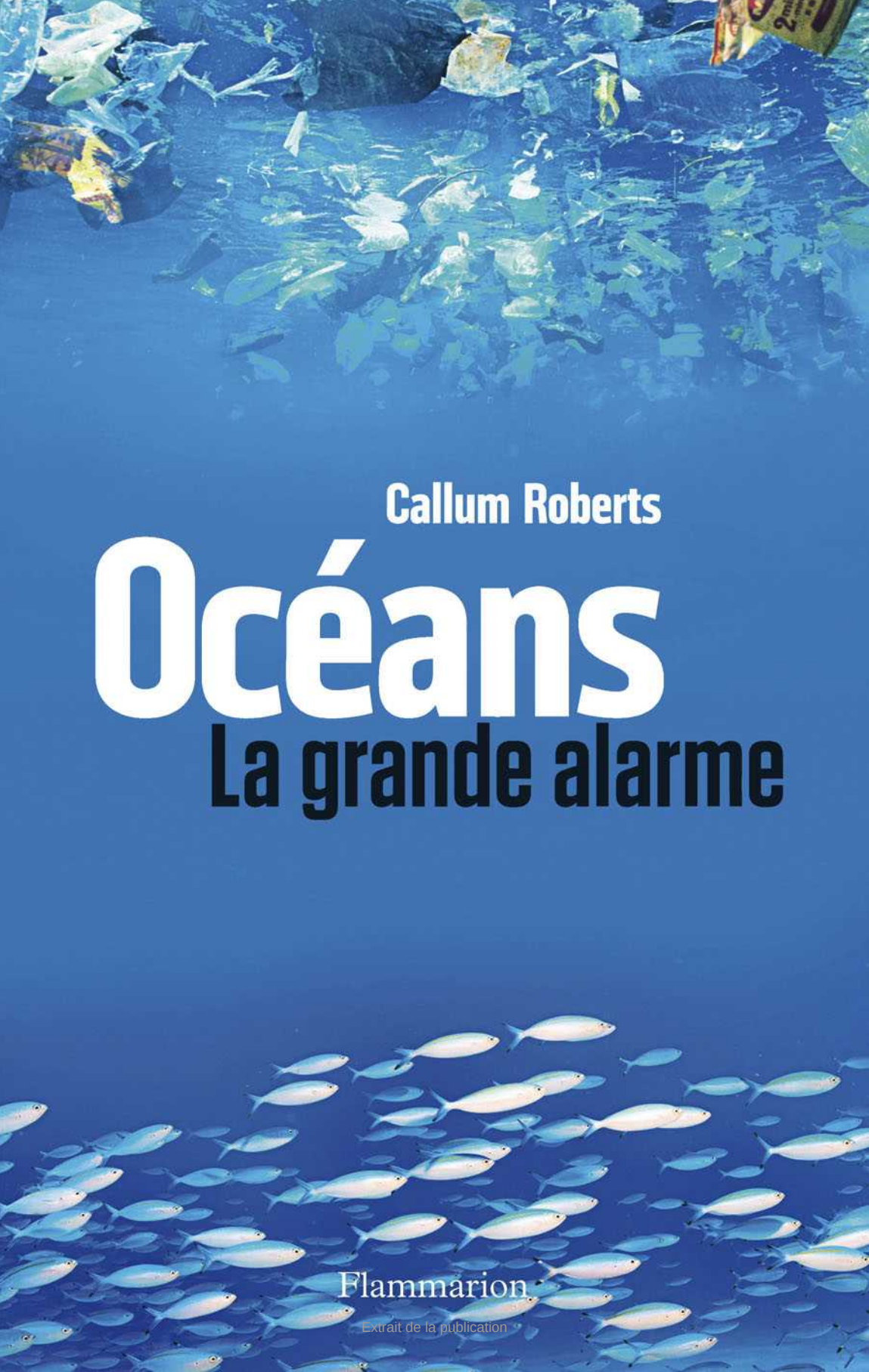
Callum Roberts
Océans
La grande alarme
Flammarion
Extrait de la publication

Océans
La grande alarme

Dans quel état sont les océans ? Comment s'adaptent-ils au changement climatique, à la pollution, à la surpêche ? Combien de temps supporteront-ils le gaz carbonique que nous émettons ? Quel impact leur acidité aura-t-elle sur la production d'oxygène ? Tandis que la faune et la flore marines dépérissent, l'inquiétante prolifération des méduses n'annonce-t-elle pas une nouvelle extinction massive ?

Pour nous aider à comprendre ces processus, Callum Roberts nous familiarise avec toutes les populations et tous les mécanismes océaniques : la disparition des courants marins, la hausse excessive des températures, les déséquilibres induits par les barrages et l'irrigation, les dangers de la fonte des glaces, la pollution provoquée par les produits chimiques, la démesure des rejets plastiques, les perturbations sonores, la voracité des espèces invasives…

Roberts, qui appelle à un *New Deal* océanique, fait le point sur les mesures à prendre, collectives et individuelles. Il est urgent d'agir, car le problème majeur, ce n'est pas tant les transformations du monde que la rapidité avec laquelle elles ont lieu et la brièveté du temps dont dispose le vivant pour s'adapter.

Callum Roberts est professeur de conservation marine à l'université d'York et professeur associé à l'université Harvard. Ses efforts ont abouti à la création, en 2010, du premier réseau mondial de zones sanctuarisées en haute mer. Il est actuellement ambassadeur pour la Grande-Bretagne du Fonds mondial pour la nature (WWF).

Traduit de l'anglais
par Thierry Piélat

Avec le soutien du CNL Centre national du livre

Flammarion

13-X Création Studio Flammarion Couverture : Photomontage d'après des photos : © Gary Bell / OceanwideImages.com

Extrait de la publication

OCÉANS

Callum Roberts

OCÉANS

La grande alarme

Traduit de l'anglais par Thierry Piélat

Avec le soutien du CNL Centre national du livre

Flammarion

Copyright © Callum Roberts, 2012
L'ouvrage original a paru sous le titre
Ocean of Life. How Our Seas Are Changing,
aux éditions Allen Lane / Penguin Books
Traduction © Flammarion, 2013
ISBN : 978-2-0813-1513-6

À mes filles, qui adorent la mer

Extrait de la publication

Extrait de la publication

Roule dans ton immensité, profond et bleu Océan – roule ! Dix mille flottes parcourent vainement ta surface ; l'homme couvre la terre de ruines, mais son pouvoir s'arrête à tes rivages.

Byron, *Le Pèlerinage de Childe Harold*

Prologue

Je suis allé détacher la yole délabrée, jusqu'aux cuisses dans l'eau passablement froide. Elle a glissé avec aisance sur la surface lisse du lagon jusqu'à la plage où Julie attendait avec notre matériel de plongée. Nous étions mariés depuis un mois et, en guise de lune de miel, je l'avais persuadée de passer deux mois sur le terrain à étudier le comportement des poissons dans cette partie isolée de la Grande Barrière de corail australienne. C'était en juin 1987, l'hiver en Australie et l'été chez nous. Deux hérons longeaient le rivage en quête de petit déjeuner. Ils se sont envolés dans un battement d'ailes quand le moteur hors-bord a démarré en toussant, et nous avons mis le cap sur une zone située à un kilomètre et demi, par-delà un dédale de coraux d'une complexité à dérouter le navigateur le plus expérimenté.

Nous avons jeté l'ancre sur un récif détritique qui séparait le lagon de la pleine mer. C'était notre première plongée dans l'océan à cet endroit et un frisson d'appréhension tempérait l'excitation de l'attente. Devant nous, les verts et les bruns rassurants du récif proche de la surface laissaient place à l'indigo sombre des profondeurs marines. D'énormes éperons de coraux plongeaient à des dizaines de mètres en murailles parallèles séparées par des chenaux insondables. Des coraux-doigts d'un pourpre vif disputaient l'espace à des coraux-laitues jaunes, tandis que de grands monticules de polypes bleus et verts s'élevaient du fond.

Difficile de se repérer dans le tourbillon de mouvement qui animait le récif. Des poissons-chirurgiens à rayures bleu électrique fusaient en tous sens avec détermination, esquivés par de vagues cohortes de poissons-perroquets aux couleurs criardes. Des nuées de poissons-demoiselles et d'anthias évoluaient au-dessus, glanant avec délicatesse une nourriture invisible. J'ai dénombré huit tortues caouannes au bord du récif, une à chacun des éperons visibles. Un requin gris cinglait dans notre direction, mais fit à peine attention à nous sur son passage. Il y avait dans cette scène quelque chose de primordial, d'intemporel. J'étais subjugué.

Je me demande ce que j'en aurais pensé si, de retour sur le rivage, nous avions été accueillis par quelque Cassandre prophétisant que dans cent ans ce magnifique récif ne serait plus que ruines, ses escarpements coralliens aux vives couleurs seraient remplacés par un duvet d'algues vertes et les bancs de poissons, désormais clairsemés, auraient laissé place à des essaims de méduses et de plancton gélatineux. Je l'aurais sans doute pris pour un fou. Rien n'aurait semblé plus improbable. Et pourtant, moins de vingt-cinq ans plus tard, les spécialistes les plus réputés du milieu marin font presque tous la même prédiction. Elle est en train de se réaliser sous nos yeux.

Onze ans après cette lune de miel marine, dans un avant-goût du réchauffement climatique, la température des océans a augmenté de manière si spectaculaire qu'un quart des coraux de la planète sont morts. Dans la majeure partie de l'océan Indien, entre 70 et 90 % des coraux ont péri, entraînant dans leur sillage d'innombrables créatures marines pour lesquelles les coraux faisaient office d'espace vital ou de nourriture. Si les trois quarts de nos forêts avaient dépéri, étaient mortes cette année, tout le monde aurait exigé d'en connaître la raison et une offensive aurait été déclenchée pour les restaurer, alors qu'en dehors des milieux scientifiques concernés la catastrophe planétaire qui a frappé les milieux marins est passée largement inaperçue.

Dans l'histoire de la civilisation, les océans sont restés longtemps dans un état stationnaire. Depuis que le niveau de la

Extrait de la publication

mer s'est stabilisé, il y a 6 000 ou 7 000 ans, après la dernière période glaciaire, son état a été pour l'essentiel prévisible. Certes, les côtes avançaient et reculaient sous l'action incessante des vagues et des marées, mais les océans eux-mêmes semblaient inchangés. Leur constance contrastait avec l'évolution des terres émergées, dont les paysages ont été considérablement modifiés, d'abord par l'expansion de l'élevage et de l'agriculture, puis par l'urbanisation et l'industrialisation. Aujourd'hui, le tour des océans semble venu.

Ce livre traite des changements subis par la mer. Au cours du dernier demi-siècle, la domination exercée par l'homme sur la nature a finalement touché les océans. La rapidité et l'étendue de ces changements nous ont pris au dépourvu. La mer devient de plus en plus hostile à la vie ; pas seulement pour les êtres vivants qui nagent sous la surface ou rampent au fond de l'eau, mais pour nous aussi. Depuis une dizaine d'années seulement, on commence à reconnaître combien les activités humaines bouleversent les océans et les conséquences que cela entraîne pour notre bien-être.

Nous savons depuis longtemps que l'humanité a transformé la terre, modifié les paysages pour satisfaire ses besoins, porté préjudice à la faune et à la flore pendant des milliers d'années, des dizaines de milliers si l'on tient compte du fait que les Aborigènes d'Australie et les Indiens d'Amérique recouraient au feu pour défricher et faciliter la chasse et la cueillette. Mais nous persistons à croire, comme l'a dit Lord Byron, que la domination de l'humanité s'arrête là où commence la mer. Pourtant, même du temps de Byron, les effets de l'action humaine sur la mer étaient significatifs. Vingt ans plus tard, le grand pingouin sera éteint et la baleine grise de l'Atlantique aura disparu à jamais. La pêche avait commencé à réduire les réserves halieutiques près des côtes et à porter atteinte aux habitats des poissons avec les chaluts et les dragues. On construisait des défenses côtières, et de vastes zones de marais et d'estuaires étaient conquises pour l'aménagement de ports et pour l'agriculture. Dans les régions très peuplées, les cours

d'eau envasaient estuaires et baies avec la boue lessivée des terres labourées.

Depuis, notre influence a crû de manière exponentielle. Au cours des deux derniers siècles, des habitats marins ont été anéantis ou rendus méconnaissables. À cause de l'impact des activités humaines, un courant en constante accélération, les océans ont plus changé ces trente dernières années qu'au cours de toute l'Histoire. Presque partout, les océans ont perdu jusqu'à 75 % de leur mégafaune – des gros animaux comme les baleines, les dauphins, les requins, les raies et les tortues – à mesure que la pêche et la chasse s'étendaient par vagues à la surface du globe. Les effectifs de certaines espèces ont diminué de 99 %, ce qui est le cas des requins océaniques à aileron blanc, qui vivent en haute mer, des poissons-scies d'Amérique et de la raie « commune » d'Europe du Nord. À la fin du XXe siècle, presque aucune zone maritime de moins d'un kilomètre de profondeur n'était épargnée par la pêche commerciale et aujourd'hui celle-ci se pratique en certains endroits jusqu'à 3 km de profondeur.

Pendant des millénaires, le commerce s'est effectué à travers les océans. Ils sont aujourd'hui les grandes routes de la mondialisation et le vrombissement des moteurs s'entend partout en mer, même sous la calotte polaire. Les océans nous fournissent aussi de plus en plus de pétrole et de gaz naturel, dont la rareté croissante oblige à les rechercher toujours plus profondément et plus loin des côtes. Dans une dizaine d'années, l'exploitation minière en mer commencera pour de bon. Les richesses recelées dans l'obscurité des abysses, à des milliers de mètres sous la surface, nous attirent. Des pépites sombres de métaux précieux et de terres rares sont éparpillées dans le fond de l'océan, une croûte de cobalt recouvre des monts sous-marins, des gisements d'or, d'argent et de manganèse vomis par des sources superchaudes sont presque à portée des mineurs.

Pourquoi, en dépit de l'évidence reconnue de l'impact humain, tant de gens persistent-ils à croire que les océans restent indemnes et échappent à notre action ? La réponse est à rechercher en partie dans l'allure larvée du changement. Chaque géné-

Extrait de la publication

ration a sa propre idée de l'état de l'environnement. Les jeunes ne parviennent généralement pas à percevoir les changements vécus par leurs aînés et la connaissance des conditions passées se perd avec le temps. Les nouvelles générations dédaignent souvent les récits des anciens et leur préfèrent ce dont elles ont fait elles-mêmes l'expérience directe. Il en résulte un phénomène appelé « processus de référence changeante » *(shifting baseline syndrome)*, ou amnésie générationnelle, qui amène à considérer comme allant de soi ce qui aurait semblé inconcevable deux générations plus tôt.

Loren McClenachan, diplômée de la Scripps Institution of Oceanography, a déniché un exemple parlant de cette amnésie générationnelle dans les archives de la bibliothèque du comté de Monroe, en Floride, où elle menait des recherches : une série de photos représentant les prises effectuées à Key West par les clients d'une société affrétant des bateaux pour la pêche de plaisance entre les années 1950 et 1980 [1]. Elle a ajouté à cette série ses propres photos faites au même endroit au début de ce siècle. Dans les années 1950, d'énormes mérous goliaths et des requins, dont beaucoup étaient plus gros que les pêcheurs, constituaient l'essentiel des prises. Les années passant, la taille des poissons a diminué ; au lieu de mérous et de requins, on attrapait plutôt des lutjanides et des *Haemulidae* (grondeurs), plus petits. Mais les pêcheurs arborent maintenant d'aussi larges sourires que dans les années 1950. Les touristes d'aujourd'hui ne se doutent pas que les choses ont évolué.

Les océans changent plus vite qu'à toute autre période de l'histoire de la Terre et nous sommes les agents de cette transformation. Beaucoup de ces changements éprouveront l'aptitude de ses habitants à survivre dans l'avenir. Ils modifient en outre notre relation à la mer et menacent beaucoup de choses qui nous sont chères et que nous considérons acquises. Notre incapacité à remarquer la dégradation écologique rampante n'a

1. McClenachan, L. (2009), « Documenting loss of large trophy fish from the Florida Keys with historical photographs », *Conservation Biology*, n° 23, p. 636-643.

pas seulement compromis notre qualité de vie. Dans des circonstances extrêmes, elle menace jusqu'à notre bien-être. L'Histoire offre maints exemples de civilisations détruites par des catastrophes écologiques qu'elles avaient involontairement provoquées. Les Pascuans ont coupé tous les arbres de leur île pour ériger les statues de leurs dieux et sont morts de faim parce que cela avait asséché le sol. Les Mésopotamiens ont inventé une agriculture par irrigation sophistiquée, mais celle-ci a salinisé leurs champs au point de les rendre stériles. Les pratiques agricoles à flanc de colline des Mayas ont dépouillé la région de sa couche arable, précipitant l'effondrement de cette civilisation extraordinaire durant une sécheresse prolongée. En l'occurrence, les effets négatifs étaient locaux, circonscrits à une île ou à une région. Aujourd'hui, notre influence est globale et nous devrons agir globalement pour remédier aux dommages déjà provoqués.

J'ai commencé ma carrière en étudiant les poissons des récifs coralliens. J'ai été pris de passion dès ma première plongée sur un récif de la mer Rouge (ma femme, Julie, a éprouvé le même choc lors de notre lune de miel sur la Grande Barrière de corail et elle est devenue biologiste marine à son tour). Trente ans après, les poissons sont toujours au cœur de mes recherches, mais ma perspective s'est élargie et je m'intéresse maintenant aux relations entre l'homme et la mer au cours de l'Histoire. Lorsque j'ai entrepris mes recherches pour ce livre, j'ai découvert d'immenses pans de l'océanographie dont je n'avais jusqu'alors qu'une vague idée. Les scientifiques sont des spécialistes et ils consacrent leur vie à des recherches dans des domaines étroits, qui le deviennent de plus en plus au fil du temps. Chacun se plonge dans l'étude d'un fragment du monde, le tourne en tous sens comme un tesson de mosaïque. La gestion de la pollution n'a rien à voir avec la gestion des zones de pêche, qui est elle-même rarement envisagée en même temps que le commerce maritime ou le changement climatique. Par conséquent, les effets des activités humaines sont discutés isolément dans divers colloques et par des personnes différentes, qui ne voient jamais l'ensemble du tableau. J'ai décidé

d'écrire ce livre parce que je ressentais le besoin urgent de réunir ces divers fiefs. Ce que j'ai trouvé en chemin a été une révélation.

Nous redoutons le changement et lui résistons. Cette résistance est peut-être inscrite dans nos gènes : le familier nous paraît plus sûr que l'inconnu. Beaucoup d'animaux se donnent énormément de mal pour retourner à l'endroit où ils sont nés afin de se reproduire, probablement parce que ce qui y a réussi dans le passé est un gage de la réussite future. Notre monde est dynamique et le changement apporte parfois de bonnes choses, mais certains changements, en particulier ceux qui sapent la faculté de récupération de la planète, sont néfastes, car, lorsque cette résistance est épuisée, impossible de dire ce qu'il va se passer à l'avenir. Comme je vais le montrer, la voie dans laquelle nous sommes aujourd'hui engagés pousse les écosystèmes océaniques à la limite de la viabilité. Insoucieux des conséquences, nous vidons les mers des poissons et les emplissons de polluants, et notre expérience improvisée sur les gaz à effet de serre, avec ses conséquences imprévues, affecte progressivement la haute mer.

Si certains des effets exercés par l'homme sur les océans décrits dans ce livre se manifestent depuis des siècles, d'autres n'ont réellement vu le jour que depuis une cinquantaine d'années. En ce sens, ils ont été soudains, presque instantanés, étant donné qu'ils se sont produits sur une période inférieure à un millième des quelque cent cinquante mille ans écoulés depuis l'apparition d'*Homo sapiens*, l'homme moderne. La réaction exigée pour contrer ces effets devra elle aussi être rapide et globale. Rares sont jusqu'ici ceux qui ont compris la gravité de la situation.

Tout au long de ce livre, je vous entraînerai sous les vagues pour vous faire découvrir les mers comme vous ne les avez jamais vues. Je vous montrerai comment les activités humaines défont depuis des siècles le tissu de la vie marine. Jusqu'à récemment, nous avons pu ignorer la majeure partie des dommages infligés par notre exploitation insouciante de la mer. Mais, l'échelle et l'intensité de l'influence humaine augmentant, la

rapidité du changement s'est accrue et nous devons maintenant en affronter les conséquences.

Pour comprendre le présent, nous devons d'abord connaître le passé. Nous commencerons par conséquent par évoquer la formation de la Terre, avant de retracer l'histoire des premiers hommes. Durant des dizaines de milliers d'années, notre seul impact réel sur les océans a consisté à y prélever du poisson et des coquillages ; nous débuterons donc par une brève histoire de la chasse et de la pêche. La révolution industrielle a annoncé la mutation de l'humanité en agent du changement planétaire : c'est pourquoi nous nous arrêterons sur l'usage des combustibles fossiles et montrerons que leurs effets sur les courants et le climat sont en train de rapprocher la mer de l'état qui fut le sien il y a des centaines de milliers, voire des millions d'années. Le niveau des mers s'élève plus vite que les rythmes les plus rapides prévus il y a seulement vingt ans. Cette montée des eaux menace maintenant des dizaines de métropoles mondiales et risque d'inonder d'ici à cinquante ans de vastes étendues de nos meilleures terres agricoles, mettant en péril la sécurité alimentaire. Effet parmi les moins connus mais le plus potentiellement dommageables des émissions de gaz à effet de serre, l'acidité des mers augmente au même pas que la concentration en gaz carbonique. Le résultat pourrait être catastrophique. Les animaux qui forment des coquilles ou des carapaces, dont les réseaux trophiques marins, et donc nos zones de pêche, sont souvent dépendants, auront de plus en plus de mal à subsister. Depuis 55 millions d'années, les océans n'ont pas connu de perturbation d'une gravité comparable à la calamité qui nous attend dans une centaine d'années si nous ne parvenons pas à réduire rapidement ces émissions.

En absorbant la chaleur, les océans nous ont jusqu'ici épargné le pire du réchauffement planétaire. Mais le réchauffement des mers a mis la vie en mouvement, si bien que dans les années à venir la fortune de certaines populations vivant de la pêche déclinera alors que d'autres seront plus favorisées. Le réchauffement aura cependant des effets beaucoup plus graves sur la productivité marine, la rendant excessive en certains endroits

et transformant d'autres en déserts océaniques. Si seuls le changement climatique et la pêche menaçaient la vie marine, la situation serait déjà assez préoccupante. Mais les océans sont en outre soumis à d'autres pressions, comme la pollution. Nous passerons en revue ses effets, des produits chimiques toxiques et de l'omniprésent plastique aux égouts, aux engrais et à des polluants moins familiers, comme le bruit et les espèces invasives. Les problèmes de pollution se sont aggravés avec le temps, au point que dans beaucoup de régions océaniques des zones mortes font leur apparition et s'étendent là où l'oxygène de l'eau est absorbé par le plancton en décomposition. La recette du cocktail des pressions exercées par l'homme diffère d'un endroit à l'autre, mais le résultat est le même : leurs effets combinés sont bien pires que s'ils étaient isolés. Nous sommes en train de transformer la vie océanique et, ce faisant, nous sapons les bases mêmes de notre existence.

Ce livre n'est cependant pas un catalogue des désastres inévitables qui nous attendent. Nous pouvons faire beaucoup pour changer de cap si nous en saisissons maintenant l'occasion. Mais le temps joue un rôle essentiel. Plus nous ignorons les problèmes et perdons du temps en tergiversations, moins nous aurons la latitude d'échapper au plus sinistre des avenirs possibles. Le reste de ce livre sera consacré à montrer comment tracer une nouvelle route pour sauver les océans et nous-mêmes. Ce dont nous avons besoin, c'est d'un projet ambitieux pour inverser les tendances à long terme d'épuisement et de dégradation, recapitaliser la valeur des océans pour les humains, la faune et la flore, et améliorer la qualité de vie de chacun, en particulier des générations à venir. Rien ne nous oblige à voir passivement dénaturer tout ce que nous aimons dans la mer. Changer pour le meilleur est à notre portée.

Extrait de la publication

1

Il était une fois, il y a 4,5 milliards d'années

Dans une région isolée d'Australie-Occidentale, il existe une chaîne de collines si érodées par le temps qu'il n'en reste guère que de vagues ondulations. Le soleil estival cuit la terre rouge et les rares arbres vont chercher l'eau en profondeur pour étancher leur soif. De près, les blocs de pierre pêle-mêle révèlent des lits de galets polis apportés il y a longtemps par des inondations – fort longtemps, car la roche des Jack Hills a été déposée là il y a 3 milliards d'années. Choisir ce désert intérieur comme point de départ d'un livre sur les océans peut sembler étrange, mais, aussi peu remarquables qu'elles paraissent, ces pierres ont récrit les débuts de l'histoire de la planète.

Le zircon est un cristal pyramidal formé à partir du magma en cours de refroidissement. Incroyablement résistant, il survit aux fontes et solidifications à répétition subies lors de la restructuration de la croûte de notre remuante planète par le mouvement des plaques tectoniques. Le zircon peut donner des gemmes de couleurs variées. Ce nom dérive, estime-t-on, du persan *zargun*, qui signifie « doré », sans doute pour désigner les pierres jaunes translucides jadis échangées entre Ceylan et l'Europe ou la Chine via la Perse. Les bâtisseurs de la ville-temple d'Angkor Wat, au Cambodge, extrayaient de la vase des rivières de semblables cristaux bleu ciel éclatants.

Le zircon des Jack Hills est moins voyant. Les cristaux sont en fait si petits qu'on peut difficilement les voir à l'œil nu. Il a fallu cent kilos de roche des Jack Hills pour obtenir moins

Extrait de la publication

d'un dé à coudre de zircon[1]. Mais ça en valait la peine. On a constaté que chacun de ces cristaux contenait des traces d'uranium, qui, au fil du temps, se désintègre en plomb. Cela fait d'eux des chronomètres géologiques égrenant les éons. En mesurant la proportion d'uranium par rapport au plomb, on peut dater la formation du cristal à quelques dizaines de millions d'années près. Le cristal le plus vieux des Jack Hills a 4,4 milliards d'années : ce qui veut dire qu'il s'est formé à un cheveu de la naissance de la Terre (enfin, un cheveu de 170 millions d'années). Il nous donne un aperçu de la planète dans sa prime jeunesse.

On ne pourra jamais connaître avec certitude tous les détails de la naissance et de la petite enfance de la Terre ; personne n'était là pour y assister et on ne peut remonter le temps. Le mieux que nous puissions faire est de fouiller la planète en quête de fossiles et de roches anciennes, et de les sonder pour leur arracher leurs secrets. Nous imaginons des théories en accord avec les faits et les remanions quand de nouvelles données révèlent leur insuffisance. De nos jours, des manières inédites d'interroger le passé sont mises au point avec une rapidité stupéfiante, de sorte que l'image se précise. Bien que de nombreuses incertitudes entachent encore l'histoire que je vais raconter dans ce chapitre, l'enchaînement des événements est en gros bien établi. Il y a environ 4,57 milliards d'années, la Terre s'est formée par accrétion à partir du disque de poussière et de débris rocheux en rotation qui allait devenir le système solaire[2]. Le Soleil a à peu près le même âge ; la Terre s'est donc formée quand a été grattée l'allumette pour éclairer le système solaire. À mesure que le bombardement de débris donnait forme à la planète et augmentait sa taille, celle-ci se réchauffait jusqu'à faire fondre les roches. Vu de l'obscurité de l'espace,

1. VALLEY, J.W. (2005), « A cool early Earth ? », *Scientific American*, octobre, p. 58-65.
2. Nous pouvons faire remonter très précisément la formation de la Terre à 4,567 milliards d'années en se fondant sur l'âge des premiers météorites. VALLEY, J.W. (2006), « Early Earth », *Elements*, n° 2, p. 201-204.

notre monde luisait sans doute comme un soleil pâle. Il y a quelque 4,53 milliards d'années, une planète probablement de la taille de Mars percuta ce nouveau monde et en arracha des morceaux qui devinrent la Lune. Le choc fut si violent qu'il vaporisa la roche et le monde primitif se nimba d'une épaisse atmosphère composée de cette roche vaporisée et d'autres gaz. La planète se refroidissant, vint ensuite un temps où les minéraux se condensèrent et pendant deux mille ans la roche fondue retomba en pluie sur un océan de magma. Mais, quand ce déluge incandescent prit fin, l'atmosphère resta imprégnée de vapeur et de gaz ; la pression atmosphérique à la surface de la mer embrasée devait être des centaines de fois plus forte qu'aujourd'hui [1].

Nous devons beaucoup à cette collision. Le choc inclina l'axe de rotation de la Terre, ce qui engendra les saisons [2]. Sur le vaste horizon des temps géologiques, la Lune a ralenti et stabilisé la rotation de la Terre, allongeant les jours. Il y a 1 milliard d'années, un jour ne durait que dix-huit heures et l'année comprenait quatre cent quatre-vingts jours. Au début, la Lune était beaucoup plus proche de la Terre et devait sembler énorme dans le ciel. Comme aujourd'hui, la force d'attraction gravitationnelle déclenchait des marées plus importantes que ne le faisait le Soleil, plus distant ; leurs flux et reflux étaient certainement plus violents que ceux que nous connaissons puisque les marées montaient plus haut et descendaient plus vite en ces jours brefs [3].

Cette première période de chaleur torride sur la boule de feu Terre est appelée l'Hadéen. On a longtemps cru que ces conditions infernales avaient perduré pendant le premier

1. SLEEP, N.H. *et al.* (2001), « Initiation of clement surface conditions on the earliest Earth », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, n° 98, p. 3666-3672.
2. FEDONKIN, M.A. *et al.* (2007), *The Rise of Animals : Evolution and Diversification of the Kingdom Animalia*, The Johns Hopkins University Press, Baltimore.
3. Curieusement, il a été très difficile de trouver des indications de marées plus hautes et plus fortes dans les archives géologiques. Comme me l'a dit le professeur Andrew Knoll, peut-être ne savons-nous quoi chercher.

demi-milliard d'années de l'histoire de la Terre, mais un zircon des Jack Hills a récemment amené à réviser ce point de vue. Le cristal en question, vieux de 4,4 milliards d'années, avec ses minuscules particules d'autres matériaux piégées à l'intérieur, s'est formé aux températures caractéristiques où le granit s'agrège au contact de l'eau liquide[1]. Les continents sont constitués de granit et l'on voit donc dans ce petit bout de roche insignifiant l'empreinte d'un monde plus frais, avec des terres et de l'eau, bien avant qu'on en ait suspecté l'existence. Au lieu d'océans de feu en ébullition, la planète devait plutôt ressembler à un hammam.

La Terre est la seule planète du système solaire à posséder des océans et des mers liquides. D'où vient toute cette eau ? Peut-être y en avait-il dans le disque de poussière et de gaz à partir duquel le système solaire s'est formé, mais certains scientifiques estiment que la région intérieure de ce disque, où la Terre est apparue, était trop chaude pour en renfermer[2]. Ils considèrent que l'eau est venue à la fin de la formation de la Terre, portée par les comètes et les astéroïdes glacés venant des confins du système solaire. Ce bombardement se poursuit aujourd'hui : une dizaine de fois par jour, une « boule de neige » de plus de 1 kg fond dans les couches supérieures de l'atmosphère. Mais la composition isotopique desdites boules donne à penser qu'elles ne fournissent qu'un pourcentage minime de notre eau[3]. On suppose que les météorites ont apporté le reste, mais on a récemment trouvé une comète présentant une composition isotopique de l'eau semblable à celle des océans ; la contribution des comètes pourrait donc être plus importante

1. WILDE, S.A. *et al.* (2001), « Evidence from detrital zircons for the existence of continental crust and oceans on the Earth 4.4 Gyr ago », *Nature*, n° 409, p. 175-178.
2. DRAKE, M.J. (2005), « Origin of water in the terrestrial planets. Meteoritics and Planetary », *Science*, n° 40, p. 519-527.
3. Les isotopes sont des éléments de même numéro atomique, mais de masse atomique différente, n'ayant pas le même nombre de neutrons. Ils permettent de trouver l'origine de l'eau des océans puisque la composition isotopique de la source doit être la même.

qu'on ne l'avait cru[1]. Selon une autre opinion, les molécules d'eau à la dérive dans l'espace adhèrent à des particules de poussière : roche et eau nous arrivent en même temps. La planète a assez d'eau pour former cinq à dix océans, peut-être plus ; la majeure partie reste cependant captive du soubassement rocheux. En poids, environ 0,5 % des roches basaltiques est constitué d'eau, piégée dans sa structure minérale réticulaire[2]. Lorsque le monde primitif s'est réchauffé et que les roches ont fondu, l'eau s'est évaporée dans l'atmosphère. Pendant plus de 100 millions d'années, les océans sont restés suspendus dans les cieux en un épais voile de vapeur qui tourbillonnait au-dessus de la surface rougeoyante de notre planète.

Quand la Terre s'est un peu refroidie, une nouvelle pluie est tombée, cette fois-ci d'eau brûlante. L'averse a duré des milliers d'années et s'est répétée plusieurs fois durant le demi-milliard d'années suivant, lorsque l'impact de gigantesques débris extraterrestres portait à ébullition et vaporisait les couches supérieures des mers. Durant encore un demi-milliard d'années, la Terre a continué d'être percutée par des astéroïdes beaucoup plus gros que celui qui a provoqué la disparition des dinosaures il y a 65 millions d'années. Il reste peu de traces de ces impacts, car la croûte terrestre est constamment barattée à nouveau dans les profondeurs de la planète, mais on peut avoir une idée de leur violence à la vue des cratères dont est parsemée la surface de la Lune, surface qui, restée immobile après s'être refroidie, a conservé les stigmates du bombardement.

Au début, les océans recouvraient la majeure partie du globe. Leur volume devait être le double de ce qu'il est maintenant[3]. Des îles affleuraient là où des pans de la croûte terrestre entraient en collision et des volcans élevaient des montagnes

1. HARTOGH, P. *et al.* (2011), « Ocean-like water in the Jupiter-family comet 103P / Hartley 2 », *Nature*, n° 478, p. 218-220.
2. SCHOPF, T.J.M. (1980), *Paleoceanography*, Harvard University Press, Cambridge, Mass.
3. KOEBERL, C. (2006), « Impact processes on the early Earth », *Elements*, n° 2, p. 211-216.

de cendre et de lave, mais il n'y avait pas encore de continents. Ils sont apparus plus tard et se sont formés lentement. Le monde est aujourd'hui morcelé en continents et en mers parce que la croûte se compose de deux sortes de roche. Sous la mer, elle est en basalte et légèrement plus dense que les granits dont sont, de nos jours, constitués les continents. Des refontes répétées dans la fournaise de notre jeune planète ont séparé du basalte les roches granitiques, plus légères. Ces deux types de roche flottent sur une mer de magma chaud et visqueux dans le manteau de la Terre, mais les continents surnagent au-dessus d'elles. Comme les icebergs, le volume de ce que nous en voyons au-dessus de l'eau dépend de celui qui est caché. Les continents ont un grand tirant d'eau et ils flottent donc plus haut sur le manteau que la croûte océanique. C'est pourquoi la hauteur moyenne des terres est de 840 m au-dessus du niveau de la mer, alors que la profondeur moyenne des océans atteint 3 680 m, conséquence de la différence de densité de leurs roches [1].

À nos yeux, les océans sont immenses. Ils couvrent 360 millions de kilomètres carrés et occupent un volume de 1,33 milliard de kilomètres cubes. Il n'est pas facile d'imaginer un kilomètre cube. Si l'on inondait Central Park, à New York, jusqu'à la hauteur d'un immeuble de trente étages, on obtiendrait à peu près un demi-kilomètre cube : il faudrait 2,66 milliards de Central Parks ainsi inondés pour remplir les océans, volume quasiment inconcevable. Pourtant, à l'échelle de la planète, les océans forment une pellicule pas plus épaisse que la peau d'une pomme [2].

Le magma chaud et visqueux du manteau de la Terre maintient la surface du globe constamment en mouvement. En montant des profondeurs, il crée par endroits une nouvelle croûte. Depuis que la planète n'augmente plus de volume, cette créa-

1. CHARETTE, M.A. et SMITH, W.H.F. (2010), « The volume of Earth's ocean », *Oceanography*, n° 23, p. 112-114.
2. SNELGROVE, P.V.R. (2010), *Discoveries of the Census of Marine Life*, Cambridge, Cambridge University Press.

Extrait de la publication

tion est compensée ailleurs par la destruction que provoque le glissement de la croûte dans le manteau. La surface de la Terre est ainsi divisée en blocs, appelés plaques, qui se déplacent au fil du temps en une danse géologique au ralenti. Là encore, la différence de densité entre les croûtes océanique et continentale entre en jeu. Du fait que la croûte océanique est mince et dense (de 4 à 10 km d'épaisseur, contre 30 à 40 km pour la majeure partie du granit continental), elle est recyclée rapidement dans le manteau, environ dix fois plus vite que les continents. (Aucune zone de la croûte océanique n'a plus de 200 millions d'années, alors que 7 % des terres en ont plus de 2,5 milliards [1].) Considérez les continents comme l'écume qui bouillonne sur le plan d'eau au-dessous d'une cascade. Le flot se déverse dessus, mais l'écume perdure.

Les continents ont commencé à se former très tôt. Au début, sur une Terre chaude, la croûte était rapidement recyclée, mais le rythme a ralenti quand la planète s'est refroidie en même temps que l'intense bombardement de météorites a pris fin, il y a de cela 4 milliards d'années. Les continents se sont agrandis avec le temps et ont plus ou moins atteint leur masse actuelle il y a 2,5 milliards d'années. Ensuite, leur recyclage s'est opéré à peu près à la même cadence que leur formation. Aujourd'hui, les plaques se déplacent lentement ; l'océan Atlantique s'élargit de 2,5 cm par an, un peu plus lentement que ne poussent les ongles.

Hormis le zircon, la roche la plus ancienne du globe est le gneiss de l'affleurement d'Acasta, au Canada. Formé à une grande profondeur, il ne nous dit pas grand-chose de ce qu'il se passait à la surface. Les roches de surface les plus anciennes sont les sédiments d'Isua, dans le sud du Groenland, qui ont subi de profondes métamorphoses. Ils se sont formés sous l'eau et nous fournissent la première preuve directe de l'existence d'océan [2]. Fait remarquable, ces dépôts sédimentaires permettent

1. HAWKESWORTH, C.J. *et al.* (2010), « The generation and evolution of continental crust », *Journal of the Geological Society*, n° 167, p. 229-248.
2. NUTMAN, A.P. (2006), « Antiquity of the oceans and continents », *Elements*, n° 2, p. 223-227.

de penser que la vie était déjà apparue au moment de leur formation. Ils ne renferment pas de fossiles, mais la composition chimique du carbone enfoui dans ces roches est caractéristique de la présence de la vie.

Les premières formes de vie ont émergé au début de l'Archéen, éon d'un milliard et demi d'années qui a suivi l'Hadéen. Le monde était très différent de ce qu'il est maintenant. D'abord, il n'y avait presque pas d'oxygène à l'état libre et le Soleil était d'un quart moins brillant[1]. À un certain moment, il y a 3,8 à 4,1 milliards d'années, sont entrés en scène des microbes producteurs de méthane, gaz à effet de serre vingt-cinq fois plus puissant que le dioxyde de carbone[2]. La teneur en méthane a augmenté et la planète s'est réchauffée[3]. Pendant plus d'un milliard d'années, jusqu'à il y a au moins 2,5 milliards d'années, la serre de méthane a maintenu les mers à l'état liquide sur la planète chauffée par le feu solaire. Si cette dense couche de gaz n'avait pas été présente dans l'atmosphère, les océans auraient gelé et il n'y aurait peut-être jamais eu l'étincelle qui a fait naître la vie ou elle aurait été étouffée dans l'œuf.

De cette première étincelle de vie il ne reste pas la moindre trace dans les roches sur des centaines de millions d'années en dehors des modifications chimiques[4]. Mais les récents progrès spectaculaires en génétique et en informatique nous permettent

1. HESSEN, D.O. (2008), « Solar radiation and the evolution of life », *in* E. Bjertness (éd.), *Solar Radiation and Human Health*, The Norwegian Academy of Science and Letters, Oslo, p. 123-136.
2. Battistuzzi, F.U. *et al.* (2004), « A genomic timescale of prokaryote evolution : insights into the origin of methanogenesis, phototrophy, and the colonization of land », *BMC Evolutionary Biology*, n° 4, p. 44, doi : 10.1186/1471- 2148-4-44.
3. Ce réchauffement est probablement dû en partie à la décomposition du méthane dans la haute atmosphère et à sa conversion en éthane, autre puissant gaz à effet de serre. HAQQ-MISRA, J.D. *et al.* (2008), « A revised, hazy methane greenhouse for the Archean Earth », *Astrobiology*, n° 8, p. 1127-1137.
4. En raison de ce manque de preuve matérielle, l'étude des premiers stades de la vie est grandement sujet à controverse et l'objet de constantes révisions à mesure que des faits nouveaux sont découverts.

de faire remonter l'arbre généalogique de la vie plus loin dans le temps et de nous approcher de ses racines. Tout être vivant, du plus humble virus à la plus grosse des baleines, partage un héritage commun, inscrit dans ses gènes. Comme Charles Darwin l'avait prédit, cette similitude nous apprend que tout ce qui vit aujourd'hui descend de l'étincelle de vie originelle. Les gènes qui encodent les diverses fonctions métaboliques peuvent être situés sur l'arbre de vie pour mettre en évidence la chronologie de leur apparition et sa date approximative. Ils nous montrent les jalons évolutifs critiques que la vie a suivis et, à partir de ces événements marquants, nous pouvons déduire comment changeait l'environnement. Dans certains cas, les premières formes de vie ont dû répondre à des bouleversements planétaires, mais la plupart du temps ce sont elles qui transformaient le monde alentour.

Dans les profondeurs de la mer, des sources chaudes sous forte pression vomissent de l'eau extrêmement chaude, de 300 à 400 °C, si chargée en minéraux que le jet est noir ou blanc opaque. Elles forment, à proximité, des dépôts riches en composés métalliques qui pourraient avoir catalysé d'importantes réactions chimiques. De nos jours, ces sources chaudes entretiennent de foisonnantes communautés dont la vie dépend entièrement de l'énergie provenant de réactions chimiques accomplies par des microbes. On a donc là un vestige du mode de subsistance des premiers microbes et peut-être même une indication de l'endroit où la vie est apparue.

Pendant plus de trois milliards d'années, la planète a été dominée par des cellules isolées et une couche de biofilm. Il est difficile de concevoir une échelle de temps aussi vaste. Afin de vous en faire une idée, imaginez que chacune de ces années n'a duré qu'une seconde ; il faudrait donc quatre-vingt-quinze ans pour qu'il s'en écoule trois milliards. Les microbes évoluent vite, car leurs générations se succèdent à un rythme rapide. Même en tenant compte du fait que les océans de l'Archéen étaient probablement beaucoup moins productifs que les nôtres, des centaines de milliards de générations ont eu le temps de

Extrait de la publication

se succéder[1]. Chaque génération nouvelle offrait la possibilité de variations qui étaient la matière première de l'innovation évolutive. Ce fut une période d'inventivité extraordinaire, pendant laquelle ont été posées les bases de presque tout ce dont la vie est capable aujourd'hui.

Très tôt les microbes ont acquis la capacité de produire de l'énergie en convertissant en sulfates le sulfure d'hydrogène – le gaz qui donne leur odeur aux œufs pourris et jaillit des sources chaudes du fond de la mer[2]. C'était une étape décisive. Certains ont mis au point des mécanismes chimiques complexes pour capter l'énergie solaire et accomplir sa conversion en eau peu profonde : la photosynthèse était née. Les microbes ne se fossilisent pas facilement, mais ils se pétrifient dans des roches siliceuses appelées chert. Les premiers fossiles sont des microbes filamenteux microscopiques enchâssés dans des cherts australiens vieux de 3 à 4,5 milliards d'années, dont l'interprétation est cependant sujette à controverse[3]. Ils ressemblent à des cyanobactéries, groupe encore commun aujourd'hui. Ce sont ces micro-organismes qui par la suite mettront au point la photosynthèse, la méthode de génération d'énergie à partir de la lumière solaire qui, de nos jours, domine toute la production primaire. Ils utilisaient l'énergie solaire pour créer des composés carbonés – en d'autres termes, de la nourriture – issus de dioxyde de carbone, le gaz carbonique, et d'eau. Le déchet de cette conversion était l'oxygène.

Les premières traces chimiques de photosynthèse productrice d'oxygène ont été découvertes dans des schistes argileux datant de 2,7 milliards d'années riches en matière organique[4]. Nous

1. Selon les meilleures estimations, dans un lointain passé les océans étaient des dizaines ou des centaines de fois moins productifs qu'aujourd'hui.
2. CANFIELD, D.E. *et al.* (2006), « Early anaerobic metabolisms », *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, n° 361, p. 1819-1836.
3. CANFIELD, D.E. (2005), « The early history of atmospheric oxygen : homage to Robert M. Garrels », *Annual Reviews of Earth and Planetary Science*, n° 33, p. 1-36.
4. BUICK, R. (2008), « When did oxygenic photosynthesis evolve ? », *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, n° 363, p. 2731-2743.

devons à cette innovation le fonctionnement actuel du monde, car cette forme de photosynthèse a produit presque tout l'oxygène à l'état libre contenu aujourd'hui dans l'atmosphère. Des centaines de millions d'années ont été nécessaires pour qu'en soit émise une quantité permettant d'en détecter les traces. Les schistes argileux sombres de Mount McRae, en Australie-Occidentale, déposés il y a 2,5 milliards d'années, nous apportent la première bouffée d'oxygène [1].

Peu après (du moins en termes géologiques puisqu'il a fallu encore 50 millions d'années), la présence d'oxygène devient décelable dans des roches partout dans le monde. Les géologues ont appelé la période de 150 millions d'années suivante la Grande Oxydation, parce qu'elle représente la première étape majeure de la formation de l'atmosphère telle que nous la connaissons aujourd'hui. Loin d'être une bénédiction (il le sera plus tard), l'oxygène a d'abord provoqué une crise planétaire. Lorsque l'oxygène et le méthane se combinent, il en résulte du gaz carbonique et de l'eau. Le gaz carbonique est un gaz à effet de serre vingt-cinq fois moins puissant que le méthane ; la couche protectrice de la Terre a donc perdu de son efficacité et la planète a gelé.

Selon certains scientifiques, cette période glaciaire a été si rigoureuse que la mer et les continents se sont recouverts de glace jusqu'aux tropiques [2]. Lorsque la glace se forme à des latitudes inférieures à 30°, elle réfléchit tant de chaleur dans l'espace que la glaciation s'emballe. Certaines simulations du monde d'alors donnent à penser que les océans ont gelé jusqu'à 1 000 m de profondeur. Cette glace ne reculera qu'après que des millions d'années d'activité volcanique eurent ajouté assez de gaz carbonique dans l'atmosphère pour réchauffer la Terre et la fasse fondre. On a peine à comprendre comment la vie a pu se

1. ANBAR, A.D. *et al.* (2007), « A whiff of oxygen before the great oxidation event ? », *Science*, n° 317, p. 1903-1906.
2. KOPP, R.E. *et al.* (2005), « The Paleoproterozoic snowball Earth : a climate disaster triggered by the evolution of oxygenic photosynthesis », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, n° 102, p. 11131-11136.

maintenir sur une planète transformée en boule de neige ; une des possibilités est que l'inclinaison de la Terre par rapport au Soleil était différente à l'époque, de sorte que les pôles étaient plus chauds que les tropiques, et que certaines régions ont été épargnées par les glaces pendant ce grand refroidissement[1]. Autre hypothèse : les conditions météorologiques ont permis à certaines parties de l'océan de ne pas geler.

Les océans de jadis ne nous auraient pas donné envie d'y faire trempette. On estime qu'aux périodes hadéenne et achéenne ils étaient riches en fer dissous et anoxiques, c'est-à-dire dépourvus d'oxygène. Le fer provenait des sources chaudes sous-marines et des roches exposées aux intempéries. En l'absence d'oxygène, le fer se dissout et est facilement lessivé vers la mer, alors qu'en sa présence il s'oxyde et tend à rester sur place. Les premiers microbes se sont servis de ce fer. Ils ont mis au point des moyens d'utiliser l'énergie solaire pour oxyder le fer libre et fabriquer de la nourriture à partir de gaz carbonique et d'eau. Le fer était précipité au fond des mers, où il formait d'épais dépôts, appelés gisements de fer rubané[2].

Une coupe de fond marin datant de 2,5 milliards d'années trône chez moi sur une étagère. Elle n'a que 1 cm d'épaisseur mais est étonnamment lourde. Des couches sinueuses de silice brun rouille, jaune et orange alternent avec des bandes sombres, noires et grises, de magnétite. Des couches plus épaisses d'œil-de-tigre, une variété de quartz, comblent les vides là où la roche a été par la suite distordue et déformée par la pression. C'est un objet superbe. Je trouve fantastique de pouvoir promener le doigt sur ce fragment tiré de notre océan primitif. La plupart des gisements de fer rubané ont été depuis longtemps recyclés

1. WILLIAMS, D.M. *et al.* (1998), « Low-latitude glaciation and rapid changes in the Earth's obliquity explained by obliquity-oblateness feedback », *Nature*, n° 396, p. 453-455.
2. KAPPLER, A. *et al.* (2005), « Deposition of banded iron formations by anoxygenic phototrophic Fe(II)-oxidising bacteria », *Geology*, n° 33, p. 865-868.

dans le manteau de la Terre, mais quelques sections de l'ancien fond marin sont restées prisonnières des formations rocheuses d'Australie, du Canada, de Russie et d'ailleurs, et elles comptent parmi les sources de minerai de fer les plus riches du monde. Ces gisements rubanés ne se trouvent généralement que dans des roches de plus de 2,4 milliards d'années. Ils disparaissent pendant les 400 millions d'années suivantes. On a longtemps cru que l'oxygène libre produit par les cyanobactéries avait été dissous dans l'océan et l'avait dépouillé de son fer, mais une autre possibilité, fondée sur la chimie des dépôts rocheux, semble maintenant plus probable. Donald Canfield, géobiologiste à l'esprit universel basé au Danemark, pense que, sous une mince couche de surface, la mer a été dépourvue d'oxygène pendant des centaines de millions d'années après que ce gaz eut commencé à s'échapper dans l'atmosphère. Son idée est que l'oxygène a réagi avec le sulfure contenu dans les roches terrestres et a été lessivé dans la mer sous forme de sulfate. Ce sulfate, et non l'oxygène, aurait dépouillé les océans de leur fer. La Grande Oxydation n'aurait touché la haute mer qu'un milliard d'années plus tard.

Pourquoi a-t-il fallu si longtemps pour ventiler les profondeurs de l'océan ? Les taux d'oxygène dans l'atmosphère étaient encore très bas, pas plus de 1 % de la concentration actuelle. Nous aurions suffoqué en un rien de temps. L'oxygène est transporté dans les profondeurs de la mer quand ses eaux de surface plongent, mais il s'épuise en décomposant la matière organique – autrement dit, les microbes morts – qui sombre vers le fond. Une petite quantité de cette matière organique suffit pour éliminer l'oxygène des profondeurs plus vite qu'il n'est remplacé. Il n'en reste pas moins difficile d'expliquer comment les eaux profondes ont pu rester sans oxygène pendant un laps de temps aussi immense après l'avènement de la photosynthèse qui le génère. Les premiers producteurs d'oxygène vivaient dans des eaux peu profondes ensoleillées. À l'instar des organismes vivants actuels, ils avaient besoin pour se développer de nutriments autant que de soleil. Comme la plupart des substances nutritives sombrent avec les cadavres des microbes, elles

doivent être recyclées par la remontée des eaux profondes. Une idée nouvelle captivante est que les eaux anoxiques, riches en sulfure d'hydrogène, remontaient dans la couche supérieure ensoleillée[1], où elles atteignaient des photosynthétiseurs qui consommaient entièrement le sulfure d'hydrogène sans libérer d'oxygène et interceptaient la plupart des nutriments avant qu'ils n'arrivent jusqu'aux cellules productrices d'oxygène plus proches de la surface[2]. Il y a cependant un autre rebondissement dans cette histoire de nutriments. Très tôt, la vie a incorporé du fer et du molybdène dans les enzymes qui fixent l'azote, se procurant ainsi l'une des substances nutritives qui lui sont essentielles. Les mers sulfureuses devaient contenir très peu de ces deux métaux, car ils auraient réagi avec le sulfure d'hydrogène et se seraient déposés dans le fond de la mer. Apparemment, donc, ce sont ces bizarreries de l'océanographie et de l'approvisionnement en éléments nutritifs qui ont retardé l'oxygénation de la planète pendant extrêmement longtemps.

Il existe des endroits où la photosynthèse basée sur le sulfure se poursuit encore aujourd'hui. La mer Noire est une cuvette presque entièrement fermée et couverte d'une couche de surface ensoleillée chaude moins dense que les eaux du dessous. Un très faible pourcentage d'oxygène de cette couche superficielle se mélange avec elles, si bien qu'au-dessous de 150 m, la mer Noire a été totalement dépourvue d'oxygène pendant des milliers d'années. Si l'on prélevait un échantillon de ces eaux profondes, il sentirait l'œuf pourri, comme probablement les océans sulfureux des temps anciens. Lorsque cette eau anoxique approche de la surface, des bactéries sulfureuses pourpres et vertes mettent à profit la lumière solaire pour produire nourriture et énergie, ainsi que le faisaient leurs prédécesseurs il y a des éons.

Il est difficile de savoir si tous les océans de la planète ont été jadis sulfureux comme la mer Noire actuelle. La plupart

1. ANBAR, A.D. et KNOLL, A.H. (2002), « Proterozoic ocean chemistry and evolution : a bioinorganic bridge ? », *Science*, n° 297, p. 1137-1142.
2. Le sulfure est toxique pour les cellules productrices d'oxygène, qui sont donc absentes des couches inférieures.

des roches qui pourraient nous renseigner ont été depuis longtemps recyclées dans le manteau et il reste donc peu d'endroits où rechercher des indications. Ce que nous savons, c'est qu'il y a 800 ou 900 millions d'années les conditions ont commencé à changer. Le « milliard d'années barbant » des paléontologues prenait fin. On a assisté à ce moment-là à une modification de la chimie des océans, dont la composition s'est rapprochée de celle des océans actuels. Vers cette époque, une phase d'intense surrection des montagnes pourrait avoir amélioré l'approvisionnement des eaux de surface en nutriments à l'état de traces, permettant aux producteurs d'oxygène de prospérer. La concentration d'oxygène augmentant dans l'atmosphère, la mer a été ventilée au-delà de la limite inférieure des couches ensoleillées, ce qui a mis un terme à l'hégémonie des bactéries sulfureuses et a libéré davantage de substances nutritives pour les producteurs d'oxygène. Cela préparait le terrain à la grande innovation suivante de la vie : la multicellularité.

Lorsque Charles Darwin a écrit *De l'origine des espèces*, les archives fossiles semblaient se terminer en queue de poisson au début de la grande explosion du Cambrien, moment de l'irruption des formes de vie dotées de parties dures qui se fossilisent facilement. Avant cela, rien : les roches paraissaient muettes. C'était comme si tout à coup un prestidigitateur avait sorti de son chapeau une ménagerie d'organismes primitifs qui se seraient ensuite diversifiés en tous les êtres vivants ultérieurs. Il a fallu cent cinquante ans de recherches intensives pour trouver les ombres énigmatiques de la vie antérieure, pour l'essentiel microbienne et cependant bien présente. Darwin aurait aimé savoir ce que nous savons aujourd'hui.

L'oxygénation de l'atmosphère terrestre a été un événement clé dans l'histoire de la vie. Un métabolisme fondé sur la respiration de l'oxygène produit seize fois plus d'énergie que ses équivalents anoxiques. Lorsque l'oxygène libre est devenu disponible, il a ouvert d'immenses possibilités qui n'ont pas tardé à se réaliser. On a retrouvé la trace des premières enzymes utilisatrices d'oxygène en remontant l'évolution des protéines grâce

aux dernières bibliothèques de séquences génétiques et à de puissantes techniques informatiques. Bien qu'il y ait fort peu de fossiles précambriens, en un certain sens chacun de nous renferme une bibliothèque fossile de gènes remontant à l'Archéen, il y a des milliards d'années. L'évolution des formes changeantes des protéines se présente comme une horloge moléculaire qui donne l'« heure » d'apparition des innovations. Les premiers pas hésitants vers l'usage de l'oxygène libre semblent avoir été faits il y a 2,9 milliards d'années, 400 millions d'années avant l'apparition dûment attestée d'oxygène libre dans les roches [1]. Les protéines impliquées dans le métabolisme de l'oxygène se sont multipliées rapidement pendant la Grande Oxydation. Puis, il y a environ 542 millions d'années, l'utilisation de l'oxygène a connu une nouvelle vague d'innovations qui s'est poursuivie jusqu'à l'explosion de vie du Cambrien. À l'orée de l'ère cambrienne, il y a 542 millions d'années, la concentration de l'oxygène atmosphérique atteignait 12 % de son taux actuel.

L'oxygène est produit par photosynthèse lors de la création de matière organique et consommé à la fois par la respiration et la décomposition de cette matière. Si les deux termes de l'équation étaient rigoureusement égaux, la concentration d'oxygène dans l'air n'augmenterait pas. Mais une partie de la matière organique est enfouie dans le fond de la mer et des lacs ou dans les marais. Dans les derniers temps qui ont précédé l'ère cambrienne, moment auquel les taux d'oxygène dans l'atmosphère se sont élevés, l'enfouissement de la matière organique a dû s'accélérer. L'oxygène libre est également émis quand le sulfate se combine au fer pour produire du sulfure ferreux (pyrite). Par conséquent, l'augmentation du rythme d'enfouissement de la pyrite contribue aussi à l'oxygénation de la planète. On ne sait pas exactement ce qui a provoqué l'accélération de l'enfouis-

1. Les premiers utilisateurs de l'oxygène l'ont peut-être obtenu de la décomposition de l'eau oxygénée. DISMUKES, G.C. *et al.* (2001), « The origin of atmospheric oxygen on Earth : the innovation of oxygenic photosynthesis », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, n° 98, p. 2170-2175.

Extrait de la publication

sement, mais on estime que l'oxygénation des océans a joué un rôle essentiel.

Quelle qu'en soit la cause, de nombreux scientifiques pensent que l'élévation des taux d'oxygène a ouvert la voie à l'explosion de la vie. Les deux vont de pair. Les animaux aérobies de grande taille ont besoin d'une quantité suffisante d'oxygène pour ventiler leurs tissus. Leur quasi-absence pendant les 3 milliards d'années précédents de la vie sur Terre s'expliquerait simplement parce qu'un corps de grande dimension n'est pas viable tant que les taux d'oxygène n'ont pas atteint un niveau suffisant pour alimenter une telle masse.

Le Cambrien a été une période d'étonnante créativité évolutive. En 20 millions d'années, on peut déceler dans la roche l'apparition de presque toutes les principales classes d'animaux vivant aujourd'hui. Si chaque période se caractérise par ses créatures les plus prospères, celle-ci a été l'ère des arthropodes, qui se distinguent par leur exosquelette et leurs pattes articulées. Insectes, crabes, langoustes, mille-pattes, araignées et autres sont tous leurs descendants actuels. Ce sont cependant les trilobites, maintenant disparus, qui définissent le mieux la période cambrienne. Les mers cambriennes regorgeaient d'une diversité ahurissante de ces créatures au corps aplati, véloces bien que revêtues d'une armure articulée de plaques corporelles et d'un casque parfois ornés avec extravagance de pointes, d'épines et de cornes, d'yeux composés à cristallin. Les trilobites avaient de bonnes raisons de se doter de telles défenses, car les prédateurs ne manquaient pas. On peut présenter l'explosion du Cambrien comme une course aux armements dans laquelle certains s'évertuaient à s'échapper ou à repousser les prédateurs, tandis que d'autres peaufinaient l'art et la manière d'attraper leurs proies. Pâture et prédation ont fait leur apparition des centaines de millions d'années avant le Cambrien, mais c'est là que la capacité d'engloutir de grosses proies s'est fermement établie. Les bases des réseaux trophiques modernes ont été posées dans les mers du Cambrien au cours d'une période qui a pris fin il y a 488 millions d'années.

À mesure que la vie se diversifiait, une série de crises écologiques a élagué la cime croissante de l'arbre de vie. Au moment même où l'atmosphère devenait plus respirable, l'anoxie revenait en force dans les océans et les mers sulfureuses réapparaissaient [1]. Le phénomène qui semble s'être produit dans ces eaux privées d'oxygène s'est manifesté jusque sur les plateformes continentales peu profondes, peut-être à la suite d'une hausse du niveau de la mer, et a éliminé quantité de trilobites et autres créatures marines. Paradoxalement, ces crises ont pu provoquer une augmentation des taux d'oxygène atmosphérique. L'anoxie des océans du Cambrien est liée à une productivité accrue en surface et à un enfouissement de carbone organique plus important. Fèces, plantes et animaux morts sombrent et quittent plus vite les couches supérieures ensoleillées que les microbes des mers plus anciennes, entraînant avec eux davantage de carbone, surtout dans les eaux anoxiques, où la décomposition s'effectue lentement. Cela stimule la production d'oxygène libre.

La formation des écosystèmes océaniques modernes doit également son nouveau bond en avant à l'élévation du taux d'oxygène. Il peut paraître surprenant que l'existence des requins soit liée à l'évolution des plantes vasculaires terrestres [2]. Ces plantes ont été les premières à développer des organes différenciés comme les feuilles, les racines et les tiges, ainsi qu'une architecture complexe de conduits pour acheminer l'eau, les substances nutritives et les aliments à travers leurs systèmes. Cette catégorie de végétaux comprend les fougères, les pieds-de-loup, les conifères et les plantes à fleurs, ces dernières étant apparues beaucoup plus tard. Les plantes vasculaires sont entrées en scène il y a environ 420 millions d'années et, au cours des 30 millions

1. GILL, B.C. *et al.* (2011), « Geochemical evidence for widespread euxinia in the Later Cambrian ocean », *Nature*, n° 469, p. 80-83.
2. DAHL, T. *et al.* (2010), « Devonian rise in atmospheric oxygen correlated to the radiations in terrestrial plants and large predatory fish », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, n° 107, p. 17911-17915 ; LENTON, T.M. (2001), « The role of land plants, phosphorus weathering and fire in the rise and regulation of atmospheric oxygen », *Global Change Biology*, n° 7, p. 613-629.

d'années qui suivirent, elles ont déployé des racines pour puiser les nutriments dans le sol et stabiliser des formes de croissance plus importantes. Il y a 370 millions d'années, les plantes avaient revêtu les continents d'un enchevêtrement de verdure luxuriante.

Quel rapport avec les requins ? me direz-vous. Ce sont en fait les racines, ainsi que d'autres procédés destinés à l'extraction des substances nutritives, qui ont accéléré le circuit du phosphate, nutriment essentiel aux végétaux, de la terre jusqu'à la mer ; la productivité marine a grimpé en flèche, permettant l'allongement des chaînes alimentaires et l'apparition de prédateurs plus gros. Simultanément, les plantes terrestres accroissaient massivement l'enfouissement du carbone organique dans les marais et, par ruissellement, dans les sédiments marins. Cela amena la concentration en oxygène à des niveaux similaires à ce qu'elle est maintenant (21 % de l'air), niveaux qui se sont maintenus, à 5 % près, pendant la majeure partie des 350 derniers millions d'années. Dès lors que le manque d'oxygène ne fut plus un obstacle, les prédateurs actifs, qui ont d'importants besoins en oxygène, purent entrer en lice.

Les mers du Précambrien tardif hébergeaient déjà des animaux d'un mètre de longueur, il y a 580 millions d'années. C'étaient probablement des sédentaires brouteurs ou détritivores. Quatre-vingts millions d'années après, la diversité s'était accrue et des chasseurs de la taille d'un petit enfant firent leur apparition. Cent millions d'années plus tard, les mers se remplissaient de poissons primitifs, dont les placodermes lourdement cuirassés. Il y a 370 millions d'années, certains étaient devenus des animaux terrifiants, grands comme des autocars. La mégafaune prédatrice était née. Au cours des 120 millions d'années qui suivirent, elle s'enrichit des requins et de reptiles comme les ichtyosaures, les plésiosaures et les tortues. Ce n'est que récemment, presque hier à l'échelle des temps géologiques, que l'expansion de la faune prédatrice a atteint son apogée. Au Miocène, période comprise entre 23 et 5 millions d'années, des requins géants de la taille de grandes baleines sillonnaient les mers et des baleines en mangeaient d'autres. De redoutables

Extrait de la publication

cachalots qui faisaient la même taille que ceux d'aujourd'hui, étaient équipés de dents trois fois plus grosses. Ils furent baptisés *Livyatan melvillei*, en souvenir de la baleine blanche mythique de Herman Melville[1].

La présence de prédateurs si énormes permet de supposer que les mers étaient plus productives que maintenant. En fait, la vie océanique a connu bien des hauts et des bas au cours des derniers 500 millions d'années. Sa variété a augmenté progressivement, mais irrégulièrement et non par simple ajout de nouvelles espèces à l'inventaire existant. L'immense majorité des espèces qui ont vécu sur Terre ont disparu. Cinq extinctions massives ont suivi plusieurs crises, qui ont éliminé la plupart des trilobites pendant le Cambrien, peut-être à cause de la réapparition des océans anoxiques[2]. La plus dévastatrice de toutes s'est produite il y a 251 millions d'années, à la fin du Permien. À ce moment-là, les fossiles de plus de 90 % des espèces marines et de deux tiers des espèces terrestres ont purement et simplement disparu des roches. Avant l'extinction permienne, les sédiments des fonds marins étaient pleins d'animaux fouisseurs qui les retournaient sans fin. Après, les sédiments n'ont presque plus bougé.

Les causes de ce cataclysme restent l'objet de débats passionnés, mais il s'agit probablement d'un épisode volcanique d'un demi-million d'années qui aurait déversé 2 millions de mètres cubes de basalte à la surface de l'actuelle Sibérie[3]. La lave a recouvert une zone de 1,6 million de kilomètres carrés sur une épaisseur atteignant 3 000 m. Elle a traversé des couches de roches carbonatées et de charbon, libérant ainsi dans l'atmosphère d'énormes quantités de gaz carbonique. Avant cela, le taux de gaz carbonique avait été divisé par

1. LAMBERT, O. *et al.* (2010), « The giant bite of a new raptorial sperm whale from the Miocene epoch of Peru », *Nature*, n° 466, p. 105-108.
2. GILL *et al.* (2011), *op. cit.*
3. BENTON, M.J. et TWITCHETT, R.J. (2003), « How to kill (almost) all life : the end-Permian extinction event », *Trends in Ecology and Evolution*, n° 18, p. 358-365.

dix depuis le Cambrien et la perte de ce gaz à effet de serre avait provoqué une glaciation qui avait duré plus de 60 millions d'années.

La chaleur était maintenant de retour. À mesure qu'augmentait la concentration en dioxyde de carbone, la planète se réchauffait et, à mesure qu'elle se réchauffait, les calottes glaciaires fondaient. Les températures atteignirent 6 °C de plus que ce que l'on connaît aujourd'hui. Le niveau de la mer a monté et une agréable douceur – de 15 à 20 °C – régnait dans l'Arctique [1]. Pour des raisons sur lesquelles nous reviendrons, cela a ralenti temporairement le brassage des fonds océaniques et l'eau stagnante s'est réchauffée sur toute sa profondeur. La douceur ambiante a fait fondre d'énormes dépôts de méthane polaires et sous-marins, provoquant un emballement du réchauffement planétaire. Les plantes terrestres dépérirent et les sols s'érodèrent. La mer stagnante devint entièrement anoxique, sauf en surface. En même temps, le gaz carbonique dissous augmenta son acidité, ce qui, là encore pour des raisons que nous explorerons plus tard, fut désastreux pour des organismes vivants calcaires comme les coraux, les oursins, certaines algues et éponges [2]. L'extinction de masse de la fin du Permien a presque anéanti la vie sur Terre. Mais elle a repris. En moins de 10 millions d'années, les océans s'étaient remplis d'espèces nouvelles.

Cette planète, qui fonce dans le vide de l'espace depuis 4,5 milliards d'années, nous est à la fois si étrangère et si familière ! J'aimerais appuyer sur une touche « Avance rapide » pour voir les continents surgir, vagabonder, se joindre et se disloquer, les mers monter et descendre, les déserts et les calottes glaciaires aller et venir. Dans le ventre des océans, des créatures extravagantes et familières, bizarres et terrifiantes

1. KIDDER, D.L. et WORSLEY, T.R. (2004), « Causes and consequences of extreme Permo-Triassic warming to globally equable climate and relation to the Permo-Triassic extinction and recovery », *Palaeo*, n° 203, p. 207-237.
2. KNOLL, A.H. *et al.* (2007), « Paleophysiology and end-Permian mass extinction », *Earth and Planetary Science Letters*, n° 256, p. 295-313.

apparaissent et disparaissent. D'énormes récifs sont construits, détruits et rebâtis. Au sein de toute cette étrangeté et inconstance nagent tortues et requins, nautiles et méduses, à peine modifiés, tel un fil conducteur déroulé à travers le temps. Juste avant la fin de la bande, nous apparaissons. Chacun de nous porte en lui ce fil. Nous sommes des créatures de la mer, notre lignage remonte aux éponges et, au-delà, aux organismes unicellulaires et aux origines de la vie. Le reste de ce livre raconte ce qu'il est arrivé aux océans depuis notre venue.

2

Une mer nourricière…

L'anthropologie et l'archéologie ont longtemps fait des premiers hommes des chasseurs de gros gibier des plaines. L'idée était qu'après avoir vécu dans les arbres nous avions pris pied dans la savane et commencé à marcher sur nos deux jambes. Esprit vif et ingéniosité étaient nécessaires pour prospérer à terrain découvert, où nous devions repousser les attaques de dangereux carnivores ; notre bipédie a donc libéré nos mains pour tenir des outils et des armes. Notre cerveau volumineux nous a permis ensuite de développer le langage, qui a ouvert la possibilité de concevoir des techniques et donné naissance à la culture.

Cette vision des origines de l'homme a une certaine tonalité mythique : elle donne à penser que notre courageuse espèce est sortie victorieuse d'une lutte héroïque qui semblait perdue d'avance[1]. Mais le scénario présente des lacunes. Les babouins vivent dans la savane et ne sont pas pour autant devenus des bipèdes d'une brillante intelligence ; quant à nous, nous témoignons d'un ensemble d'adaptations qui ne riment pas à grand-chose en l'absence d'eau. Nous sommes lestés de dix fois plus de graisse sous-cutanée que d'autres primates (nous sommes à peu près aussi gras que le rorqual commun), ce qui ne favorise pas particulièrement l'endurance de chasseurs contraints de

1. Landau, M. (1984), « Human evolution as narrative », *American Scientist*, n° 72, p. 262-267.

poursuivre leurs proies, mais, en revanche, nous isole de l'eau. L'*Homo erectus* possède des os denses, plus proches de ceux de mammifères marins comme le lamantin que de ceux des chasseurs des plaines au pied léger. Nous sommes sujets à la déshydratation, trait peu courant chez les habitants de la savane, et, quand nous plongeons dans l'eau, nous retenons instinctivement notre respiration. Le seul autre primate à pratiquer régulièrement la bipédie est le nasique, qui patauge dans les eaux marécageuses sur ses membres postérieurs. Est-il possible que notre bipédie soit une adaptation aquatique développée en marchant dans l'eau pour ramasser des coquillages ?

Le médecin Marc Verhaegen et ses collègues ont récemment remis au goût du jour le concept de l'homme en tant que « grand singe aquatique [1] ». Verhaegen pense que l'*Homo erectus* a évolué au bord de l'eau et appliqué certaines techniques, élaborées par les espèces ancestrales vivant dans les forêts pour peler les fruits et casser les noix, à un nouvel usage : briser la carapace des coquillages, des tortues et des crabes.

Les coquillages sont faciles à trouver et à ramasser ; en outre, sans être particulièrement riches en calories (il faudrait 150 000 coques pour atteindre le contenu calorique d'un grand cerf !), ils le sont en protéines et autres substances nutritives nécessaires au développement du cerveau. Le système nerveux, qui a fait son apparition dans les océans il y a un demi-milliard d'années, est en partie formé d'acides gras oméga-3 produits par les algues et le plancton. Ces constituants sont peu abondants en milieu terrestre, ce qui contribue à expliquer pourquoi le rhinocéros, qui pèse une tonne, a un cerveau de deux tiers inférieur au nôtre, alors que des mammifères marins comme le dauphin possèdent un gros cerveau. Les théories qui ont situé l'évolution humaine dans la savane suggèrent que nous nous serions procuré les aliments indispensables au cerveau en consommant celui de mammifères terrestres que nous aurions abattus ou

1. VERHAEGEN, M. *et al.* (2007), « The original econiche of the Genus Homo : open plain or waterside ? », *in* S.I. MUNOZ (éd.), *Ecology Research Progress*, Nova Science Publishers, New York, p. 155-186.

trouvés morts ; mais il était plus facile et plus sûr de les obtenir au bord de l'eau en ramassant des coquillages et des œufs ou en capturant des oiseaux de mer et des tortues.

Il a été difficile de se défaire de la conception de l'homme chasseur de gros gibier. Les musées figent la pensée dans des dioramas qui restent en place pendant des décennies et impriment leurs versions dans l'esprit de générations de visiteurs. J'ai toujours en mémoire les images, vues dans mon enfance, représentant des hommes râblés et velus, vêtus de peaux de bêtes, abattant un bison ou une antilope d'un air triomphant. La scène était généralement campée dans la savane et faisait parfois allusion à notre dépendance vis-à-vis de l'eau en montrant à l'arrière-plan un lac ou une rivière. Comme Verhaegen le fait remarquer, le stade de l'homme chasseur dans la savane est une image antérieure à presque toutes les découvertes fossiles des premiers hominiens [1]. Selon lui, tous les fossiles d'*Homo* trouvés avant ou depuis l'ont été à proximité de lacs, de rivières, de deltas ou de côtes. Le concept de singe aquatique est largement contesté en anthropologie ; il me semble cependant plus convaincant que la logique alambiquée expliquant notre évolution sur les plaines poussiéreuses d'Afrique.

Les premiers restes du genre *Homo*, qui datent de 2 à 2,5 millions d'années, proviennent d'endroits où l'eau est présente, comme la zone inondable de Gona, en Éthiopie, et les sources d'eau douce proches du lac d'Olduvaï, au Kenya. Nous n'avons gagné la côte que plus tard. Il y a 2,8 millions d'années environ, l'Afrique, comme le reste du monde, a subi d'importants bouleversements climatiques au cours desquels le continent a connu des phases prolongées d'aridité et d'inhospitalité, puis des phases plus humides au climat plus varié. Les phases humides verdissaient le désert du Sahara, ouvrant peut-être ainsi des routes hors d'Afrique, alors que les phases arides repoussaient nos

1. Le terme hominien a récemment remplacé hominidé. Il inclut les humains et tous leurs ancêtres, alors qu'hominidé renvoie aux grands singes (dont nous faisons partie) et à leurs ancêtres.

ancêtres dans des petites poches de terres encore hospitalières. L'une d'elles était l'Afrique australe, où les humains ont pris goût aux produits de la mer. Nos gènes abondent dans ce sens et situent les racines de notre arbre généalogique en Angola et en Namibie [1].

Pinnacle Point Cave 13B – on dirait l'adresse d'un appartement en copropriété –, sur les côtes de l'Afrique du Sud, a été occupée périodiquement pendant trente mille ans. Cette grotte est d'une importance capitale, car elle a hébergé quelques-uns des premiers humains modernes, *Homo sapiens sapiens* [2]. Elle se trouve aujourd'hui sous le neuvième trou du luxueux golf de Pinnacle Point, et ce sont des résidences plus au goût du jour qui bordent les falaises. Dans les profondeurs de la grotte, d'épais dépôts marquent le passage du temps et retracent l'éveil de l'humanité. Au tout début, il y a 164 000 ans, des tessons ocres rouge vif signalent la première utilisation de pigment, sans doute à des fins ornementales. Des rainures entrecroisées sur l'un de ces tessons suggèrent l'émergence d'un art symbolique et l'usage de petits outils pointus en pierre. Dans la grotte de Blombos, plus à l'ouest sur la côte, les archéologues ont trouvé des bijoux confectionnés il y a 75 000 ans avec des petits coquillages perforés par des escargots prédateurs.

Les premiers occupants de Pinnacle Point se nourrissaient de coquillages ramassés à marée basse et la plus grande partie des dépôts recouvrant le sol de la grotte sont des amoncellements de coquilles. Des coquillages étaient également consommés à Blombos il y a 140 000 ans et ont joué un rôle important pendant toute la période où la grotte a été habitée [3]. (Pour avoir passé un été en compagnie d'un étudiant dont les recherches l'amenaient à fouiller dans des monceaux de coquillages en

1. TISHKOFF, S.A. *et al.* (2009), « The genetic structure and history of Africans and African Americans », *Science*, n° 324, p. 1035-1044.
2. MAREAN, C.W. *et al.* (2007), « Early human use of marine resources and pigment in South Africa during the Middle Pleistocene », *Nature*, n° 449, p. 905-908.
3. Bien que la grotte de Blombos ait été occupée très longtemps, elle n'a pas été habitée aussi tôt que celle de Pinnacle Point.

décomposition, je peux vous assurer que l'odeur aurait mis à rude épreuve les individus le plus solidement constitués.) Des arêtes de spares nasiques et de mulets, poissons qui suivent la marée montante pour attraper leurs proies, ont fait leur apparition à Blombos il y a 77 000 ans. Puisque aucun hameçon n'a été trouvé avec leurs arêtes, on suppose qu'ils étaient pêchés à la lance ou à la main, à moins qu'ils n'aient été attirés en eau peu profonde par des appâts formés d'oursins ou de coquilles cassés, puis transpercés à coups de lance à pointe d'os. Nous avons également découvert à Pinnacle Point les traces des progrès de nos ancêtres, qui comprirent il y a déjà 71 000 ans que la chaleur pouvait aider à la fabrication d'outils en pierre tels que les pointes de lance[1].

Depuis la lointaine apparition de nos ancêtres africains, la recherche de la nourriture s'est faite par la chasse et la pêche au gros. La première indication d'une consommation d'aliments d'origine aquatique a été trouvée dans le nord du Kenya, où des restes de poissons, crocodiles et tortues tués ont été découverts en même temps que des outils en pierre fabriqués par les prédécesseurs d'*Homo erectus*[2]. En Afrique du Sud, dans les grottes de Blombos et de la rivière Klasies, outre le poisson et les coquillages, pingouins et phoques, dont on a exhumé les restes, s'ajoutaient à la capture d'élands, d'antilopes et de buffles.

Les grottes de Gibraltar, occupées par les Néandertaliens durant plus de trente mille ans, renferment également des ossements de phoques moines et de grands dauphins[3]. Il s'agissait probablement de carcasses de dauphins échoués sur le rivage, mais

1. BROWN, K.S. *et al.* (2009), « Fire as an engineering tool of early modern humans », *Science*, n° 325, p. 859-862.
2. BRAUN, D.R. *et al.* (2010), « Early hominin diet included diverse terrestrial and aquatic animals 1.95 Ma in East Turkana, Kenya », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, n° 107, p. 10002-10007.
3. On a longtemps cru que l'homme de Neandertal et l'homme moderne avaient cohabité en Europe. Mais de nouvelles données semblent contredire cette croyance, qui font remonter la présence des derniers Néandertaliens avant notre arrivée. Des chercheurs espagnols donnent cependant à penser que leur date de – 32 000 est assurée. Le débat va sans doute continuer.

Extrait de la publication

les phoques ont sans doute été chassés dans toute la Méditerranée ; c'étaient des proies relativement faciles à tuer sur les plages où ils se reproduisaient Les peintures paléolithiques sur les parois de la grotte Cosquer, près de Marseille, montrent des phoques moines chassés à la lance [1]. L'entrée se trouve aujourd'hui à 37 m au-dessous du niveau de la mer, ce qui témoigne de la montée des eaux après la dernière période glaciaire ; cependant, la grotte grimpe en pente jusqu'à une vaste salle restée à sec. Elle a été découverte par un plongeur français, Henri Cosquer, en 1985, mais les peintures ne l'ont été qu'en 1991, quand, accompagné de deux collègues, il a pénétré plus avant dans la grotte et repéré des images de mains humaines marquées au pochoir sur la paroi rocheuse. Des expéditions ultérieures ont révélé 177 peintures de bisons, aurochs et élans géants, pour la plupart superbes. La grotte Cosquer est presque unique en son genre par ses représentations d'espèces marines. Outre des phoques moines figurent aussi le grand pingouin, maintenant disparu, et ce qui semble être des méduses. Ces peintures, âgées d'environ 19 000 ans, ont été exécutées par les ancêtres des Européens modernes.

Jon Erlandson, archéologue à l'université de l'Oregon, estime que le recours aux produits de la mer ainsi que d'autres adaptations à la vie sur le littoral ont été essentiels à l'émigration hors de l'Afrique, nos ancêtres ayant suivi les côtes jusqu'en Asie et, par la suite, en Amérique par le détroit de Béring [2]. Les habitats côtiers très productifs trouvés en chemin, tels les récifs coralliens, les mangroves et les forêts de varech, ont dû leur fournir une nour-

---

http://news.sciencemag.org/sciencenow/2011/05/were-neandertalsandmodernhuma.html?ref=hp ; consulté le 18 mai 2011. STRINGER, C.B. *et al.* (2008), « Neanderthal exploitation of marine mammals in Gibraltar », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, n° 105, p. 14319-14324.

1. CLOTTES, J. et COURTIN, J. (1996), *The Cave Beneath the Sea : Paleolithic Images at Cosquer*, H. N. Abrams, New York.

2. ERLANDSON, J. (2001), « The archaeology of aquatic adaptations : paradigms for a new millennium », *Journal of Archaeological Research*, n° 9, p. 287-348 ; ERLANDSON, J.M. *et al.* (2007), « The kelp highway hypothesis : marine ecology, the coastal migration theory, and the peopling of the Americas », *Journal of Island and Coastal Archaeology*, n° 2, p. 161-174.

Extrait de la publication

riture abondante toute l'année. À partir de l'Asie, la population s'est dispersée à travers l'Indonésie, où des isthmes reliaient beaucoup d'endroits devenus ensuite des îles. À l'époque de cette grande migration, la planète était prise dans les glaces et le niveau de la mer fluctuait de 30 à 60 m au-dessous du niveau actuel. Des barrières aquatiques n'en existaient pas moins, la plus intimidante ayant sans doute été celle qui séparait l'Indonésie de l'Australie. Chose remarquable, elle a été franchie il y a au moins 50 000 ans. Un autre bond a permis de prendre pied sur les îles Ryukyu, au sud du Japon, il y a quelque 32 000 ans. La colonisation de l'archipel Bismarck et des îles Salomon a eu lieu il y a entre 28 000 et 35 000 ans, exigeant des traversées d'au moins 90 km, certaines n'étant pas visibles de la côte.

Le peuplement de l'Australie fournit la première indication concrète de l'usage des bateaux par l'homme moderne[1]. Aucun vestige matériel des embarcations de l'époque ne subsiste et rares sont les preuves directes de l'existence de matériel de pêche. Les objets en bois ou en fibres végétales sont depuis longtemps décomposés. Même les matériaux plus durables, comme les coquilles, qui servaient souvent à fabriquer des hameçons, ne peuvent se conserver que dans certaines conditions. Dans la plupart des cas, ils se sont dissous ou désagrégés.

Au cours des 125 000 dernières années, la Terre a été pour l'essentiel recouverte de glace. Les couches de glace accumulées sur les continents ont abaissé le niveau de la mer de 150 m. Le début du réchauffement de la planète, il y a 20 000 ans environ, a provoqué la montée des eaux, qui s'est poursuivie jusqu'à ce que les niveaux actuels soient atteints, il y a 6 000 ans. La plupart des traces matérielles de notre vie sur le littoral

1. Il existe des preuves de voyages par mer antérieurs d'autres hominiens. Par exemple, *Homo erectus* a réussi à gagner l'île de Flores, en Indonésie, il y a 700 000 ou 800 000 ans, en deux ou trois courtes traversées qui ne l'ont jamais obligé à quitter la terre de vue. De même, les Néandertaliens ont probablement effectué de brèves traversées en Méditerranée il y a plus de 22 000 ans (ERLANDSON [2001], *op. cit.*).

dans la période comprise entre – 15 000 et – 120 000 ans ont été balayées ou submergées.

Comment pêchions-nous au début ? Les premiers efforts pour attirer les poissons en eau peu profonde au moyen d'appâts ont sans doute abouti à la construction de pièges à marée en pierre. On trouve des restes desdits pièges sur la côte du Cap, en Afrique du Sud, souvent conçus pour obstruer des caniveaux naturels, bien que ces vestiges ne datent que d'un siècle tout au plus [1]. On sait que de tels pièges, sous la forme de broussailles et de pieux, remontent à quelques milliers d'années, mais le temps a effacé toute trace des plus anciens.

D'anciens témoignages remarquables de nos prouesses de pêcheurs nous viennent du Timor-Oriental, île située au nord de l'Australie [2]. À l'extrémité est de l'île, des terrasses de coraux surélevées, criblées de cavernes et de fissures, ont été occupées pendant des milliers d'années. Dans la grotte de Jerimalai, on a découvert des arêtes de poissons datant de 42 000 ans, notamment de poissons habitués des eaux côtières protégées par les récifs coralliens : poissons-perroquets, mérous et poissons-chirurgiens. On en a également trouvé provenant de poissons sans doute pêchés au large sur des bateaux, comme le thon et le requin. Bien qu'ils aient pu être attrapés du rivage, cette interprétation cadre avec l'idée que les ancêtres de ces pêcheurs ont traversé la mer pour gagner l'Australie au moins 8 000 ans auparavant.

Parmi les indications les plus détaillées du développement de la pêche on compte celles qui proviennent de grottes et de tas de coquillages trouvés dans les îles du golfe de Californie. Leurs secrets ont peu à peu été découverts au cours des deux dernières décennies, lors d'excavations effectuées par Jon Erlandson

1. HINE, P. *et al.* (2010), « Antiquity of stone-walled tidal fish traps on the Cape Coast, South Africa », *South African Archaeological Bulletin*, n° 65, p. 35-44.
2. O'Connor, S. *et al.* (2011), « Pelagic fishing at 42,000 years before the present and the maritime skills of modern humans », *Science*, n° 334, p. 1117-1121.

et ses collègues[1]. Des amoncellements d'ormeaux, d'huîtres et de palourdes à moitié enfouis dans le sable soufflé par le vent fournissent un témoignage muet du goût des Indiens d'Amérique pour les fruits de mer. Ces amoncellements datent de 12 000 ans. Les produits de la mer occupaient jadis une place si importante dans l'alimentation humaine qu'Erlandson et ses collègues suggèrent qu'une ceinture de forêts de varech reliant le Japon et le Mexique, et constituant une sorte de route maritime, aurait permis aux marins de l'Ancien Monde de coloniser le Nouveau il y a des milliers d'années. Des grottes et des amoncellements de coquillages de Californie on a exhumé des outils de pierre, des barrettes à deux pointes, des hameçons, des pointes de harpon et des objets en algues tressées. Lors des premiers contacts avec les Européens, les pêcheurs disposaient aussi de filets et de nasses.

Les barrettes à deux pointes sont les premiers témoignages matériels de la pêche à la ligne. Elles sont composées d'un os, d'un morceau de bois ou d'un coquillage effilé aux deux extrémités et attaché par le milieu à une ligne. Lorsque le poisson avale l'appât, on tire sur la ligne et la barrette se coince perpendiculairement dans la gueule ou les boyaux. Leur existence est attestée en Europe depuis 30 000 ans[2] et elles ont peut-être été inventées encore plus tôt. Chose remarquable, elles étaient toujours utilisées à une date avancée du XXe siècle par les pêcheurs de l'île de Palao, dans le Pacifique, et sans doute par bien d'autres. Ces pêcheurs disaient s'en servir parce que, bien que moins efficaces que les hameçons, elles étaient très faciles à fabriquer[3]. Les premiers fils de pêche étaient sans doute en poils d'animaux ou en fibres végétales entrelacées. Jusqu'au XXe siècle, les pêcheurs de Palao ont confectionné un fil solide

1. ERLANDSON, J.M. *et al.* (2009), « Fishing up the food Web ? 12,000 years of maritime subsistence and adaptive adjustments on California's Channel Islands », *Pacific Science*, n° 63, p. 711-724.
2. Geoff Bailey, Université de York, communication personnelle.
3. JOHANNES, R.E. (1981), *Words of the Lagoon*, University of California Press, Berkeley.

Extrait de la publication

Composition et mise en page

NORD COMPO
multimédia

N°édition : L.01EHB000429.N001
Dépôt légal : octobre 2013

Extrait de la publication