cheng L. *et al.* (2014) ; p. 133 : données citées de Chun L. *et al.* (2016) ; p. 139h : © Urweltmuseum/www.urweltmuseum.de ; p. 139b : données citées de Röhl H.-J. *et al.* (2001) ; p. 141 : © Peggy Vincent/avec l'aimable autorisation du MNHN ; p. 142 : © Avec l'aimable autorisation du SMNS (photographie U. Schmid) ; p. 143 : données citées de Motani R. *et al.* (2014) ; p. 148 : données citées de Motani R. (2005) ; p. 149 : données citées de Liu S. *et al.* (2015) ; p. 150b : données citées de Konishi T. *et al.* (2015) ; p. 151h : © Rémi Allemand (University of Toronto, Canada) et données citées de Allemand R. *et al.* (2019) ; p. 152 : © David Martill (University of Portsmouth, Grande-Bretagne) ; p. 153 : données citées d'Ewin T. et Thuy B. (2017) ; p. 154 : © Alexandra Houssaye ; p. 155 : données citées de Bernard A. *et al.* (2010) ; p. 164h : © Nathalie Bardet ; p. 164b : © Benjamin Kear (University of Uppsala, Suède) ; p. 165 : données citées de White M. A. *et al.* (2012) ; p. 169 : données citées de Kear B. P. *et al.* (2006) ; p. 171 : © Benjamin Kear (University of Uppsala, Suède) et données citées de Kear B. P. (2006) ; p. 172 : © Nathalie Bardet ; p. 173 : données citées de Bardet N. *et al.* (2017) ; p. 174g : © Philippe Loubry /CR2P/CNRS/MNHN ; p. 175 : © Nathalie Bardet ; p. 181 : données citées de Massare J.A. (1987) ; p. 184 : © Nathalie Bardet ; p. 192 : © Justine Jacquot-Haméon/MNHN.

Direction éditoriale :

Olivia Recasens

Édition :

Gwendoline Blanchard

Préparation de copie :

Guillaume Müller-Labé

Conception graphique et mise en page (couverture et intérieur) :

Alain Bénéteau

Infographies :

Thomas Haessig

Photogravure et prépresse :

Station Graphique et Arthur Caillard

Fabrication :

Marianne Sigogne et Jérôme Cordier

Le code de la propriété intellectuelle n'autorise que « les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » [article L. 122-5] ; il autorise également les courtes citations effectuées dans un but d'exemple ou d'illustration. En revanche « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle, sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite » [article L. 122-4].

La loi 95-4 du 3 janvier 1994 a confié au C.F.C. (Centre français de l'exploitation du droit de copie, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris), l'exclusivité de la gestion du droit de reprographie. Toute photocopie d'œuvres protégées, exécutée sans accord préalable, constitue une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal.