

La biodiversité dans le temps long ⁽¹⁾

Par Bruno DAVID

Président du Muséum national d'Histoire naturelle

La planète a traversé cinq extinctions majeures depuis le début du phanérozoïque. Toutes ont eu leurs spécificités, mais, à chaque fois, la biodiversité qui a émergé après la crise était fort différente de celle qui avait précédé, il y a eu des perdants et des gagnants. Aujourd'hui la biosphère semble engagée dans une sixième crise. Est-ce bien le cas ? Les processus en cours sont-ils comparables à ceux des crises des temps géologiques ? Quels enseignements tirer du passé ?

Les premiers témoins indirects de la présence de vie sur Terre, des kérogènes enrichis en carbone allégé, remontent à environ 3 800 millions d'années (Ma) et les premières formes de vie identifiables à 3 430 Ma en Australie, les stromatolithes de Pilbara (Allwood *et al.*, 2006), ou en Afrique du Sud. Depuis, l'histoire de la biosphère a été un chemin sinueux et semé d'embûches, jalonné de crises majeures qui ont, à chaque fois, bouleversé son équilibre. Preuve que les équilibres de la planète sont précaires et soumis à des forces qui œuvrent sur le temps long.

Aujourd'hui, avec l'avènement d'une période fortement marquée par les activités humaines, ce qui a conduit le chimiste Paul Crutzen à forger le terme « anthropocène » (Le Gall *et al.*, 2017), la biosphère aborde une nouvelle crise potentiellement de grande ampleur. Cette crise de la biodiversité est perceptible par tout un chacun et au travers de nombreux indicateurs que sont l'évolution du climat, l'extension des zones urbaines, le déclin visible de certaines espèces... Au-delà de la connaissance et du suivi des processus en œuvre sur le temps court de quelques siècles, les archives sédimentaires de l'histoire de la Terre nous offrent des exemples divers des crises qui ont affecté la biosphère à des périodes plus ou moins lointaines (De Wever et David, 2015). La comparaison de la crise qui nous touche actuellement avec ces épisodes du passé géologique peut être riche d'enseignements. Les processus en jeu sont-ils de même nature que ceux impliqués dans les crises anciennes ? Les vitesses sont-elles comparables ? Les causes sont-elles partagées ? Autrement dit, la comparaison est-elle pertinente ?

Penser les crises à l'échelle géologique

Pour répondre à ces questions qui touchent directement à l'avenir de notre planète et nous concernent tous quelle que soit notre origine géographique, il est impératif de dé-

finir ce qu'est une crise de la biodiversité. Pour cela, partons de trois exemples qui illustrent l'ampleur des crises passées.

Le premier exemple est ancien et remonte aux alentours de 700 Ma. À cette époque, la Terre traverse plusieurs épisodes de « *snowball* » ou « Terre boule de neige » qui sont vraisemblablement liés au développement de la vie, dont le métabolisme a changé la composition de l'atmosphère (Hoffman *et al.*, 2017). Le refroidissement est intense et la planète est presque complètement englacée. En effet, les observations de terrain inclinent à penser que les continents étaient recouverts par de gigantesques calottes glaciaires et que les océans étaient également englacés, au moins partiellement en surface ou à certaines saisons. Ces hypothèses s'appuient sur des témoins sédimentaires, notamment des roches larguées par les icebergs (*ice rafted debris*) que l'on retrouve sous toutes les latitudes de l'époque. On connaît de manière assez précise deux épisodes majeurs de « *snowball* », l'un à 720 Ma (glaciation sturtienne) et l'autre à 635 Ma (glaciation marinoenne). La sortie de ces périodes de Terre englacée s'est sans doute opérée grâce à des événements volcaniques intenses qui ont provoqué des effets de serre ayant conduit au réchauffement de la Terre.

Le deuxième exemple prend place il y a 250 Ma. Cet événement correspond à LA grande crise de la biodiversité (Benton, 2005). On sait qu'à cette époque, le volcanisme est très actif et que la teneur en dioxygène des océans est faible. Se succèdent alors des changements de température récurrents : il fait froid puis très chaud, et à nouveau froid... et la Terre connaît ainsi d'importantes oscillations climatiques. Les continents constituent alors un seul bloc et les zones côtières peu profondes sont restreintes. Dans ce contexte, 90 % des espèces disparaissent. De nombreux groupes s'éteignent, d'autres franchissent la crise de justesse, comme les oursins dont moins de cinq espèces existent au début du Trias. À ce moment-là, la vie macroscopique aurait pu s'éteindre sur Terre. Pour le moins, les radiations qui font suite à la crise aboutissent à installer sur Terre une biosphère très nouvelle.

(1) Certains passages de ce texte sont empruntés à *À l'ombre des crises anciennes*, DAVID B., 2018.

Troisième exemple : il y a 55 Ma à la suite d'un réchauffement bref mais brutal (Turner *et al.*, 2017), on observe des extinctions en mer, des migrations d'espèces et des renouvellements fauniques. La température de surface de certaines zones de l'océan auraient même atteint 34 degrés en moyenne annuelle (Winguth *et al.*, 2009).

Que nous disent ces trois exemples ? Ils conduisent à nous interroger sur ce qu'est une crise de la biodiversité, ce à quoi il est possible d'apporter un début de réponse en se fondant sur trois critères essentiels :

- Dans l'espace, elle est nécessairement globale ou du moins largement étendue : un événement local n'est pas une crise.
- Dans le temps, elle est brutale. Elle est un instantané, mais un instantané à l'échelle géologique. Ce qui signifie qu'une crise s'étend sur des durées de l'ordre du million d'années.
- Enfin, elle a un impact général, c'est-à-dire que plusieurs groupes biologiques sont impactés, elle ne cible pas une catégorie précise de la biodiversité.

Ces trois critères sont nécessaires pour pouvoir parler d'une grande crise, mais il faut garder à l'esprit que l'histoire de la biosphère s'étend sur 3 800 Ma. Une longue histoire dont il est difficile d'appréhender l'ampleur, car nous sommes habitués par la durée de nos vies ou même de nos sociétés à penser en années, décennies, siècles ou millénaires. En effet, nous abordons ici un point crucial de la réflexion qui se fonde sur les durées géologiques du temps. Pour en donner une image concrète, si l'on compare l'histoire de la vie (3 800 millions d'années) à la hauteur de la Tour Eiffel, en supposant que l'origine de la vie se place au niveau du Champ de Mars et, qu'aujourd'hui, nous sommes au sommet de l'antenne, l'histoire de l'ère chrétienne (soit 2020 années) tient dans l'épaisseur du dernier coup de pinceau sur le sommet de l'antenne.

À la lumière des crises anciennes, en estimer l'ampleur et la vitesse

Cinq crises majeures, dont trois véritablement cataclysmiques, ont été recensées durant les 500 derniers millions d'années, et l'on en connaît une cinquantaine d'autres de moindre ampleur au cours de cette même période. Bien qu'aucune ne corresponde exactement à la situation actuelle, ces crises anciennes sont des expériences grandeur nature pour tenter de mieux comprendre ce qui se passe aujourd'hui. En effet, chaque crise est unique : il n'y a pas deux crises qui soient totalement identiques, chaque contexte étant original. Mais si aucune crise du passé n'est un analogue crédible de l'actuelle, ensemble elles représentent un échantillonnage statistique d'une cinquantaine de situations particulières dont on peut tirer des enseignements et poser quelques points de référence.

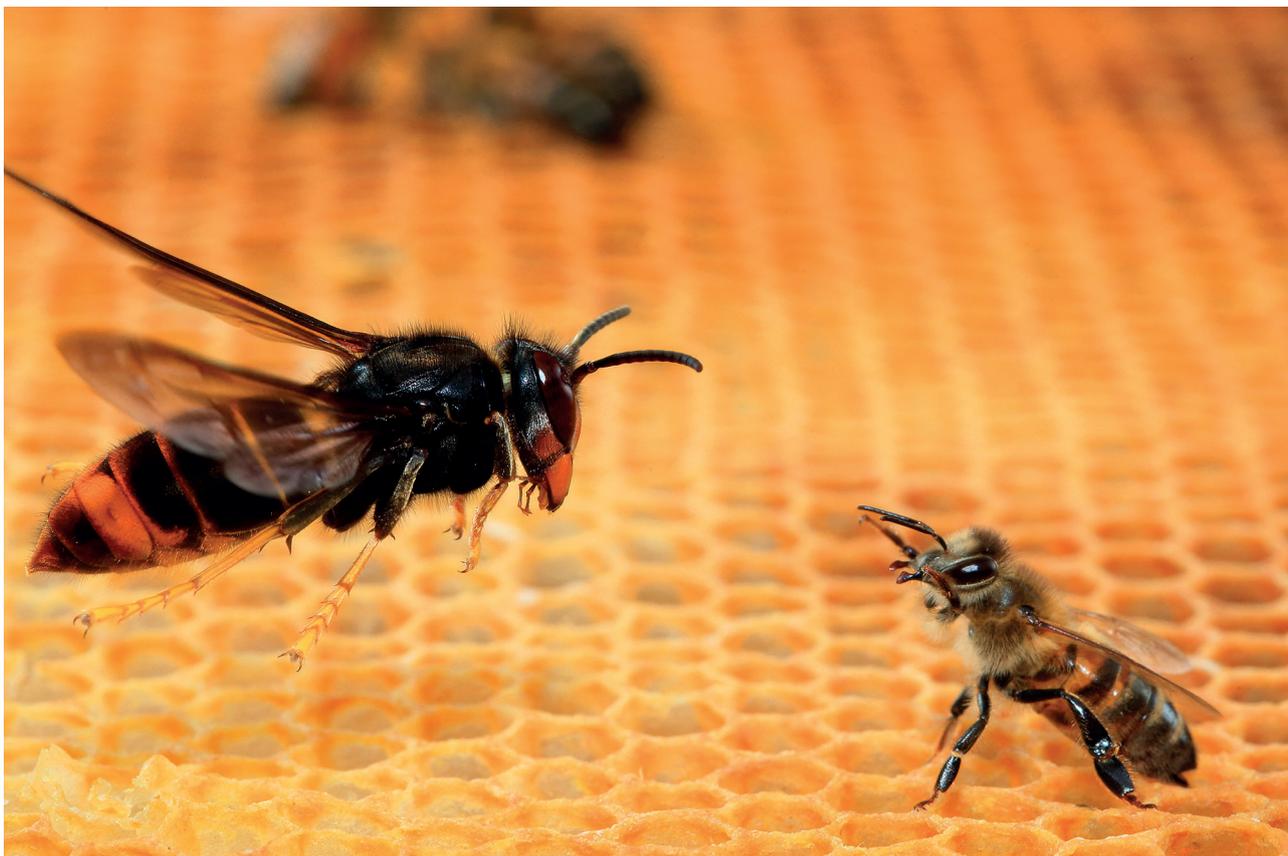
En termes d'ampleur que constate-t-on ? Les 500 derniers millions d'années ont été découpés en tranches de million d'années ; et pour chacune des 500 tranches correspondantes, le pourcentage d'espèces qui ne franchissaient pas le cap de la tranche suivante a été estimé (Raup, 1994). Cela permet de quantifier le bruit de fond

des extinctions sur le temps long. La courbe de distribution de ces extinctions est asymétrique. Elle montre un pic qui indique un bruit de fond d'environ 20 % d'extinction par tranche, puis s'étale vers les pourcentages plus élevés. Les tranches synchrones des cinq grandes crises affichent un taux d'environ 80 %.

Par ailleurs, les données du *Millenium ecosystem assessments* fournissent un taux d'extinction pour des groupes bien connus comme les oiseaux, les mammifères ou les amphibiens depuis environ 150 à 200 ans. Si l'on extrapole ces données recueillies depuis 200 ans sur une durée d'un million d'années, on obtient un taux d'extinction de 8 000 % pour les mammifères (ce qui suppose une disparition complète de ceux-ci sur un laps de temps bien plus court, puisque 100 % sont suffisants pour constater leur éradication). Toutefois, cet exercice revient à comparer une vitesse moyenne à une vitesse instantanée en passant d'une moyenne sur un million d'années, à l'extrapolation d'observations sur 200 ans rapportées au million d'années, ce qui est scientifiquement aventureux. Néanmoins, même en imaginant avoir surestimé le processus d'un ordre de grandeur, voire de deux ordres de grandeur, il demeure que la crise actuelle s'engage au minimum sur le même rythme d'extinction que celui des cinq grandes crises du passé, et même sans doute à un rythme bien plus rapide.

Dans le même registre, des scientifiques ont comptabilisé les extinctions constatées pour différents groupes zoologiques : elles sont encore peu nombreuses, de l'ordre de 1 à 2 % des espèces de chaque groupe (Barnosky *et al.*, 2011). Donc peu d'espèces se sont véritablement éteintes. Et même en y ajoutant les espèces en danger d'extinction recensées sur les listes rouges de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN), le taux reste autour de 20 %, loin des 75 ou 80 % des crises du passé. Nous voici rassurés, la crise actuelle en est donc encore à ses débuts en termes d'amplitude, ce que nous confirme le dernier rapport de l'IPBES qui annonce que 500 000 à un million d'espèces pourraient s'éteindre dans les décennies à venir, soit grosso modo 10 % de la biodiversité. Mais nous oublions ici le paramètre le plus important qui est la vitesse à laquelle la biodiversité actuelle se rapproche d'une extinction majeure, et donc le temps nous en séparant. L'amplitude correspond au chemin qu'il reste à parcourir par rapport aux grandes crises du passé, c'est-à-dire pour atteindre la barre des 75-80 %. Nous en sommes encore loin, mais la pente de la courbe qui donne la vitesse indique que cela va très vite, 100 à 1 000 fois plus vite que lors de n'importe laquelle des crises anciennes. Simplement, nous sommes au tout début du voyage, mais on s'y engage très vite.

Les crises anciennes attestent d'impacts majeurs sur l'évolution de la vie. L'épisode de la *snowball* de 720 Ma pourrait avoir été à l'origine de la différenciation entre deux grands groupes de végétaux, les chlorophytes (algues vertes et microalgues) et les streptophytes (les plantes vertes, notamment) (Becker, 2012). Lors de crises, des effets de seuil ont fait basculer d'un monde à un autre, à l'image du succès des mammifères qui ont pris la place



Le frelon asiatique, un prédateur de l'abeille à miel.

« La modification des écosystèmes par l'introduction d'espèces exotiques, tant dans le domaine continental (jacinthe d'eau, frelon asiatique, pyrale du buis, perche du Nil, écrevisse de Floride...) que dans le domaine marin (caulerpe, étoile de mer du Japon, moule zébrée...), a une empreinte plus considérable. »

laissée vacante par les dinosaures à l'aube du Tertiaire. Une estimation du pourcentage des écosystèmes terrestres affectés par les activités humaines a été tentée : en 1700, il y en a peu, mais leur part s'accroît au cours des siècles suivants (Barnosky *et al.*, 2012). Les prédictions convergent pour suggérer qu'un point de basculement, à partir duquel on ne pourra plus revenir en arrière, pourrait être atteint au cours de ce siècle. Cela signifie que l'action humaine aura alors tellement déstabilisé les écosystèmes qu'un seuil sera atteint et que la planète dans son ensemble basculera vers un autre mode de fonctionnement, sans être en mesure de prévoir ni les modalités ni le moment de ce basculement. La biosphère pourrait être radicalement différente de celle que nous connaissons.

À la lumière des crises anciennes, en déterminer les mécanismes

Tous les ingrédients d'une crise majeure sont aujourd'hui rassemblés au point que l'on parle de sixième extinction des espèces. Une des leçons que délivre le passé est que toutes les crises ont été multifactorielles. Le climat en a souvent été le facteur ultime, mais en étant toujours lié à du volcanisme, parfois à des chutes de grosses météorites, à une paléogéographie particulière, à de l'anoxie océanique... La crise actuelle est également multifac-

torielle. Parmi ces facteurs, le changement climatique, souvent mis en exergue, existe, mais il ne représente sans doute pas l'impact le plus fort qu'a l'humanité sur la planète. Les changements d'usages (destruction des espaces naturels), l'épuisement des ressources (la pêche, par exemple), les pollutions diverses ou la modification des écosystèmes par l'introduction d'espèces exotiques, tant dans le domaine continental (jacinthe d'eau, frelon asiatique, pyrale du buis, perche du Nil, écrevisse de Floride...) que dans le domaine marin (caulerpe, étoile de mer du Japon, moule zébrée...), ont une empreinte plus considérable.

Une autre leçon importante est que les crises du passé n'ont pas été des hécatombes, c'est-à-dire des pics de mortalité locaux ou impactant une catégorie restreinte de taxons. Les crises ont été plus insidieuses : elles ont conduit *in fine* à l'extinction de nombreuses espèces *via* des déclin progressifs, des diminutions d'abondance liées à une diminution du succès reproducteur faisant que de génération en génération, il y avait de moins en moins d'individus. Aujourd'hui, des hécatombes surviennent, comme lors d'une marée noire, lors de la pollution d'une rivière ou d'un incendie de forêt, mais ces hécatombes locales ne sont pas de l'ampleur d'une grande crise. En revanche, 420 millions d'oiseaux communs ont disparu d'Europe en

trente ans, soit une chute de 25 % des effectifs. Ce n'est pas une hécatombe mais bien une diminution du succès reproducteur : moins d'œufs, moins de succès à l'envol, moins d'individus à la génération suivante... D'autres cas d'étude largement médiatisés concernent les mammifères, les insectes ou les amphibiens ; des prédictions sont proposées (Tilman *et al.*, 2017). Nous sommes face au même processus que celui qui a prévalu lors des crises du passé.

Questions en suspens

Nous devons désormais admettre le fait – un faisceau d'observations convergentes en atteste – que la planète est en marche vers une autre structuration de la biosphère, ce qui correspond très exactement à une crise. Les questions désormais centrales sont : quelles sont les conditions environnant ce processus ? Quelle est la vulnérabilité de la biosphère actuelle par rapport aux biosphères qui ont subi des crises dans le passé ? Les réseaux d'interactions qui la traversent la rendent-elle plus ou moins vulnérable ? Comment sa structuration actuelle en biomes et biotes peut-elle amortir ou amplifier les impacts d'une crise ? La géographie actuelle des continents et des océans est-elle protectrice ou amplificatrice ? Les cycles astronomiques à venir sont-ils favorables pour amortir les effets du changement ? Des questions difficiles qui n'ont pas été véritablement explorées.

Enfin, la véritable originalité de la crise actuelle est que pour la première fois, une espèce en est la cause. Cette espèce est très abondante, elle atteint les 7,8 milliards d'individus qui, par ailleurs, se déplacent beaucoup, ce qui amplifie l'impact de chacun d'eux. Cette espèce, c'est l'espèce humaine, et il semble aujourd'hui urgent de prendre collectivement la mesure de cet impact pour protéger la biodiversité, mais également pour préserver notre destin commun.

Références bibliographiques

ALLWOOD A. C., WALTER M. R., KAMBER B. S., MARSHALL C. P. & BURCH I. W. (2006), "Stromatolite reef from the early Archaean era of Australia", *Nature* 441, pp. 714-718.

BARNOSKY A. D., MATZKE N., TOMIYA S., WOGAN G. O. U., SWARTZ B., QUENTAL T. B., MARSHALL C., McGUIRE J. L., LINDSEY E. L., MAGUIRE K. C., MERSEY B. & FERRER E. A. (2011), "Has the Earth's sixth mass extinction already arrived?", *Nature* 471, pp. 51-57.

BARNOSKY A. D., HADLY E. A., BASCOMPTE J., BERLOW E. L., BROWN J. H., FORTELIUS M., GETZ W. M., HARTE J., HASTINGS A., MARQUET P. A., MARTINEZ N. D., MOOERS A., ROOPNARINE P., VERMEIJ G., WILLIAMS J. W., GILLEPSIE R., KITZE J., MARSHALL C., MATZKE N., MINDELL D. P., REVILLA E. & SMITH A. B. (2012), "Approaching a state shift in Earth's biosphere", *Nature* 486, pp. 52-58.

BECKER B. (2013), "Snow ball earth and the split of Streptophyta and Chlorophyta", *Trends Plant Sci.* 18(4), pp. 180-183.

BENTON M. J. (2005), *When Life Nearly Died: The Greatest Mass Extinction of All Time*, Thames & Hudson.

DE WEVER P. & DAVID B. (2015), *La biodiversité de crise en crise*, Paris, Albin Michel.

HOFFMAN P. F., ABBOT D. S., ASHKENAZY Y., BENN D. I., BROCKS J. J., COHEN P. A., COX G. M., CREVELING J. R., DONNADIEU Y., ERWIN D. H., FAIRCHILD I. J., FERREIRA D., GOODMAN J. C., HALVERSON G. P., JANSEN M. F., LE HIR G., LOVE G. D., MACDONALD F. A., MALOOF A. C., PARTIN C. A., RAMSTEIN G., ROSE B. E. J., ROSE C. V., SADLER P. M., TZIPERMAN E., VOIGT A. & WARREN S. G. (2017), "Snowball Earth climate dynamics and Cryogenian geology-geobiology", *Science Advances* 3, pp. 1-43.

LE GALL J., HAMANT O. & BOURON J. B. (2017), « Anthropocène », *Géococonfluences*.

RAUP D. (1994), "The role of extinction in evolution", *PNAS* 91(15), pp. 6758-6763.

TILMAN D., CLARK M., WILLIAMS D. R., KIMMEL K., POLASKY S. & PACKER C. (2017), "Future threats to biodiversity and pathways to their preservation", *Nature* 546, pp. 73-81.

TURNER S. K., HULL P. M., KUMP L. R. & RIDGWELL A. (2017), "A probabilistic assessment of the rapidity of the PETM onset", *Nature communication* 8:353.

WINGUTH A., SHELLITO C., SHIELDS C. & WINGUTH C. (2009), "Climate Response at the Paleocene – Eocene Thermal Maximum to Greenhouse Gas Forcing – A Model Study with CCSM3", *Journal of Climate* 23, pp. 2562-2584.